

Navorsings- en oorsigartikels

Episode- en chronometriese tydperk-tabelle: implikasies vir provinsies soos die Kaapvaal

H. de la R. Winter

Departement Geologie, Randse Afrikaanse Universiteit, Posbus 524, Auckland Park, 2006

Ontvang 8 November 1996; aanvaar 16 Januarie 1997

UITTREKSEL

Akkurate komanalise en 'n juiste kennis van die geologiese geskiedenis van die Kaapvaal Provinsie is 'n voorvereiste-raamwerk vir metallogenie modellering. Dus is 'n ondersoekmetode beraam wat 'n maksimum waarde op kwantitatiewe gegewens plaas en beperkings plaas op aannames en interpretasies. Die toepassing van 'n episodiese tabel om tydsverhoudings tussen verskillende soorte gebeure aan te toon en die omsetting daarvan in 'n geochronometriese tabel as geologiese model maak 'n hersiening van huidige stratigrafiese studies moontlik. Die Dominion Groep is herinterpreteer as 'n stootskuifblok met granitiese vloergesteentes waarop gedenudeerde opeenvolgings van Witwatersrand, Klipriviersberg en Makwassie tot teen die volgende oorskuiwing voorkom. Die kinematika van die Witwatersrand-voorlandkom wat op 'n drie miljard jaar oue skiervlak rus, is verduidelik. Opeenstapelings van Ventersdorpse afsettingskomme strek oor sowat 250 Ma (miljoen jaar) en bevat 'n 200 Ma-reeks vulkaniese en geassosieerde plutoniese gesteentes van die Platberg. Die Transvaal Supergroep behels drie afsettingskomme, waarvan die plutone van die Bosveld Kompleks gelyktydig is aan die laaste vulkaniese een. Die botsingstektoniek kort daarna word nog swak begryp, maar dit bring die een miljard jaar lange bestaan van die Kaapvaalse oerkontinent kort na 2000 Ma ten einde, om deel van 'n superkontinent te word. Die metodiek is wêreldwyd van toepassing op provinsies van enige ouderdom.

ABSTRACT

Charts of episodes and chronometric duration have implications for provinces such as the Kaapvaal

An accurate basin analysis and knowledge of its evolutionary development being a prerequisite framework for metallogenic modelling, a procedure was developed for the Kaapvaal Province to maximise quantitative observational data and constrain assumptions and interpretations. Employing an episodes chart to display various events interactively and its conversion to a geochronometric chart as the geological model, the method was applied to existing stratigraphic studies. The Dominion Group is reinterpreted as a thrust sheet duplicating basement granitoids under denuded Witwatersrand, Klipriviersberg and fault truncated Makwassie sequences. The kinematics of the Witwatersrand Foreland Depobasin based on a 3,0 Ga old peneplain is explained. Multiple stacking of Ventersdorp depobasins over some 250 Ma may contain a 200 Ma range of Platberg volcanics and plutons. The Transvaal Supergroup is built up of three depobasins. Bushveld Complex plutons fed the final volcanics, and poorly understood collisional tectonics terminated the billion year life span of the Kaapvaal palaeocontinent soon after 2000 Ma, to become part of a supercontinent. The analytical method is globally applicable to provinces of any age.

INLEIDING

Die ontleding van die geologiese geskiedenis van dié deel van die Suid-Afrikaanse aardkors wat as die Kaapvaal Provinsie of Kraton bekend staan (figuur 1), is nie net van wetenskaplike belang nie. Dit het 'n geweldige impak op toekomstige ontginning in 'n minerale provinsie wat van die wêreld se grootste bronne van goud, uraan, platina, yster, mangaan en diamante besit, en ook van soortgelyke mineraalryke provinsies wêreldwyd waar die stratigrafiese volgorde bepaalbaar is.

Om die ontwikkelingsgeskiedenis korrek te interpreteer, moet 'n volledige gesteentekolom in spesifieke tydsintervalle verdeel word. Daarna moet hierdie tydstratigrafiese of chronostratigrafiese eenhede lateraal oor die gebied gekarteer word.

Die opstellingsmetode van 'n episodiese tabel (figuur 2) en die omsetting na 'n geochronometriese tabel, oftewel een wat gekalibreer is van die relatiewe tyd- of geochronologiese ekwivalente van die chronostratigrafiese eenhede (figuur 3) word volledig ontleed in 'n bydrae wat gelyktydig hiermee vir publikasie aan die *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Geologie* gebied is. In hierdie artikel gaan dit oor verreikende implikasies vir die stratigrafie, geologiese geskiedenis en kennis van die

mineraalbronne van die Kaapvaal Provinsie, en trouens, enige ander plek in die wêreld waar die stratigrafie ontleedbaar is.

Die twee stratigrafiese tabelle som die algehele geologiese geskiedenis interaktief op in 'n opeenvolging van afsetting, erosie, tektoniese kragveranderings en stollingsperiodes. Figuur 2 vergelyk die opeenvolging van afsettingskomme as chronostratigrafiese episodes hoofsaaklik met tektoniek, en die vulkaniese episodes met metamorfisme. In figuur 3 is die geochronologiese episodes geochronometries omgesit na miljoene jare voor die huidige, en daarna vergelyk met die jongste vorige geologiese geskiedenis en met huidige plaaslike (SAKS 1988) en internasionale (SPS 1989) geologiese tydskaal.

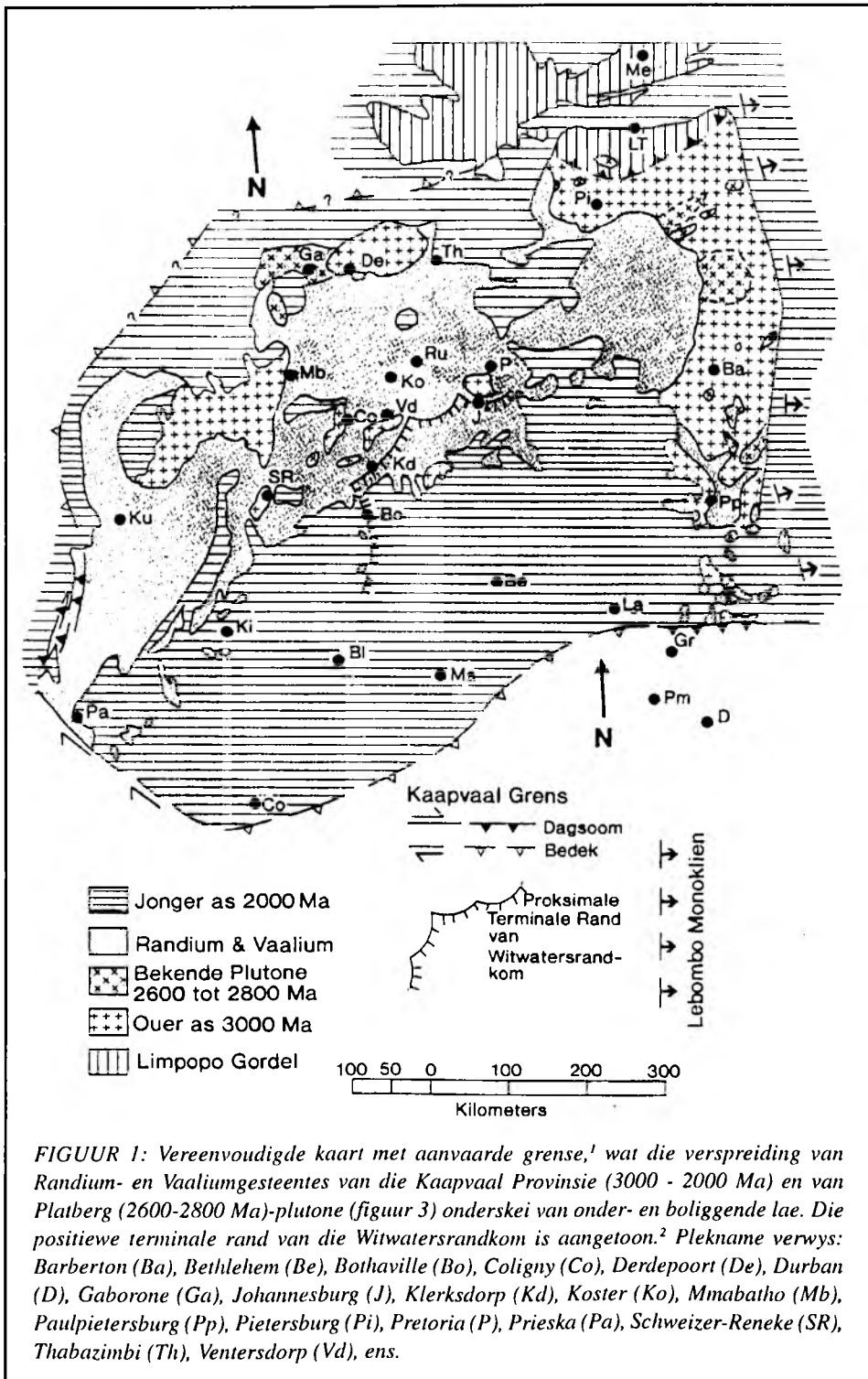
Stratigrafiese begrippe onderliggend aan die metode volg uit die ontwikkelende teoretiese kennis en 'n leeftyd van persoonlike professionele ondervinding en praktiese toepassing. Die voorgestelde stappe is reeds toegepas op gedeeltes van die suksessie (figuur 2) en uit getoetste metodiek opgebou vir die ondersoek van die petroleumpotensiaal van jongere afsettingskomme wêreldwyd, maar is nog nooit deeglik, metodies en rigories op die hele Kaapvaalkolom toegepas nie. Min ontledings van die ontwikkeling van die Kaapvaal Provinsie en ander Prekambriese gebiede toon dat daar doelbewus gebruik gemaak

is van onderbrekings in afsetting om 'n gelaagde suksessie in akkurate spesifieke tydperke, oftewel chronostratigrafies te onderverdeel. Die meeste ontleders weet dat chronostratigrafie noodsaaklik is om die paleogeografiese geskiedenis van 'n streek van begin tot einde korrek te kan vertolk, maar verstaan nie hoedat dit kwantitatief gedoen kan word sonder die hulp van fossiele nie.¹¹ Indien etlike voorbeelde uit die vele ongelukkig vir die betrokke skrywers aangehaal word, moet besef word dat almal, skrywer inkluis, nie die implikasies van die voorgestelde metodiek ten volle begryp het nie. Dit staan soos 'n paal bo water dat chronostratigrafie, volgens sy oorspronklike definisie wat nog steeds geld, tot in die vroegste Argeïkum toegepas kan word, maar regionaal beperk is.¹¹ Hierdie begrip is die sleutel tot die huidige deurbrake in stratigrafie en komontleding wat volg.

Tradisioneel is 'n benadering gevolg om 'n algemene litostratigrafiese kolom van die ondersoekgebied op te stel, dié dan sedimentologies lateraal op te volg, noodwendige subjektiewe *afleidings* van afsettingsomgewings te maak, en dan met behulp van addisionele diktekaarte iets van die tektoniese kontrole *af te lei*.¹² Dit word *aanvaar* dat laterale veranderings in die litologiese samestelling gelyktydig is en dat *litokorrelasie* toegepas moet word om onderbrekings in laterale aaneenlopendheid te oorbrug. Die begrip van opeenvolgende tyd word *aanvaar* met die opeenstapeling van afsettingskomme, maar is *afhanklik* van ouderdomsbepalings en ontleders se *afleiding* van die gedateerde toepaslike litostratigrafiese eenheid (figuur 3, regterkantse chronometriese kolom).

Die begrip van komme is *geïnterpreteer* as óf synde ekwivalent aan enige strukturele depressie¹³ óf as grootskaalse litostratigrafiese eenhede, óf selfs formeel as opeenvolgings beskryf, byvoorbeeld die Transvaal Opeenvolging,¹² óf sonder om te sê of 'n geomorfologiese kom soos byvoorbeeld die Tugelakom bedoel word. 'n Afsettingskom (Engels: depobasin) moet liefies beskryf word as die stratigrafiese produkte wat in 'n gebied bestaan het aan die einde van 'n tydperk van stelselmatige daling onder beheer van 'n bepaalde tektoniese styl.¹⁴ Nou kan die gelyktydige afsettings- en ophettingsgebiede van 'n voorlandkom of 'n slenkalkom uitkarter word en kan die verskuiwings wat gelyktydig met afsetting plaasgevind het die rigtings van deformatsiekrante aangee. Slegs wanneer die stratigrafiese kolom in afsettingskomme onderverdeel is, kan die tektoniese geskiedenis in die regte volgorde teen stratigrafie geplaas word, en kan beperkte *afleidings* van plaattektoniese beheer daarop volg (figuur 2).

Indringingsliggame, soos byvoorbeeld die plutone van die Bosveld Kompleks, is tot onlangs nie gelyktydig gekoppel aan hulle gepaardgaande vulkaniese produkte in die stratigrafiese kolom nie.^{15, 16} Dit het tot gevolg gehad dat 'n episode van termiese metamorfose en mineralisasie nie bewustelik aan 'n periode van bewustelike gekoppel was nie. Tot nou toe is eers die *afgeleide* tektoniese evolusie as grondslag beskou, en die komontwikkeling volgens 'n algemene stratigrafiese kolom. Die toepaslikste *teorie* van komontleders oor die tektoniese kontrole en die *aanvaarbaarste* ouderdomsbepalings word dan daaraan gekoppel.^{1, 3, 6, 7, 10, 12, 17, 18} Hierdie tradisionele benadering se swakheid lê in die opeenstapeling



FIGUUR 1: Vereenvoudigde kaart met aanvaarde grense,¹ wat die verspreiding van Randiaal- en Vaaliumgesteentes van die Kaapvaal Provinsie (3000 - 2000 Ma) en van Platberg (2600-2800 Ma)-plutone (figuur 3) onderskei van onder- en boliggende lae. Die positiwete terminale rand van die Witwatersrandkom is aangetoon.² Plekname verwys: Barberton (Ba), Bethlehem (Be), Bothaville (Bo), Coligny (Co), Derdepoort (De), Durban (D), Gaborone (Ga), Johannesburg (J), Klerksdorp (Kd), Koster (Ko), Mmabatho (Mb), Paulpietersburg (Pp), Pietersburg (Pi), Pretoria (P), Prieska (Pa), Schweizer-Reneke (SR), Thabazimbi (Th), Ventersdorp (Vd), ens.

van aannames (sien kursiewe woorde hierbo) vanaf die vroegste stappe. As slegs een daarvan verkeerd is, stort die hele kaartehuis inmekaar.

Die voorgestelde metode, daarenteen, berus op kwantitatiewe inligting en getoetste ontleding van die stratigrafiese opeenvolging as die bron van inskakeling met tektoniek.

Ouderdomsbepalings van bepaalde rotslae word dan deeglik met die stratigrafiese kolom vergelyk om te bepaal waar die versamelde kennis van die ontwikkelingsgeskiedenis deur verdere ondersoek verbeter kan word. Tektonostratigrafiese evolusie word daarna afgelei, en word met herhaalde insette iteratief nader aan die ware geologiese geskiedenis gevoer.

Hierdie artikel handel veral oor die aard en implikasies van verskille in die siening van die Kaapvaalse geologiese geskiedenis en hoe hulle hygelê kan word.

Slegs met 'n realistiese kennis van die geologiese ontwikkeling is dit tans moontlik om die nutste eksplorasiemodelle

toe te pas op wêreldwye soektogte na bepaalde mineralebronne. Die ondersoekmetode het ook die voordeel dat die stratigrafiese kennis vanaf die mins versteurde kerngebied na die ingewikkelde randgebiede gevoer word. Dis reeds duidelik dat die gordels om die kernprovinsie uit verskeie opeenvolgende episodes bestaan.

ALGEMEEN TOEPASLIKE GEOLOGIE

Dagsome van die betrokke gesteentelae in die mins versteurde sentrale strukturele provinsie is noodwendig sporadies, sodat die geskiedenis slegs broksgewys en ten dele in bepaalde gebiede ontrafel kan word deur geologiese kartering, gevolg deur eksplorasië-geofisika en boorwerk.

Die opvolging van gelaagdheid word bemoeilik deurdat lae lateraal veranderlik van aard en dikte is. Opeengestapelde afsettingskomme is herhaaldelik geplooi, is verskuif en dele is

Benaderde ouderdom Miljarde jare (Ga)	Afsettingskom (1)	Saamgestelde chronostratotipe kolom	Kom-klassifikasie	Tektoniese beheer	Opmerkings
1,7	Waterberg II		(2)	Afkoeling?	Twee komme (3)
	I		Daling?		
1,85	Soutpansberg II		(2)	Isostasie?	Twee komme (3)
	I		Daling?		
2,0			Belangrike onderbreking	TSWANA OROGENE	Botsing
2,05	Rooiberg		Vulkanisme opgevolg deur slenkdale	Tussenboogse ineenstorting	Ignimbriete, suurlawas
2,2	Pretoria		Botsings-voorlandkom	Kontinentale botsing	Subduksie na S & O gerig (4)
2,55	Chuniespoort		Sleepgrens-komdaling	Termiese krimpings	Op kontinent en oseaanvloer afgeset
	Pniel A		Vloedbasalte	Hittekol	A=Allanridge
APG (5)	B		Daling	Termiese krimpings	B=Bothaville
	Hartbees		(2) Daling		'n Lid van Rietgat Formasie
	Rietgat		Skeuring	Korsverlenging	Klastiese wigge en basalte
2,65	Makwassie		Voorland?	NDEBELE (6) OROGEEN	Samevoeging? Verkorting
	Kameel-doorns		Slenkdale	Korsverlenging met skeuring	Daling? Klastiese wigge (7)
2,7 (9)	Klipriviersberg		Vloedbasalte	Sonder skeuring	Vinnige uitvloeiing (8)
2,9	Witwatersrand		Voorland	SOTHO OROGEEN	Samevoeging? Verkorting
	Dominion (10)		?	Verlenging?	Sluit Nsuzi in
3,0			Belangrike Onderbreking	Opheffing	Kratonisasie
>3,0	Verskeie saamgevoegde, gemetamorfiseerde en getektoniseerde korsfragmente wat kristallyne vloergraniete en groenstone omvat				

FIGUUR 2: Episodetabel: Opeenvolging van afsettingskomme, elk met kenmerkende tektoniese beheer, en elk deur 'n regionale diskordans geskei. Opgebou uit die chronostratotipekolom, omgeset vanaf samegestelde litostratotipekolom. (1) Gelykstaande aan sintems.³ (2) Intrakratoniese daling, tussen wringverskuiwings? (3) Volgens Cheney et al. (1990)⁴ (4) Sedimentasierigting omgekeer, nou suidelik. (5) APG = Argeïes - Proterosoïese Grens.⁵ (6) Alternatief tussenboogse insakking. (7) Korsrekking te stadig vir vulkanisme. (8) Gangswerms akkommodeer korsverlenging. (9) Vermoed kontaminasie, moontlik ouer. (10) Strukturele duplikasie?²

geërodeer. Diep in die aardkors het gesmelte rotsmateriaal in magmakamers versamel onder ingewikkelde omstandighede in die aardkors en op die onderliggende digte, warm plastiese laag, genoem die mantel. Die kors verkeer gedurigdeur onder stadig wisselende spannings, wyl groot plate daarvan stadig oor die taai vloeiende mantel beweeg, soms skeur en dan weer teenmekaar bots, gestoot deur kragtige hittestrome vanuit die aarde se dieptes.

Van die magmas stol reeds in groot kamers onder die korsoppervlakte as plutoniese gesteentes, soos byvoorbeeld die Bosveld Kompleks. Ander stol op pad boontoe of vloei uit op die oppervlakte om as lawas te stol. Soliede piroklastiese brokstukke en as word deurentyd uit vulkane en splete gewerp.

Aardspannings verwing of skeur die kors sodat sommige dele opgehef word en ander dele onder invloed van die aardkragte stelselmatig daal. Sedimente wat van die hoogtes afspoel, word hoofsaaklik deur riviere vervoer om in die insakgebiede in sedimentêre komme te versamel. 'n Groot gedeelte van die afsettingsmateriaal versamel aan die kusgebiede van vastelande. Gelaagdheid word sterk deur 'n wisselende seevlak beïnvloed. Omdat die aardkors voortdurend aan stadige beweging onderworpe is, en die oorgrote gedeeltes van die korsplate waarvan die vastelande 'n deel uitmaak onder oseaanwaters geleë is, is dit te verstane dat die seevlak ook progressief en siklies op en af beweeg het ten opsigte van die kuste. Sulke bewegings is eustaties en wêreldwyd, in kontras met die tektoniese of aardkragbewegings binne die provinsie.

Aldus ontstaan 'n opeenstapeling van afsettingskomme, afgewissel met vulkaniese produkte. Die omvang van elkeen word deur heersende aardkragte bepaal. Die gelaagdheid binne hierdie komme word beheer deur plaaslike tektoniek, maar ook deur wêreldwye eustatiese seevlakskommelings ten tye van oorspoelings deur die see.

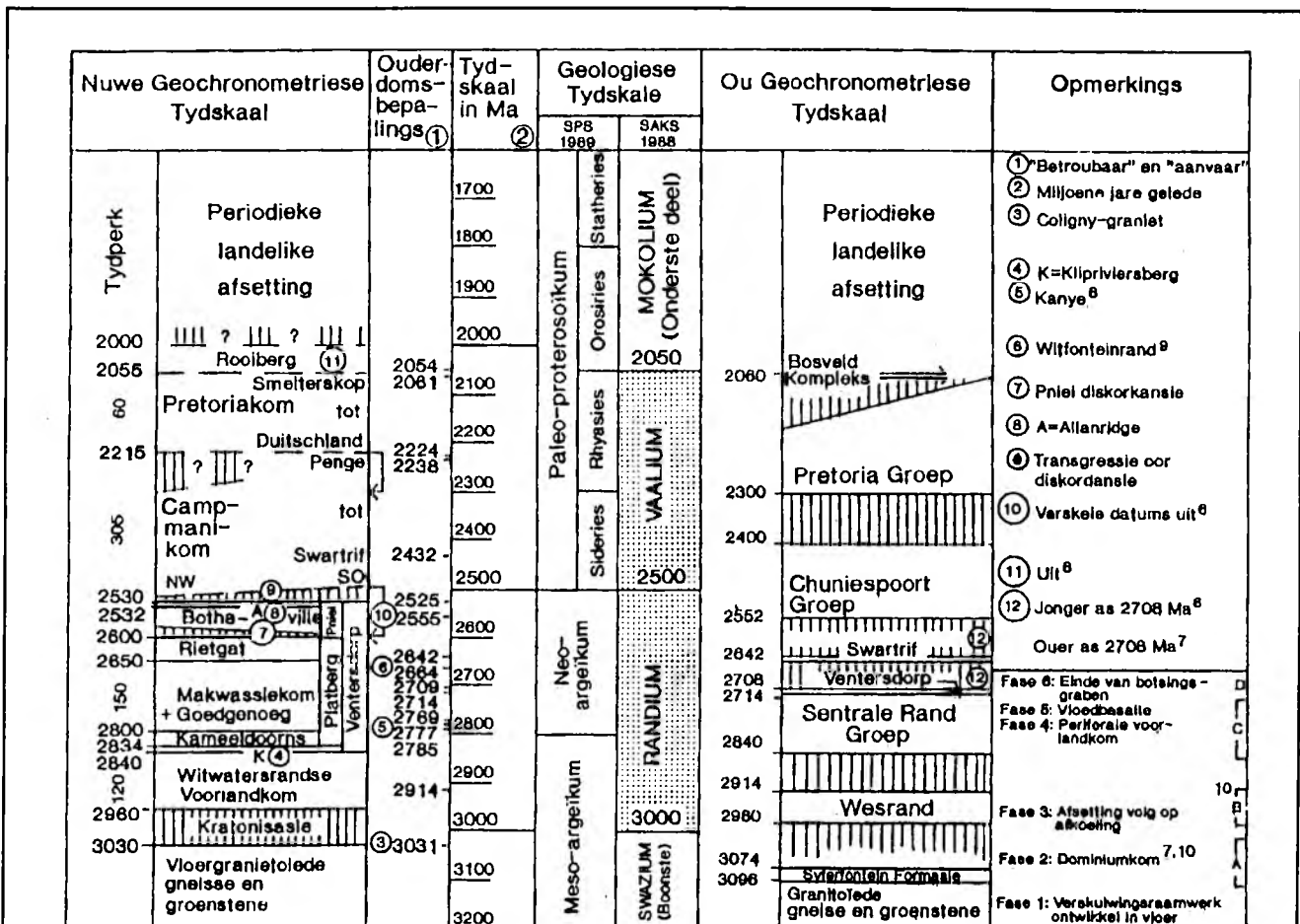
Die enigste bron van inligting oor afsettingstye en -omstandighede kan slegs in die bewaarde bereikbare gesteentes gevind word.

Die sentrale minsversteurde strukturele gebied word omring deur ingewikkelde struktureel mobiele gordels met ingewikkelde metamorf- en stollingsgesteentes waaruit die oorspronklike stratigrafie, en dus die geologiese geskiedenis, slegs by benadering afgelei kan word.

Die ontleder benodig dus 'n reeks chronostratigrafiese kaarte in volgorde van ontwikkeling, lateraal so ver as moontlik uitgebrei. Figuur 3 vergelyk die huidige populêre metodes van Kaapvaalse geologiese interpretasie,^{6,7} regs, met afleidings wat deur middel van die nuwe benadering gemaak kan word, links. 'n Toekomsblik word gewaag oor wat so 'n stelselmatige karteringstegniek alles kan openbaar en die implikasies vir die moontlike ontdekking van verskuilde mineraalbronne.

KOMONTLEDING

Die afleiding van die voorafgaande redenasie is dat die opstelling van 'n akkurate chronostratigrafiese opeenvolging in enige



FIGUUR 3: Geochronometriesse tabel ge-yk teen 'n tydskaal afgemete in miljoene jare (Ma) voor die huidige. Ou geochronometriesse skaal (regs) het berekende grensouderdomme van litostratigrafiese eenhede: nuwe skaal (links) het berekende grensouderdomme van afsettingskomme (chronostratigrafiese eenhede). Internasionale (globale) en plaaslike geologiese tydskale volgens SPS 1989 (Subkommissie vir Prekambriese Stratigrafie) en SAKS 1988 (Suid-Afrikaanse Komitee vir Stratigrafie) respektiewelik, is sentraal bygevoeg onder die opskrif: Geologiese Tydskale.

stapeling van afsettingskomme volgens definisie die relatiewe (geochronologiese) tydverloop van die litostratigrafiese kolom waaruit dit omvorm is, verteenwoordig. Die geologiese geskiedenis kan dus in terme van geologiese tyd vertolk word, dit wil sê, volgens 'n relatiewe skaal.

Die omskakeling van 'n litostratigrafiese na 'n chronostratigrafiese ekwivalent is moontlik danksy die feit dat lae benede 'n onderbreking in afsetting ouer moet wees as lae bokant die onderbreking (diskordans) en dat twee diskordante grense dus volgens definisie 'n chronostratigrafiese eenheid moet wees,¹¹ omdat dit 'n bepaalde tydperk behels.

Diskordantbegrense chronostratigrafiese eenhede is slegs beperk tot individuele tektonografiese terreine (oervastelandse fragmente) soos dié waarvan die Kaapvaal Provinsie die voorlandse tektoniese gebied is.

Die litostratigrafiese kolom is dus 'n belangrike objektiewe standaard van die provinsie, die grondslag waarvandaan die geologie van bepaalde tye ontleed kan word.

Daarteen staan 'n geloof dat chronostratigrafie nie op fossiellose afsettings toegepas kan word nie. Derhalwe moet goed gefundeerde ouderdomsbepalings, wat volgens tradisionele redenasie op afsettingstye dui, aanvaar word, en die stratigrafie word dan aangepas teenoor sulke datums.^{6,7} Daar sal getoon word dat die skewe beeld wat aldus gevorm word veral probleme met korrelasies van loslappes skep.

Diskordansies wissel in verlies van verteenwoordiging of hiatus vanaf 'n maksimum in 'n opheffingsgebied tot 'n minimum in die gebied van grootste daling. Daar bestaan 'n lang reeks ordegrouttes van sulke onderbrekings en dus ook 'n ooreenstemmende reeks opeenvolgings. Die grootste diskordansie dek dan ook die grootste gebied. Die voordeel van diskordantbegrense chronostratigrafiese onderverdelings lê daarin dat die vervorming van die aardkors oor bepaalde tydperke gemeet kan word selfs binne 'n afsettingskom, en dat afleidings gemaak kan word van die wisselende aardkragte en -spannings veroorsaak deur plaattektoniese bewegings.

As die mees verteenwoordigende litostratigrafiese kolom van elke opeenvolging saamgevoeg word, kan slegs die grootste diskordante ordes herken word. Wanneer verder onderskei kan word watter groepe van sulke eenhede deur dieselfde styl van aardkragte beheer word,¹⁴ dan verteenwoordig die opeenstapeling van afsettingskomme van figuur 2 ook die volgorde van die tektoniek wat afsetting beheer het.

Die laterale uitkartering van opeenvolgings vanaf die mees verteenwoordigende stratotipe word gedoen deur talle litologiese kolomme tussen die diskordansies, dus chronostratigrafies, te korreleer. Die soort korrelasie verskil duidelik van litostratigrafiese korrelasies, wat nie tydgebonde is nie.

Dit volg verder dat die afbakings van relatiewe geochronologiese tydperke wat verkry word (skrywer meen dis wat losweg as geologiese tyd beskryf word), beperk is tot sover as wat die afsettings of hulle onderskikte opeenvolgings gekorreleer kan word.

Om te bepaal wat gelyktydig buite die grense van 'n afsettingskom gebeur het, en trouens oral elders, moet hierdie geochronologiese tydperke omgeskakel word na gewone tyd, en dan vergelyk word met soortgelyke omsettings in ander dele van die wêreld. Hierdie aktiwiteit word chronokorrelasie genoem en is nie meer 'n vorm van stratigrafie nie. Chrono- of tydkorrelasie kan nooit absoluut akkuraat geskied nie, en die kalibrasieproses is bekend as geochronometrie (figuur 3).

Operasioneel word die afsettingsouderdomme van bekende lae in die litostratigrafiese kolom (merklae) wat geskik is vir radiometriese datering, bepaal. Hierdie ouderdomme word dan geïnterpoleer om die grensouderdomme van die afsetting by

benadering vas te stel. Daarna word ondersoek wat elders ter wêreld oor daardie tydperk gebeur het, indien van belang. Fossiele word ook gebruik om benaderde tydkorrelasies te maak en daarom is die biostratigrafiese korrelasies tussen afgeleë afsettingskomme ook 'n metode wat veral vroeër gebruik is om tydkorrelasie te bevorder. Tans word verskeie ander metodes van geochronometrie ook toegepas.

Benewens die tydskaal soos afgemeen in miljoene jare terug na die verlede het daar ook die wêreldwye geologiese tydskaal (SPS 1989) en die plaaslike ekwivalent (SAKS 1988) ontstaan. Name is aan tydperke gegee wat kwansuis bedoel is om kenmerkende geologiese aktiwiteite te skei. Skrywer glo egter dat van die plaaslik meetbare na die wêreldwye algemene gekorreleer moet word in plaas van andersom.

Die geologiese geskiedenis kan dus in terme van geologiese tyd vertolk word. Wanneer genoegsame ouderdomsbepalings op litostratigrafiese merkerhorisonte beskikbaar is, kan 'n benadering van die fisiese tydverloop deur yking dan teen 'n liniêre tydskaal geochronometries verkry word, sonder om die nodige stratigrafiese kontak met die rotslae te verbreek.

Dat chronostratigrafiese eenhede globaal gekorreleer kan word, is dus 'n dwaalbegrip, alhoewel die idee sterk internasionale steun geniet.^{8,11} 'n Vroeë toepassing van 'n soortgelyke begrip het daartoe gelei dat chronostratigrafiese grense doelbewus tussen kontinue of konkordante afsettings van die Prekambriese Kaapvaal gesoek is.¹⁹

HERSIENE GEOLOGIESE ONTWIKKELING

Verwys na SAKS¹⁹ vir verdere inligting oor litostratigrafiese terme wat in hierdie artikel gebruik word.

Die toepassing van bostaande rigoristiese metodiek op die ontwikkeling van die Kaapvaal Provinsie gee aanleiding tot 'n aantal nuwe insigte oor sy stratigrafie.

Hierdie hoofstuk bespreek die implikasies van die nuwe geochronometriese skaal van figuur 3. Belangrike wysigings sal aan die samegestelde litostratotipekolom gemaak moet word waar verskuiwings nou herken is wat vroeër nie raakgesien is nie. Die nuwe diskordantbegrense chronostratigrafiese kaarte onthul nie slegs die tektoniek van elke tydperk nie, maar vulkaniese gesteentes verklar die teenwoordigheid van gelyktydige indringings wat op sy beurt weer ekonomiese implikasies het. Daarby is verskeie regionale diskordansies misken.

VLOERGESTEENTES

Die jongste van 'n stel granietindringings is op figuur 3 aangedui as 3031 Ma (opmerking 3), en word opgevolg deur 'n stabiele periode (kratonisasie) wat die aanvaarde 3000 Ma aanvang van die Radium Era insluit. Hierdie graniete is oral jonger as 3200 Ma, die aanvaarde einde van die Swazium Era.¹ Die ouderdom van 3200 Ma word tans ook wêreldwyd aanvaar as die begin van die Meso-argeïkum.

Aan die regterkant van figuur 3 egter, word getoon dat die Syferfontein Formasie van die Dominion Groep tussen 3096 en 3074 Ma lê,¹ terwyl die duarte van die Dominion elders as tussen 3120 en 3070 Ma aangegee word.²⁰

TWYFELAGTIGE DOMINION GROEP?

Die vraag ontstaan nou of daar werklik 'n diskordantbegrense Dominioneepisode (figuur 2) bestaan het, en dit ten midde van die bostaande periode van Meso-argeïese graniete wat op dieselfde stuk oeraardkors, gevind word. Indien aanvaar word dat die Dominion Groep in slenkdale afgeset is,^{7, 10, 20} behoort

sedimentasie onmiddellik daarna te volg, met geen moontlikheid van voortgesette plutoniese aktiwiteit nie, soos regs in figuur 3 (Fases 2 en 3) aangedui nie. Die probleem word verder vertroebel deur die korrelasie van die Nsuze Groep met die Dominion.^{1, 19}

Indien die oorspronklike litostratigrafiese kolom foutief is, volg dit dat alle afleidings oor die geologiese geskiedenis van die betrokke deel en sy ekonomiese geologie ook verkeerd moet wees. Daarom moet baie ernstig weer na die Dominion Groep gekyk word, wat volgens aanvaarde ouderdomsbepalings (3074 ±6 Ma)⁷ en sterk omstandigheidsveldgetuienis as 'n siklus van afsetting ouer as die Witwatersrandkom beskou word.

Die skrywer bou al vanaf 1984 aan 'n hipotese dat die Witwatersrandse gesteentes oor die Dominion Groep verskuif het, en dat 'n alternatiewe litostratigrafiese korrelasie, soos in figuur 4, meer realisties is. Daarvolgens lê die onderste deel van die Klipriviersberg Groep diskordant op die Orange Grove Formasie van die Witwatersrand Supergroep,²³ die Kameel-doorns Formasie is afwesig, en die Makwassie is regmatig gekorreleer met die verwysingsstratotipe, pleks van met 'n onvolledige suksessie wat vroeër geochemies ontleed is.^{21, 24} Seismiese gegewens is onlangs tot skrywer se beskikking gestel om sy hipotese te toets. Litokorrelasies, volgorde, en regionale diskordansies is die grondslag vir die hipotese asook 'n verskuilde oorskuiwing. 'n Onlangse artikel bevestig die sporadiese voorkoms van groot oorskuiwings in die sentrale gebied van die Kaapvaal.¹⁸ Van die implikasies is dat enige soektog na uitbreidings van die goud- en uraandraende Dominionrif futil is, dat die meer as 'n eeu lange skommelinge in korrelasies van loslappe tussen Dominion en Makwassie nou opgelos kan word, en dat voortaan meer effektief na uitbreidings en ekwivalente van die hoogsbelangrike onderliggende Witwatersrandse afsettings met sy goudriwwe gesoek kan word.

Indien die voorgaande hipotese korrek is, moet aanvaar word dat xenokristiese sirkone se ouderdomme bepaal is, want erkende Makwassie-ouderdomme is jonger as ongeveer 2800 Ma (tussen punte 5 en 6 van figuur 3). Die chronometriese skaal voorspel dus 'n oplossing wat minder teenstrydig is en dus nader aan die werklike kan wees.

Daar bestaan dus twyfel of daar wel 'n Dominiontydperk van afsetting, hoofsaaklik van vulkaniese aard, bestaan het. Hierdie twyfel word oorgedra na die Nsuze Groep korrelaat in die suidoostelike sektor, op grond van geochemiese verwantskappe,²⁵ eie waarnemings van moontlike korrelasie met siklusse van die Ventersdorp Supergroep, en die voorkoms van oorskuiwings ook in daardie gebied.²⁶

WITWATERSRAND

Die geologiese geskiedenis volgens Stanistreet and McCarthy¹⁰ se fases 1 tot 6, en volgens episodes A tot D van Robb et al.,⁷ verskyn ook in figuur 3. Hulle interpretasies, wat effens van mekaar verskil, is eerstens afhanklik van die bestaan van 'n Dominionkom. Hulle skei Witwatersrandse afsetting met 'n aansienlike diskordansie tussen die afdelings Wesrand Groep en Sentrale Rand Groep, waarvan laasgenoemde volgens hulle tot ongeveer 2714 Ma strek. Hierdie diskordansie, soos verskeie ander in hierdie voorlandkom, is slegs van belang as 'n kommand-verskynsel.²³

Die waarskynlike afsettingstydperk van die Witwatersrandse voorlandkom is 'n halwe Wilsonsiklus, dus ongeveer 150 Ma, wat gunstig vergelyk met die 120 Ma van Beukes en Nelson²⁷. 'n Wilsonsiklus van ongeveer 300 Ma is die gemiddelde openings- en sluitingstydperk van 'n oseaan volgens plaattektoniese teorie. Beukes en Nelson het die dalingsgeskiedenis van die Witwatersrandse afsettings vergelyk met die gemiddelde

Fanerosoiese tydperk wat 'n soortgelyke siklisme toon, om tot die 120 Ma-periode te kom. Hierdie syfer vergelyk terloops goed met dié van jonger voorlandkomme soos die Rotsgebergtekome, die Namakom en die Karookom. Bowendien pas dit goed in by die beleid gevolg om die afsettingstydperk in die linkerkantse kolom af te lei van dié van Fanerosoiese analoë.

VENTERSDORP SUPERGROEP

Soos in die regterhandse kolom van figuur 3 aangetoon, behels die hele geskiedenis van die Ventersdorp Supergroep met ses of sewe episodes (figuur 2), 'n alte korte ses miljoen jaar. Dit word afgelei van 'n 2714 Ma ouderdom op die Klipriviersberg basalte (opmerking 9, figuur 2 en opmerking 4, figuur 3) en van 2709 Ma op kwartsporfier van die Makwassie Formasie.⁷ Volgens die verwagte afsettingsperiodes van die gestapelde komme wat die Ventersdorp Supergroep behels, kon die Ventersdorptydperk egter gestrek het tot 300 miljoen jaar (figuur 3 links). Die Ventersdorps diversiteit reflekteer volgens die tektoniese kontrole op die afsettingskomme 'n grootskaalse afwisseling van die beherende aardkorskragte. Hierdie diversiteit²² word deurentyd deur die meeste geoloë misken,^{7, 28} en daar word steeds verwys na 'n enkele Ventersdorpegebeurtenis. Daarom word nou moeite gedoen om weereens te toon hoe uiters vaag en skadelik vir ontleding so 'n sienswyse is, soos aangedui deur figuur 3.¹⁴

Alvorens die stratigrafiese volgorde ontleed kan word, moet die tektoniese effek van alle deformatsie-episodes, van die jongste tot die oudste, geëlimineer word, want wat vandag gesien word van die geologie en op geofisiese kaarte is nie meer die oorspronklike nie, maar die finale produk van afwisselende tektoniek en erosie van opgehefde gebiede.^{14, 29, 30, 31} Om hierdie rede is die afsettingskomme geskei deur regionale diskontinuiteite en diskordante verhoudings wat onderbrekings in afsetting voorstel wat wissel van korte duur tot baie lank. Die tydperk of hiaat van 'n diskordansie behels trouens die som van 'n periode van nie-afsetting en die periodes van afsetting van bestaande gesteentes wat gedurende die erosie tydperk verwyder is.² Dit sluit ook dié van diskordansie tussen onderliggende gesteentes wat deur erosie verwyder is, in. Die orogene van figuur 2 stel vermeende periodes van op- en oorskuiwing en korsverkorting voor terwyl periodes van afskuiwing en skeuring gepaardgaan met korsverlenging. Daar is egter belangrike jong episodes soos Jurassic verskuiwings en peralkaliese magmatisme, wat onbepaalde invloede kon gehad het op kennis van die huidige geologie, indien foutief vertolk.²⁹

Die Klipriviersbergbasalte het, soos die meeste vloedbasalte, oor 'n kort tydperk uit splete gevloei,³² en bestaan uit 'n laagvormige opstapeling van komatiïetiese tot tholeïetiese basalte en basaltiese andesiete, in die groenskifasie van metamorfisme.³³ Die onderliggende diskordansie is baie duidelik op die geplooië, oorskuiwde, opgehefde en afgeskuurde vloer noordwes van die voorlandtroeg van die Witwatersrandkom waar te neem.^{2, 29} Hierdie troeg lê gemiddeld 5 tot 10 km komwaarts van sy proksimale terminale rand (figuur 1). Vanaf die troeg lê die basalte struktureel konkordant op Witwatersrandlae, maar oorvleuel in 'n suidsuidoostelike rigting sodat die onderste lawas in daardie rigting geleidelik jonger word.

Die ouderdom van 2714 Ma, toegeskryf aan die Kliprivierberge episode (figuur 2),⁷ pas so goed in die Makwassie tydperk (figuur 3, links), dat mens nie anders kan nie as veronderstel dat die bepaling aan 'n natuurlike of eksperimentele kontaminasie gewyt moet word, veral omdat geochemici van mening is dat die sirkoonkonsentrasie van die lawa so laag is dat die mineraal nie sou uitkristalliseer nie. (E. Retief, persoonlike mededeling). 'n Onnatuurlike groot tydperk is toe aan

Witwatersrandafsetting toegeken, en omdat geen ander Ventersdorppouderdom bekend is nie, slegs ongeveer 6 miljoen jaar vir die sogenaamde "Ventersdorpepisode" (in die regterkantse kolom van figuur 3).

Klipriviersbergmagma is, soos afgelei uit sy samestelling, afkomstig van die bomantel, en het onder effektiewe rekspanning diapiries uitgestyg as 'n pluim of 'n subduksie-oseaanrugspleet wat volgens die oordekking in 'n suidsuidoostelike rigting moes beweeg het.²⁹ Ganggrigtings, wat loodreg op die rigting van laagste spanning strek, is naastenby loodreg aan die stootgrigtings van die Sotho Orogeen (figuur 2) en opvolgende slenkdale van die Kameeldoornstyd.²⁹ Moontlik was die spanningspatroon en deformatsie van die boonste kors anders as aan die bokant van die mantel, daar beide die Sotho- en Kameeldoornverskuiwings vlaklistries van aard is. Van die magmas het deur gedeeltelike smelting van wande tot tholeïet ontwikkel. Soms het plagioklaas in intermediêre magmakamers uitgekristalliseer en uitgevloei as porfiritiese lawas.

Verskeie voorkomstes van die Klipriviersberg Groep is reeds vroeër herken noordwes van die Witwatersrandse terminale subdagsoom (Klerksdorp, Ventersdorp, Schweizer-Reneke, Mmabatho, Koster, Derdepoort). Ook word elemente van die Usushwana Kompleks suid van Baberton (figuur 1) daarmee gekorreleer. As hierdie voorkomstes almal bevestig kan word, was die verspreiding van hierdie vulkaniese episode baie groter as voorheen afgelei. Die subduksie van 'n oseaanrug bly myns insiens nog die aanvaarbaarste hipotese vir hierdie platobasalte.

Die hiaat van die regionale diskordansie wat die Klipriviersberg Groep afsluit, wissel soos alle diskordansie van plek tot plek. Stratigrafiese verdunning en denudasie is die grootste om en by die horste van die opvolgende Kameeldoornsepisode.^{22, 23, 30, 31}

Die Kameeldoorns Formasie verteenwoordig klastiese en chemiese wêre wat in skuurvalleie gelyktydig met vormende listriese skuurverskuiwings afgeset is.^{22, 30, 31} Soos vermeld, strek die skuurvalleie eweredig met die van die stootverskuiwings van die Sotho orogeen, beheer deur negatiewe reaktiverings wat deur korsuitrekking veroorsaak is.²³ Die grootste klaste lê kenmerkend

teenaan die hoofafskuiwings en is maklik herkenbaar as brokstukke van die aangrensende horstmateriaal. Fanerosoïese analoë het 'n leeftyd van ongeveer 30 tot 50 Ma, en 34 Ma is toegeken aan Kameeldoornstyd in figuur 3 om die oorblywende tyd tot die aanvang van Makwassievulkanisme aan te vul.

Die Kameeldoorns het dus nooit die hele gebied in beslag geneem nie, maar die wigafsetting kon moontlik gevolg gewees het deur sedimente tipes van 'n insakkom wat litologies nie van Kameeldoorns onderskei kan word nie.^{14, 30}

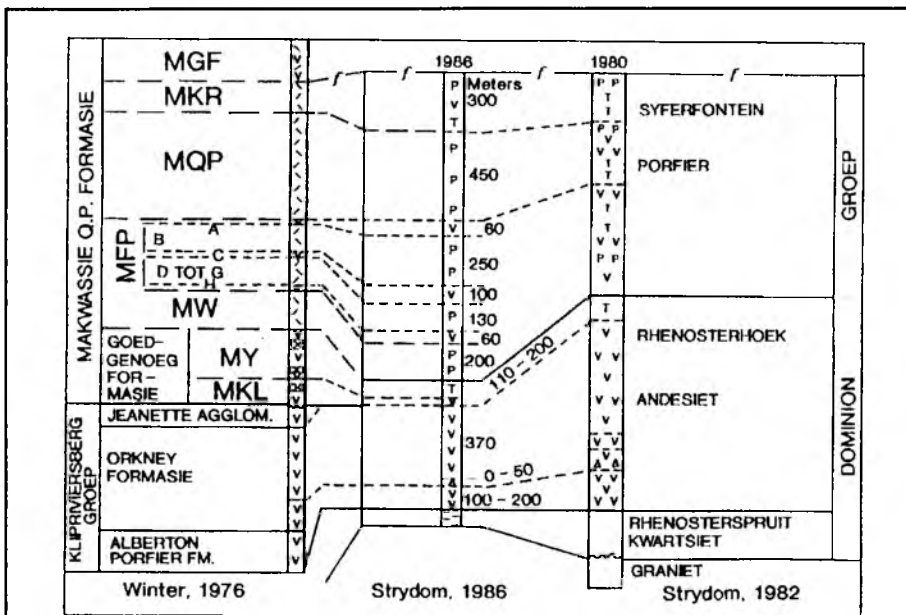
Die kontak met die Makwassie Formasie is noodwendig diskordant as gevolg van skuurverskuiwings en lokale afsettings ná Klipriviersbergtyd, voordat die lawas van die Platberg Groep uitgevloei het. 'n Skerp basis is waar te neem in boorgate^{30, 31} en op seismiese lyne van sekere streke.³⁰ 'n Diep slenk strek noordwaarts aan die westelike grens van die tipe gebied om Bothaville,^{30, 31} gevul met 'n opeenvolging van afwisselende basaltiese, andesitiese, dasitiese en riolitiese lawas, astuwwe en ignimbriete afgewissel met dun sedimentêre lae van uiteenlopende aard, wat as die verwysingstratotipe van Makwassie beskryf is,²² totdat dit korreleer met die Syferfontein Formasie van die Dominion Groep sowat 45 kilometers verder noord (figuur 4).

'n Basiese basale gedeelte gedy noordwaarts totdat dit ooreenstem met die Goedgenoeg Formasie wat naby Klerksdorp beskryf is. Die komvullingsmeganisme is onbekend en kan slegs 'n halwe slenkdal wees indien 'n hoofafskuiwing aan die westekant sou lê,¹⁸ maar so 'n afskuiwing kon gedurende die daaropvolgende Rietgatepisode (figuur 2) plaasgevind het. Vulkaniese korrelate en plutone groepeer tussen ongeveer 2800 en 2650 Ma (figuur 1 en 3). 'n Gedagte dat die plutone van hierdie periode as voedingsbronne van die Makwassievulkanisme dien, word tans nagevors, asook 'n vermoede dat lawas wat tans as deel van die Nsuze Groep beskou word, ook korrelate kan wees.

Die oorsprong van die bogenoemde kalk-alkaliese reeks word hier tentatief aan grootskaalse assimilasië van korsmateriaal deur pluime tydens subduksie onder die Kaapvaalse kontinent in, toegeskryf.^{29, 30} As daar 'n Ndebele Orogeen (figuur 2) sou bestaan, kan dit slegs gelyktydig met die Makwassie-episode inpas^{14, 29, 30}

Hierdie vasstelling is uiters moeilik om op te los weens die sporadiese kontraksieafdruk wat aan die Tswana Orogeen toegeskryf word, en wat plek-plek groot stootskubbe vanmekaar skei.

'n Hersiene stratotipe van die Rietgate Formasie bestaan uit 'n onderste basiese tot intermediêre porfiritiese lawa, ook die Garfieldlid genoem,²² 'n middelste basiese groep dunstroombasalte, weer 'n porfiritiese eenheid, en laastens 'n boonste sedimentêre gedeelte, wat skrywer voorlopig die Hartbeeslid genoem het, na die dorpie Hartbeesfontein waar die eenheid dagsoom. Die beskrywing van 'n stratotipe moet betroubaar wees, en is essensieel voordat enige korrelasies hoegenaamd bespreek kan word.³⁰ Hoewel daar verskeie geochemiese studies bestaan, is geen ouderdomsbepalings tot hede beskikbaar nie. Tussengelaagd met die vulkaniese gedeeltes is verskeie grofklastiese lae wat wigvormig verdik na óf heraktiveerde óf gelyktydige skuurafskuiwings toe.^{30, 31} Die Rietgatesedimentasie verteenwoordig dus hoofsaaklik 'n reeks slenkdalafsettings, afgewissel met kwynende



FIGUUR 4: Onderverdeling van Dominion Groep volgens P.M. Strydom in 1980,¹⁹ 1982 en daarna in 1986,²¹ vergeleke met stratigrafiese onderverdeling deur Winter van tipe boorgat DSF 7 en links, die verwysingstipe stratigrafiese kolom.²² Topkontak interpreteer as verskuif. Let op die afwesigheid van die kenmerkende Kameeldoorns Formasie en die diskordansie wat 'n groot deel van die onderliggende Klipriviersberg Groep afsny.

vulkaniese aktiwiteit van die Makwassie-Rietgat-periode van die Platberg Groep.

Die Hartbeeslid se sedimente is litologies nou verwant aan die oorliggende Bothaville Formasie en word nou tentatief beskou as moontlik 'n vroeë protosiklus beperk tot 'n deposentrum, ook moontlik as 'n insakkom gekontroleer deur 'n skeurvallei van Rietgatoouderdom (die sogenaamde beeskoppatroon).³⁴ Uit onlangse boorwerk blyk dit dat die Hartbeeslid diskordant op die lawas lê, en dat die lawastrome se geoksideerde en verweerde boonste dele 'n bewys is van langdurige blootstelling.

Die Radium Era word gekenmerk deur 'n toenemende suurstofgehalte in die atmosfeer. Rooi ysterhoudende jaspeliet-spoelklippe naby diskordanse en in terrestriale Witwatersrandse konglomerate, purperlae in die Klipriviersberg Groep, toenemende oksidasie van die aslawas, veral van die amandelhoudende toppe in die Makwassie, en 'n toenemende teenwoordigheid van stromatoliete in die Platberg Groep^{30, 35} is kenmerkend van die periode, en vergemaklik die herkenning van langdurige blootstellings, asook van korrelate.

Die Platberg Groep bestaan uit drie karteerbare formasies: Kameeldoorns, Makwassie en Rietgat²². Al drie bevat vulkanoklastiese sedimente. Oor groot gebiede bestaan die hele Ventersdorp Supergroep slegs uit die Platberg Groep. Elders word die Platberg Groep oordek deur die Pnielsuksessie, of word slegs deur die Pniel verteenwoordig.

Daar is geen litologiese verwantskap tussen die subgrouwak begrens deur grouwakkonglomerate van die Bothaville Formasie en die oorliggende basaltiese andesiet van die Allanridge Formasie nie, en dus regverdig die hegte strukturele verwantskap van die tweeling nie regtig die naam van Pniel Groep nie.

Die onderste of Pniel-diskordans is so regionaal kenmerkend en skei gesteentes wat plek-plek só diep erodeer, verweer en geoksideer is, dat dit eens voorgestel was as die grens tussen die Argeikum en die Proterosoïkum (punt 5, APG op figuur 2).⁵ Tans lyk dit meer na 'n hoërangse eustatische opeenvolgingsgrens met globale korrelatiewe potensiaal. Beperkte protosiklusse is kenmerkend van sulke grense. Nêrens is daar tot nog toe enige bewyse gevind dat verskuiwings slegs die Bothaville verplaas en deur die Allanridge oorlê word nie, maar dit is wel waar dat Allanridge die sedimente totaal oorvleuel oor paleohoogtes heen.³⁰

³¹ Hierdie tektoniese eenvormigheid dui op 'n kortstondige hiatus tussen sedimentasie en vulkanisme. Afsettingsomstandighede van die Bothaville word deels as landelik en deels as vlaksee beskou, terwyl die Allanridge, met sy opeenhoping van geochemies identiese lawastrome sonder sedimentêre tussenlae, as die produk van 'n pluim beskou word. Indien wel, sou skrywer tentatief die bewegingsrigting van die pluim as oosnoordoos langs die Zandfontein-Ontariorug verby Bothaville beskou, waarlangs die onderliggende lae sowat 2 km opgehef is voor die Pniel-episodes.³¹ 'n Plaaslike tektoniese oorsaak vir gedeeltes van die Pniel-diskordans is dus nie uitgesluit nie.

In die geheel is daar so 'n hegte ooreenkoms tussen dalings van die Pniel en die oorliggende Campmanikom, dat die Pniel maklik as 'n protokom van die Campmanikom beskou kan word.³¹ Litostratigrafies bly dit egter geskei van die Transvaal Supergroep.¹⁹

Die probleem of die Wolkberg Groep deel van die Transvaal Supergroep moet wees of nie, kan nie deur 'n suiwer litostratigrafiese benadering opgelos word nie. Chronostratigrafies gesien, is dit duidelik dat die Swartrif Formasie 'n basale transgressiewe klastiese eenheid van die Campmanikom moet wees, en dat beide die Pniel- en die Platbergepisodes in die Wolkberg Groep verteenwoordig word.^{36, 37}

Die vorige mening van 'n 6 Ma-tydvak vir die hele Venters-

dorp Supergroep is duidelik onaanvaarbaar, en so 'n siening werk geweldige korrelatiewe komplikasies in die hand, veral waar verskuiwings, regionale diskordanse en litologiese ooreenkomste misken word, soos in die westelike sektor,³⁶ en soos nou besef, moontlik ook in die suidoostelike sektor van die Kaapvaal Provinsie, indien skrywer se eerste indrukke dat gedeeltes van die Nsuze Groep beide lito- en chronostratigrafies gekorreleer kan word, bevestig word.

TRANSVAAL SUPERGROEP

Die Transvaal Supergroep is eintlik 'n litostratigrafiese samevoeging van die boonste drie afsettingskomme van die Kaapvaal Provinsie: die Campmanikom, die Pretoriakom en die Rooibergkom. Die veronderstelling dat 'n Supergroep ekwivalent is aan 'n afsettingskom, soos trouens die geval was met die Ventersdorp hierbo bespreek, moet hier ook baie duidelik die kop ingeslaan word. Dat dit nie die geval is ten opsigte van die Transvaal Supergroep nie, sal volg uit die bespreking.

Die brongebied van klastiese sedimente in die Campmanikom lê in die suidoostelike deel van die Kaapvaal Provinsie, terwyl sedimente vanaf Duitschlandtyd in die Pretoriakom versamel het en vanuit 'n noordelike bron afkomstig was, soos verder verduidelik word.

Die basale transgressiewe eenheid van die Campmanikom, die Swartrif Formasie, is duidelik 'n retrograderende eenheid gedomineer deur die hoeveelheid klastiese materiaal wat vanaf 'n gevorderde skielvlak afkomstig is, en dus bestaan uit sikliese wigvormige lae wat seewaarts progressief meer marien raak, diskordant op 'n landelike vloer.³⁸ Die transgressierigting was suidoostelik, weg van die distale ysterryke lae van die kom en in die verdunningsrigting van die karbonate op die oervastelandsplat, ook beskryf as die platform (figuur 3). Sy basale konglomeraat bestaan uit 'n onderste alluviale gedeelte van die ou landoppervlakte waarvan holangs die ligtere materiale deur strandverwerking eluviaal uitgesif en wyd oor die ou rivierlope versprei is.³⁹ Swartrif-isopagkaarte vertolk dus die mate van sedimentinvoer eerder as die mate van komdaling, en die litostratigrafiese eenheid as geheel is tydtransgressief. Daar kan dus geen diskordans aan sy bokant bestaan nie.^{40, 41, 42, 43} Sy boonste grens is weens die geleidelike oorgang na karbonate meermale arbitrêr vasgestel, en die sedimentologiese metodes van sommige ontleders leen hulle nie aan die werklikheid van die wigvormige tussengelaagdheid en die transgressiewe aard van die litostratigrafiese eenheid nie.^{40, 41, 44}

Die Campmanikom is 'n sleepgrensafsetting (miogeoklien) in 'n tropiese gebied waar geen deltas op die plat uitgebou het nie.⁴⁵ Vanaf die vastelandsrand verteenwoordig die glooiing 'n oorgang na modderstene wat in die diepseegebied tot ysterryke of ander langzaam vormende formasies kan oorgaan.^{38, 46} Die glooiing vertoon 'n wigvormige opeenvolging as gevolg van die wisselwerking van seevlak ten opsigte van die vastelandsrand, en van seestrome.^{46, 47, 48, 49} Die leeftyd van so 'n afsetting is vergelykbaar met 'n Wilsonsiklus (minder as sowat 450 Ma, en gemiddeld 320 Ma).⁵⁰ Ysterformasies en astuflagies is 'n aanduiding dat die teenoorgestelde kontinent, wat 'n magmatiese boog bevat, nader aan die Kaapvaalkontinent beweeg het, en dat vulkane op die magmatiese boog bewys dat subduksie onder die naderende kontinent plaasgevind het. Dus verteenwoordig hierdie voorkomste, die dikte daarvan en die siklusse in die Campmanikom die laafases van 'n lang Wilsonsiklus. Alternatief moes die gelyktydige vulkanisiteit vanaf die suidoostelike gebied van die Kaapvaal Provinsie afkomstig gewees het. Daarvoor bestaan tot dusver geen getuienis nie.

'n Gevolg van die miogeoklienteorie is dat die Malmani

Subgroep suidoos van 'n lyn tussen Barberton en Bethlehem (Ba en Be op figuur 1) moet uitknyp, en dat die Swarttrif Formasie dan direk deur die Pretoria Groep oorlê word. Die vraag ontstaan dus of die Mantonga Formasie van die Nsuzi Groep naby Paulpietersburg (Pp van figuur 1) nie dalk hierdie litostratigrafiese voorstel nie.²⁵

Ouderdomsbepalings van astufmateriaal in sedimente (opmerking 10, figuur 3)⁹ toon dat die Campmanikom tot ongeveer 100 Ma vroeër as die amptelike aanvang van die Proterosoïkum sy aanvang kon gehad het, soos aangedui deur die pyltjies in die aangrensende ouderdomsbepalingskolom. Die vulkaniese as kon, soos in die geval van Krakatoa, wydversprei gewees het van elders op die aardbol en is slegs herkenbaar in baie stadig geakkumuleerde afsettings. Opeenvolgingspesialiste noem sulke lae gekondenseerde intervale (condensed sections).³⁸ Die juistheid van ouderdomme afkomstig van stromatoliete word tans bevraagteken (N.J. Beukes, persoonlike mededeling).

Die Pretoriakom besit duidelike kenmerke van 'n voorlandkom, byvoorbeeld, sikliese growwer materiaal boontoe, meer onstabiele sedimentasie proksimaal noordwaarts, geleidelike verdunning distaal met sedimente suidwaarts vervoer in teenstelling met die Campmanikom, dikker vulkaniese eenhede (aanvaar as ongeveer 2230 Ma oud) suidwaarts, en geen tekens van klastiese wê of gelyktydige afskuiwings wat kon lei tot die hipotese van 'n slenkalkom nie.⁴¹ Dit kan 'n botsingsvoorlandkom (figuur 2) wees, soos geïnterpreteer in die geval van die Kilohigokkom,⁵¹ of selfs moontlik 'n agterboogse voorlandkom.

Noord van die mees proksimale dagsome van die Pretoriakom, in die streek Gaborone (Ga) - Thabazimbi (Th) - Pietersburg (Pi) van figuur 1, is die gebied waar die gekoppelde plooi-stootgordel van die voorlandkom verweg kan word. Hierdie gebied is duidelik opgehef en afgeskuur tot die vlak van die kristallyne vloergesteentes. 'n Reeks passende stootskuiwings met noordelike hellings is geofisies herken.⁵² Die Valiese strata wees van Pietersburg tot oos van Thabazimbi word tentatief toegeskryf aan die oostelike stootkragte van die noord-suid Kheis-Korrannaberg Orogreen aan die westelike grens van die Kaapvaal Provinsie.⁵³ Die noordelike en oostelike Tswana Orogene kan dus van verskillende ouderdomme wees.

In die lig van bostaande tektoniek en die struktuur van die suidoostelike sektor,²⁶ het skrywer vermoed dat die sedimente wat jonger is as die Magaliesberg Formasie in Mpumalanga,⁵⁴ tektoniese duplikasies kan verteenwoordig, omdat hulle sedimentologies min verskil van die Silverton en Magaliesberg Formasies en van 'n skalievoorkoms jonger as die Magaliesberg. Geen bewyse is gevind dat die volgorde van litostratigrafiese eenhede ooit bevestig is nie, terwyl oorskuiwings in die vallei van die Steelpoortrivier en in die Pelgrimsrusgoudveld bekend is.^{55,56} Strekkingsverskuiwings is dominant in Mpumalanga en is moeilik herkenbaar in die veld en op die regionale geologiese kaarte weens grondbedekking.

Die diskordans tussen die Pretoriakom en die Rooiberg Groep is al in verskeie gebiede herken maar kan nogtans stelselmatig ondersoek word. In die tipegebied word basiese lawas in die Smelterskop Formasie aangetref. Volgens die jongste teorie is die basiese Smelterskoplawas en die suur Rooiberglawas respektiewelik die vulkaniese ekwivalente van die Rustenburg- en Lebowaplutone van die Bosveld Kompleks.^{16,57} Ook hier word gevind dat die plutone altyd stratigrafies onder hulle vulkaniese ekwivalente aangetref word. Die stratigrafiese opeenvolgings, tektoniek en metamorfisme van dagsoomgebiede omring deur stolotse van die Bosveld Kompleks pas aan by hierdie beskouing, en verdien dus om ingesluit te word by die regionale kartering van tydstratigrafiese eenhede.^{36,57} Geen rede word aangevoer hoekom die oorliggende sedimente as konkordant op die

suurlawas beskou word nie.¹² Teoreties moes daar 'n tydperk van afsettingsonderbreking bestaan het.

Op figuur 3 se linkerkantste chronometries skaal kan die tydperk wat die Transvaal Supergroep behels, nou reeds baie tentatief onderverdeel word deur die ouderdomme van die Bosveld Kompleks as korrek te aanvaar.⁶

OUERDOMME VAN KAAPVAALSE GRENSE

Interkontinentale botsings met die Kaapvaalse oervasteland moes op verskillende tydperke plaasgevind het. Vanuit die noorde gesien, lyk dit asof Rooibergtyd (2054 Ma) 'n episode kort na 'n botsing voorstel, as dit met die Tibetaanse gebied vergelyk word.⁵⁸ Vanuit die weste gesien, lyk dit asof die Kheis-Korrannaplooi-skuifgordel jonger kan wees omdat Waterbergsedimente daarby betrokke is.^{53,59,60} Die tydperk van die suidwestelike verbyskuif naby Prieska (Pa, figuur 1) kan weer jonger wees, en die jongste tektoniek van die suidoostelike kwadrant kan so jonk as 1 000 Ma wees.⁶¹

Net soos hierdie randgebeure tektoniese reperkussies tot diep in die sogenaamde Kaapvaal Kraton gehad het, het plaattektoniese kragte ook vroeër hulle invloed gehad op die Randiese en Valiese afsettings.¹⁸ Die huidige ontleding dui aan dat die Kaapvaalse gebied dalk as deel van 'n diskrete vasteland oor 'n nagenoeg een miljard jaar bestaan het (vanaf ongeveer drie miljard tot ongeveer twee miljard jaar gelede). Die opeenvolgings oor daardie periode, hulle vervormings en gedeeltelike denudasies verskaf 'n ietwat vae indirekte beeld van die verskillende aardkragte wat tydens hierdie lang tydperk op die Kaapvaalse Provinsie ingewerk het. Danksy die metodiese ontleding behoort hierdie geskiedenis baie nader aan die waarheid te wees as vorige probeerslae, en vorm dit die grondslag vir doelgerigte pogings om nog baie meer van wat tans nog duister is, te ontrafel.

BESPREKING

Die tradisionele stadium van geologiese sintese met sy opeenstapeling van analitiese gevolgtrekkings en oormatige klem op enkele faktore soos tektoniek,¹ ouderdomsbepalings,^{7,28} siklisiteit^{36,62} of sedimentologie^{10,12,63} verloor al hoe meer die vermoë om tussen beter en swakker gevolgtrekkings te onderskei. Tog is dit essensieel om die geologiese geskiedenis so na as moontlik aan die werklikheid te beskryf om die ekonomiese potensiaal van 'n streek ten volle te herken.

METODIEK

Die voorafgaande hersiening beklemtoon weereens dat die enigste inligtingsbron per slot van sake in die gesteente-opeenvolging gevind word. Dié bron bevat al die fisiese gevolge wat bewaar gebly het en waaruit die prosesse wat die geologiese en ook minerale-ontwikkeling beheer het, vertolk kan word. Om die maksimum inligting te verhaal, moet daar enersyds teruggekeer word na die filosofiese prosesse van wetenskaplike vordering,^{64,65,66} en andersyds moet 'n professionele en doelgerigte bestuurspad uitgewerk word. Sodanige bestuurspad moet 'n werksbenadering vind wat al die ingewikkelde faktore stapsgewys, gebalanseerd en optimaal uit die databasis onttrek. Die databasis moet daarna herhaaldelik vergroot en verbeter, ontleed, verwerk, vertolk, weergee en vir gebruik bewaar word. Besonderhede van die organisasie is tans elders vir publikasie aangebied. Tog is dit uit die voorafgaande studie reeds duidelik dat 'n metodiese benadering belangrike nuwe insigte na vore gebring het.⁶⁷

Die kritieke taakgebiede wat stapsgewys op mekaar moet volg, kan nou al voorgestel word. Vir elke kritieke taak kan die ideale,

behoefte, metodes om die doel te bereik, tekortkominge en oplossingsaksies uitgespel word. Voorheen het hierdie faktore sporadies en lukraak bekend geword. Die bekendstelling van tekortkominge en van nuwe teorieë, hetsy met of sonder 'n grondige maar vreemde agtergrond,^{2, 14, 22, 23, 29, 30, 31, 33, 35, 69} 'n onnodige weerstand en negatiewe reaksies van juis die kundiges van die vorige bedeling uit, in plaas daarvan om hulle te lok om ook skouer aan die wiel te sit en hulle aansienlike hydraes te lewer.^{8, 68, 69}

Skrywer sien tans die volgorde van kritieke stappe op die navorsingspad soos volg:

1. Opstelling van 'n samegestelde opgemete maksimum kolom van litologiese opvolging.
2. Verdelling daarvan in vasgestelde geologiese tydperke.
3. Progressiewe kwantitatiewe laterale kartering van elke tydperk van belang.
4. Verdelling in opeengestapelde tektonies kontroleerde afsettingskomme sodat ophelings- en dalingsgebiede op bostaande kaarte die gepaardgaande deformatsie aantoon.
5. Identifikasie van vulkaniese tydperke uit die kolom en die opstelling van 'n **episodetabel** (figuur 2). Opsporing van die voergange en posisies van hulle plutoniese tydsekwivalente, wat weer plaaslike hoër temperature, termiese metamorfose en mineralisasie teweeggebring het, en dalk magmatiese ertsliggame bevat.
6. Omskakeling daarvan na 'n liniêre tydskaal met behulp van ouderdomsbepalings en komduurtes, vir voorstelling deur die **geochronometriese tabel** as model (figuur 3).
7. Verbetering van wyse van dataversameling en -versorging om voorafgaande stappe by herhaling te verbeter.
8. Opstelling, toetsing en verbetering van geologiese, geofisiese, geochemiese en ertsvormingsmodelle en hulle interaksies.
9. Wis- en rekenaarskundige verwerking.
10. Verslaggewing.
11. Versameling en verbetering van kundigheid.

Deur herhaling en spanwerk kan die twee gekoppelde praktiese doelwitte van optimale geologiese kundigheid en optimale benutting van grondstowwe bereik word.

Bostaande metodiek, wat feitlik 'n standaardbenadering vir petroleumgeoloë is, en wat hier aangepas word op strata van die vroegste tye af, is duidelik 'n vreemde benadering vir die meeste harderotsgeoloë.

PLAATTEKTONIEK

Plaattektoniese insigte verkry uit die huidige eerste ondersoek van beskikbare gegewens met die nuwe metodiek diagrammaties hierbo opgesom, en in figuur 3, die geochronometriese tabel, kan nou bespreek word.

Die vorige tydperk van omwenteling wat die Swazium Era genoem word, kom tot 'n einde voor 3000 Ma. 'n Periode van kratonisasie (3030 tot 2960 Ma) het gelei tot skiervlakkvorming waarop die transgressiewe vloerlaag van die Witwatersrandkom afgeset is. Miskien verteenwoordig die Swazium aan sy einde die bestaan van 'n oersuperkontinent, en het 'n skiervlak gevorm terwyl die Kaapvaalse korsfragment daarvan weggedrywe het. Die Witwatersrandse agterboogse voorlandkom verteenwoordig die produk van 'n oseaanluiting,⁵⁰ en die Klipriviersbergse basalte dalk die subduksie van sy oseaanrug.⁶⁹ Hierdie meganisme verklaar ook die sterk rekspanning van Kameeldoorsslenkdale, maar wek 'n verwagting op van 'n komende akkresie. Die Platbergvulkanisme wat daarop volg, pas in as 'n

boogafsetting, met 'n moontlike botsing naby 2650 Ma (die Ndebele Orogeen van figuur 2).^{17, 39, 70, 71} Daarteenoor word sy plutone as anorogenies beskou en die vulkanisme as 'n kalkalkaliese produk van subduksie.^{72, 73} In die Rotsgebergtes van Noord-Amerika word suurlawas teen die einde van die Laramide Orogeen opgevolg deur basiese lawas en slenkaldaltektoniek. Volgens 'n alternatiewe model van incenstorting van uitgeputte magmakamers onder die suurlawas van 'n magmatiese boog is daar weinig tekens van korsverkorting deur 'n botsing te bespeur.

Rietgatvulkanisme gaan weer gepaard met slenkaldalvorming en daarna volg die wydverspreide Pniel-episodes, waarvan by beide tot dusver geen ouderdomme bekend is nie. Eers vanaf ongeveer 2600 Ma (ouer as 2555 Ma) is daar aanduidings dat 'n marginale oseaan aan die westelike en noordelike kuste van die Kaapvaalse vasteland kon bestaan het. Die vae prentjie dui op 'n na-orogenetiese strekfasie wat gaandeweg oorgaan in 'n omgewing van dalingskomme, wat op 'n vroeë stadium deur 'n Allanridgepluim verstoort is, met 'n spoor soortgelyk aan die Snake River-Yellowstone vulkaniese spoor in Noord-Amerika.

Die aanvang van die Vaalium Era behoort eintlik opgeskuif te word vanaf sy huidige posisie aan die basis van die Rietgat Formasie tot by die vloer van die Transvaal Supergroep. Sell's dan is dit onaanvaarbaar ouer as die grenstyd van 2500 Ma tussen die Argeikum en die Proterosoïkum (figuur 3).

Die Campmani-sleeprandkom dui op die bestaan van 'n oseaan aan die westelike tot noordelike kant van die Kaapvaalse vasteland, losweg vanaf ongeveer 2 600 tot 2 300 miljoen jaar gelede, met gestreepte ysterstene wat teen die einde 'n naderende vasteland met 'n magmatiese boog voorspel. Of die Pretoria-voorlandkom 'n perifere botsingkom voor die boog soortgelyk aan die Siwalik voor die Himalayas verteenwoordig, of 'n agterboogse kom nadat die polarisasie van subduksie omgekeer het, is nog 'n ope vraag.

Omkering van subduksie na die suide, gevolg deur 'n botsing met die oerkontinent van Zimbabwe, is 'n tentatiewe verklaring vir die Bosveld Kompleks en die mobiele Limpopogordel waarna kontinentale rooilae die vergrote vasteland oorvleuel het. Kort daarna het die kontinent verder vergroot deur samevoeging in 'n botsing vanuit die weste, om moontlik 'n oersuperkontinent te vorm.

SIKLISITEIT

Vanaf 2000 Ma gelede het die aarde 'n reeks sikliese samestellings en opbrekings van superkontinente beleef, soos reeds deur vele beskryf,^{50, 62} totdat aansluiting gevind kan word met die laaste 700 Ma en die Faneroosiese modelle.⁷⁴ Uit Wes-Australië kom die afgelope tyd geologiese sinteses wat 'n soortgelyke siklisiteit reeds vanaf 3 500 Ma gelede beaam, maar wat nogtans sy eie plaaslike karakter openbaar.^{75, 76} Daar word selfs beweer dat die sterk ooreenkoms met die Pilbaragebied verklaar kan word deurdat 'n deel van die Kaapvaalse kontinent eens afgeskeur het en die korsfragment toe weer daar vasgemeer het.⁷⁷

Skrywer sluit aan by ander⁵⁰ dat mobiele gordels soos die Irumide, die Kibara en die Pan-Afrikaanse geen wêreldwye bergbou-episodes voorstel nie, maar eintlik tydperke van groter en ingewikkelder korsaktiwiteit voorstel tydens die samevoegingsperiodes wat superkontinente voorafgegaan het. Die Kaapvaalse grensgordels behoort dus elkeen 'n hoogs transformeerde weergawe te wees van die opeenvolgings van die twee saamgevoegde fragmente weerskante van 'n dikwels verstoke sutuur.³

Hierdie tentatiewe en gedeeltelike plaattektoniese toneel is ontleen aan die reeds bekende geologie. Hoeveel te meer behoort

'n herhaalde stelselmatige ontleding soos voorgestel, dié gevolge wat direk ontleedbaar is uit die gegewens, nader aan die kol te interpreteer!

METALLOGENESE

Die databank, nadat dit verwerk is tot reekse stratigrafiese kolomme, profiele en kaarte, moet 'n noodsaaklike raamwerk verskaf waarin die konsentrasieproses wat tot ertsliggame lei, bestudeer kan word. Isopagkaarte mag genoegsaam wees om primêre konsentrasies soos steenkool of goud en uraan in Witwatersrandse spoelertsaftsettings uit te lig, of om platina, chroom en vanadium-ystererts in die kumulatiewe konsentrasies van Bosveldplutone te verduidelik, maar dit geld nie vir enige ertsliggama wat later, moontlik lank ná afsetting, verryk is nie. Om die toestande van sodanige ertsvorming na te vors en met analoë modelle te vergelyk, verg 'n realistiese nabootsing van tektoniese en metamorfe veranderinge in die regte volgorde, soos wat tans slegs met behulp van gesofistikeerde rekenaarprogramme uitgevoer kan word. Daar bestaan reeds talle modelle van verskillende toestande van ertsvorming, dikwels etlikes vir een soort erts, en hulle benader slegs die ware toedrag van sake, en is dus ook onderhewig aan modifikasie.

Herhaling van die program van ondersoek is 'n belangrike metode om die sleutel tot die geheim van bepaalde ertskonsentrasies te ontdek. Langs die pad word dikwels nuwe voorkomstes ontdek op dieselfde wyse as wat 'n hipotese getoets word deur voorspellings daaruit te toets, lank voordat die korrekte ertskontrolle bekend is of dat die hipotese 'n algemeen aanvaarde teorie word. Daardie laaste stadium word slegs benader indien die versamelde kennis bewaar en gedurig in die iterasieproses teruggeploeg word.^{11,67} Ongelukkig maak bestaande wetgewing plaaslik nie genoegsaam voorsiening vir verpligte terugborsing van inligting na voltooiing van mislukte prospekteraktiwiteite nie.

GEVOLGTREKING

'n Stelselmatige wetenskaplike herondersoek van die bekende stratigrafiese volgorde gewysig uit 'n benadering soos wat tans baie suksesvol op die jonger olieryke afsettingskomme toegepas word, openbaar die aansienlike mineralepotensiaal wat die Kaapvaal Provinsie nog steeds besit. 'n Metodiese benadering is dus nodig om die geologiese geskiedenis van die Kaapvaal Provinsie so na as moontlik aan korrek te kan vertolk. Daar die stratigrafiese opeenvolging die enigste bron van inligting daarvoor is, moet ontleding begin deur die litostratigrafiese kolom in spesifieke tydperke te verdeel en dié dan uit te karteer, waaruit gestrengte afleidings van beide tektoniese en termiese invloede gemaak kan word. Die episodetabel en sy geochronometriese omsetting dien as geologiese model om bogenoemde invloede in hulle regte episodes te plaas. Kaarte van chronostratigrafiese intervale is nodig om die plekke waar die aksie plaasgevind het, vas te stel.

Gerekenariseerde ontledingsmetodes kan sorg dat die afleidings van geologiese geskiedenis deur herhaling al nader na korrek neig. Terselfdertyd verbeter die modelle van ertsvorming en lei dit tot die optimale herwinning van grondstowwe. Dis nodig dat die versamelde kennis bewaar en wyd versprei word weens die spanwerk en herhaling wat die organisasie verg.

So belangrik word dit geag dat daar oorgegaan moet word na 'n wetenskaplik-professionele benadering tot die soektog na grondstowwe, dat die tabelle vroegetydig aan 'n breë front van belanghebbendes bekendgestel is.^{11,67} Dit sluit in dat aandag bestee moet word aan die erkenning van die opeenvolgings-

metode om akkurate tydstratigrafiese onderverdelings van enige gesteentekolom te verkry.¹¹

SUMMARY

INTRODUCTION

Accurate knowledge of the geohistory of any region such as the Kaapvaal Province (figure 1), a structural term preferred to "Kaapvaal Craton", is a prerequisite for both mineral exploration and exploitation. The key to a methodology that approaches that ideal is the application of interruptions in deposition to establish a succession of maps each limited to a specific time duration. An approach following the procedures used by petroleum geologists but without dependence on fossils, is employed.

Geohistory can only be derived from responses stored in the rock succession. Hence the most representative lithostratigraphic column should be established, subdivided at unconformities into the order of magnitude desired for the examination, and these mapped as far as possible to the limits of the structural province for a regional perspective.

To model all the events preserved and recorded by geology, the dynamic and thermal aspects should be constrained by analyses of observations processed in as quantitative a manner as possible and displayed on maps, profiles and columns. Dynamic responses are analysed from the stacking of tectonically controlled depobasins, the shapes of these and of eroded uplifts from regional maps. Thermal responses relate to volcanic accumulations in the lithostratigraphic column, their feeders and plutonic equivalents on maps. The model display is the *episode chart* (figure 2) on which the interactive timing of dynamic and thermal events is related to depositional episodes in relative geological sequence. Conversion to millions of years before present time is approached on the *geochronometric chart* (figure 3) by radiometric age dating of suitable rocks in the column and interpolation to unit boundary ages using average depositional rates. These charts reveal deficiencies and target new objectives.

When these geological models are combined with geochemical and geophysical ones and compared to the many ore-body models available by sophisticated computer technologies, the successful outcome of mineral exploration ventures are optimised.

A stringent recording method of data processing, analysis and interpretation capable of additional major improvement by iteration and teamwork, is indicated here by a survey based on present knowledge to be far superior to current review procedure. The latter is inordinately reliant on a biased standard such as tectonic evolution or age dating supplemented by a stacking of stratigraphic hypotheses, instead of the only reliable source: the geological succession – stratigraphy.

GENERAL GEOLOGY

The Kaapvaal Province is a least altered foreland structural region to plate tectonic collisions with exotic crustal fragments.³ In itself it is a part of a structural province of a paleocontinent, other parts of which may subsequently have been dismembered,³⁶ an eastern part deeply buried, and the other original borders obliterated within complex mobile belts (figure 1). Founded upon an annealed metamorphosed and tectonised assemblage of crystalline granitoid and greenstone rocks older than 3000 Ma (million years), a stack of depositional basins (depobasins) assembled during its lifetime as part of a continent until incorporation by collision into a larger entity, probably an early supercontinent,⁵⁰ about 2 000 Ma ago or soon thereafter. The cataclysmic record of

its incorporation is thought to have been the Bushveld Complex.^{4,6,57} The Kaapvaal Province has since, after additional accretions and break-ups, stabilised within the southern shield area of the African continent.

Many depobasins are controlled by faulting and folding episodes which ceased at the end of the contemporaneous deposition. They are not regularly stacked but may be fed from uplifted and partly denuded previous depobasins. The instability reflects deformational responses to plate tectonism.

BASIN ANALYSIS

A thorough discussion of the methodology is currently under submission. This paper accepts the theory in order to assess its impact upon current understanding of Kaapvaal geohistory.

A consequence of the chronostratigraphic conversion of a lithostratigraphic column is that analysis is limited to the region where the succession of depobasins can be resolved. Correlation of lithostratigraphy and chronostratigraphy cannot be carried across the limits of a crustal fragment, a unit also referred to as a tectonostratigraphic terrane.

Such a consideration negates any method not directly related to a simultaneous global event such as a Krakatoan-type ash-fall, or eustasy. In particular, global chronostratigraphy should be re-considered as a chronocorrelation calibration exercise towards the real age, that is, as a chronometric exercise such as figure 3. Geological time, as portrayed on figure 3 in the SPS 1989 column, is based on a concept that boundaries represent periods of least global activity.²⁸ Orogenies also cannot be globally simultaneous, hence one should not relate mobile belts such as the Pan-African event to global or even continental orogenies. Moreover, these fold-belts carry the stratigraphic record of the juxtaposed tectonostratigraphic terranes within the complexity of the collisional belt. The local geologic time scale on the SAKS 1988 column of figure 3 is strongly linked to these concepts of global stratigraphy, and thus will be seen to be of no help to elucidate or to develop our understanding of the geochronology of the Kaapvaal Province.

REVISED GEOLOGICAL EVOLUTION

Compared with the traditional interpretations on the right hand of figure 3, a revised history follows from the new analysis. A period of plutonic granitoid activity terminating slightly after 3030 Ma ends with a cratonisation period to 2960 Ma, thus terminating the Zwazian Era in the middle of the internationally proposed Meso-Archaean Era, and announcing the birth of the Kaapvaal palaeocontinent. Scars of an initial rifted margin,⁵⁰ generally attributed to a Dominion episode because of a possible xenocrystic date accepted as depositional,⁷ is probably destroyed within collisional mobile belts.

Lithostratigraphic correlation and structural evidence suggests that the Dominion type area is a large thrust sheet bearing an attenuated Witwatersrand to Ventersdorp succession masked by depobasin-bounding denudation and minor metamorphic overprinting (figure 4). Part of the correlative Nsuze Group in the southeastern sector resemble several episodes of the Ventersdorp sequence, overthrust by a distal Witwatersrand sequence, the Mozaan Group.^{25,26}

A Witwatersrand foreland depobasin, with the proximal terminal margin indicated on figure 1, commenced as a transgressive Orange Grove Quartzite Formation on a peneplain to end within the Venterspost Conglomerate Formation.^{2,23,29} During its entire life span from 2960 to 2840 Ma²⁷ it was linked to the Sotho Orogeny (figure 2), a deeply denuded fold-thrusted hinterland.

Thereby recognised as a cratonic retro-arc foreland basin,⁶⁹ it is shown to represent the closing period²⁷ of a Wilson cycle in plate-tectonic theory, accompanied by subduction of oceanic lithosphere beneath the Kaapvaal continent.⁵⁰

Subduction of a plume or probably of a mid-ocean ridge accounts for the rapid accumulation of Klipriviersberg Group flood basalts initiated by a komatiitic effusion in structural conformity to, though distally onlapping the Witwatersrand depobasin to the SSE, but with marked unconformity in the opposite direction (figure 1).^{2,32}

The brief period of 2840 to 2934 Ma allocated (figure 3) disagrees with a radiometric age of 2714 attributed to its emplacement.⁷ Plutons of the Ushushwana Complex in the southeastern sector may represent the intrusive equivalent of Klipriviersberg volcanism.

Subsequent retroarc stretching created a horst-and-graben topography of rifting with concurrent sedimentation of clastic rift-valley wedges during the 283 to 2800 Ma Kameeldoorns episode. The uplifts, originally capped by nearly 2 kilometres of Klipriviersberg lavas, shed first-cycle volcanoclastic detritus into half-grabens followed by sediments exhumed from the underlying rocks.²² Distal facies dwindle to stromatolitic limestones and cherty, muddy rhythmites.^{30,35} Major regions representing denuded topographic relief bear no traces of the depositional episode.^{22,30,35}

A cluster of volcanic and plutonic dates between points (5) and (6) on the age dates column of figure 3 are attributed to the more acid rocks of a calc-alkaline suite covering the Makwassie episode of the rocks, including the Kanye between Mmabatho (Mb) and Gaborone (Gb) in the west and the post-Pongola anorogenic intrusions south of Baberton (Ba) and elsewhere on figure 1. These are encountered well below the stratigraphic levels of the volcanics, the lateral limits of which could now be even greater than recently reviewed.³⁶ Makwassie deposition, which may exceed 2 km in thickness in the type area depocentre,²² may represent magmatic arc deposition. Both contractional and extensional theories support this episode,^{14,17,26,52} and structures can not readily be discriminated from overprinted Tswana Orogenies (figure 2).^{29,30} Analogous development elsewhere on earth have not provided much help. Rapid lateral facies and thickness changes require a closer spacing of data points than regionally available, and critical seismic control is generally classified.

The undated Rietgat episode completes the picture of Platberg evolution. Clastic wedges correspond to a rift-valley filling intercalated with increasingly basic volcanic components. Rietgat graben-fills are overlain by the Hartbees subsidence depobasin episode (figure 2) in the well-known "steers-head" combination.^{14,34} Still undated, the two Pniel depobasins are closely connected structurally,^{22,31} but separated from below by an interregional unconformity once considered as the global Archaean-Proterozoic boundary (APB).^{5,36} It was initially considered to extend Ventersdorp evolution to 2530 Ma (figure 3). However, if the somewhat suspect dates of 2525 and 2555 are depositional, the 2530 Ma boundary of the Ventersdorp and Transvaal Supergroup might have to be revised down to 2600 Ma (the arrow marked with remark 10 in the age date column of figure 3). Inevitably the Radian/Vaalian boundary, now taken to be below the Rietgat Formation, may have to be moved up to the pre-Black Reef hiatus.

The widespread Bothaville depobasin closely relates areally to the overlying Campmani passive margin miogeocline, but is apparently disrupted by a plume which gave rise to Allanridge flood-basaltic eruptions.³⁶

The Transvaal Supergroup comprises the Campmani miogeocline, the Pretoria foreland basin and the volcanic accu-

mulations of Rooiberg-Dullstroom – three depobasins of diverse tectonic control, only roughly co-incident with defined lithostratigraphic boundaries. The basal Black Reef Formation is a retrogradational unit transgressive to the SE, opposite to thickening of the carbonate platform and deepwater iron-bearing lutites.⁴² The Pretoria basin links to an extensive uplifted thrust-belt in the northern hinterland (Ga, Th, Pi and eastwards, figure 1). Sediments are sourced from the north, the polarity change from Campmani time supporting collisional plate tectonics.³ The Rooiberg-Dullstroom lavas can be linked to a complex Bushveld intrusive history, still awaiting elucidation.¹⁶

The tectonics of the Kaapvaal Province borders require much more attention. The possibly younger than the above easterly verging Kheis-Korannaberg belt creates major interference structures.⁵³ The tectonic sequence of the SE Kaapvaal borderland (figure 1) is unresolved.²⁶

Foreland style tectonics dominate the interior, and may yet be responsible for the huge pop-up structure at Vredefort.

Many parts of this history require additional scrutiny, but research targets are set and an iterative policy should lead to improvements sought in the knowledge of the hosting environments of Kaapvaal metallogeny. Prompt access to failed prospects should enhance basic stratigraphic backgrounds.

ERKENNINGSG

Skenkings uit die Andrew Geddes Bain navorsingsbeurs van die Geologiese Vereniging van Suid-Afrika, die voortgesette addisionele finansiële en logistiese bystand van die Geologiese Departement van die Randse Afrikaanse Universiteit en die steun van kollegas, word met dank erken.

LITERATUURVERWYSINGS

1. Thomas, R.J., Von Veh, M.W., McCourt, S. (1993). The tectonic evolution of southern Africa: an overview, *J.S. Afr. Earth Sci.*, 16, 5-24.
2. Winter, H. de la R. (1994). The Ventersdorp Contact Reef in relation to the Witwatersrand Basin and overlying Ventersdorp volcanic rocks, *S. Afr. J. Geol.*, 97, 260-278.
3. Winter, H. de la R. (1995). Revolutionary perceptions about Kaapvaal sequence chronostratigraphic analysis, *Ext. Abstr. Geocongr. Johannesburg, Geol. Soc. S. Afr.*, 886-889.
4. Cheney, E.S., Barton Jr. J.M., Brandl, G. (1990). Extent and age of the Soutpansberg sequences, southern Africa. *Tectonophysics*, 156, 275-291.
5. Cheney, E.S. Roering, C., Winter, H. de la R. (1990). The Archean-Proterozoic boundary in the Kaapvaal province of southern Africa, *Precambrian Res.*, 46, 329-340.
6. Walraven, F., Martini, J. (1995). Zircon Pb-evaporation age determinations of the Oak Tree Formation, Chuniespoort Group, Transvaal Sequence: implications for Transvaal - Griqualand West basin correlations, *S. Afr. J. Geol.*, 98, 58-67.
7. Robb, L.J., Davis, D.W., Kamo, S.L. (1991). Chronological framework for the Witwatersrand Basin and environs: towards a time-constrained depositional model, *S. Afr. J. Geol.*, 94, 86-95.
8. Winter, H. de la R. (1995). What is chronostratigraphy in fact?, *Geobulletin*, 38(3), 4-6.
9. Barton Jr., J.M., Blignaut, E., Salnikova, E.B., Kotov, A.B. (1995). The stratigraphical position of the Buffelsfontein Group based on field relationships and chemical and geochronological data, *S. Afr. J. Geol.*, 98, 386-393.
10. Stanistreet, I.G., McCarthy, T.S. (1991). Changing tectono-sedimentary scenarios relevant to the development of the Late Archaean Witwatersrand Basin, *J. Afr. Earth Sci.*, 13, 65-82.
11. Winter, H. de la R. (1996). Chronostratigraphy: advances in problem exposition and the solution, *Geobulletin*, 39(1), 13-15.
12. Eriksson, P.G., Schweitzer, J.K., Bosch, P.J.A., Schreiber, U.M., Van Deventer, J.L., Hatton, C.L. (1993). The Transvaal Sequence: an overview, *J. African Earth Sci.*, 16, 25-51.
13. Crockett, R.N. (1971). Some aspects of Post-Transvaal System tectogenesis in southeastern Botswana, with particular reference to the Lobatse and Ramotswa areas, *Trans. geol. Soc. S. Afr.*, 74, 211-236.
14. Winter, H. de la R. (1989). A tectonic classification of certain South African depositional basins and criteria for recognition of major unconformity-bounded sequences, *S. Afr. J. Geol.*, 92, 167-182.
15. Harmer, R.E., Von Gruenewald, G. (1991). A review of magmatism associated with the Transvaal Basin – implications for its tectonic setting, *S. Afr. J. Geol.*, 94, 104-122.
16. Schweitzer, J.K., Hatton, C.J., De Waal, S.A. (1995). Regional lithochemical stratigraphy of the Rooiberg Group, upper Transvaal Supergroup: A proposed new subdivision, *S. Afr. J. Geol.*, 98, 245-255.
17. De Wit, M.J., Roering, C., Hart, R.J., Armstrong, R.A., De Ronde, C.E.J., Green, R.W.E., Tredoux, M., Peberdy, E., Hart, R.A. (1992). Formation of an Archean continent, *Nature*, 357, 553-562.
18. Coward, M.P., Spencer, R.M., Spencer, C.E. (1995). Development of the Witwatersrand Basin, South Africa. In Coward, M.P., Ries, A.C. (eds.) *Early Precambrian Processes*. Geol. Soc. Spec. Publ. 95, 243-269.
19. (SACS) South African Committee for Stratigraphy (1980). *Stratigraphy of South Africa Part 1 Lithostratigraphy*, (Comp. Kent, L.E.). Handb. geol. Surv. S. Afr., 8, 690 pp.
20. Robb, L.J., Meyer, F.M. (1994). Geological Environment and Mineralization Processes during the Formation of the Witwatersrand Au-U Deposits, *Proc. XVth CMMI Congr.*, S. Afr. Inst. Min. & Metall., Johannesburg, 3, 3-18.
21. Strydom, P.M. (1986). *Excursion handout*. Geocongress '86, Geol. Soc. S. Afr., 1 p.
22. Winter, H. de la R. (1976). A lithostratigraphic classification of the Ventersdorp succession, *Trans. geol. Soc. S. Afr.*, 79, 31-48.
23. Winter, H. de la R. (1994). Foreland depobasin response of the Witwatersrand Supergroup in the Rietfontein-East Rand region: eustatic marine parallels and tectonic continental contrasts around the proximal rim, *S. Afr. J. Geol.*, 97, 119-134.
24. Bowen, T.B., Marsh, J.S., Bowen, M.P., Eales, H.V. (1986). Volcanic rocks of the Witwatersrand triad, South Africa 1: Description classification and geochemical stratigraphy, *Precambrian Res.*, 31, 297-324.
25. Cole, E.G. (1994). *Lithostratigraphy and depositional environment of the Archaean Nsuzze Group, Pongola Supergroup*, M.Sc. thesis (unpubl.), Rand Afrikaans University, Johannesburg, 166 pp.
26. Gold, D.J.C., Von Veh, M.W. (1995). Tectonic evolution of the Late Archaean Pongola-Mozaan basin, South Africa, *J. Afr. Earth Sci.*, 21, 203-212.
27. Beukes, N.J., Nelson, J.P. (1995) Sea-level fluctuation and basin subsidence controls on the setting of auriferous palaeoplacers in the Archaean Witwatersrand Supergroup: A genetic and sequence-stratigraphic approach, *Ext. Abstr. Geocongr. Johannesburg*, Geol. Soc. S. Afr., 860-863.
28. Johnson, M.R., Cornell, D.H. (1991). Discussion on "Kaapvaal chronostratigraphy should be based on known rock successions rather than on any proposed estimated time scale", *S. Afr. J. Geol.*, 94, 395-398.
29. Winter, H. de la R. (1995). Tectonic events affecting the Witwatersrand Basin with special reference to responses in the Bezuidenhout Valley, *S. Afr. J. Geol.*, 98, 356-370.
30. Winter, H. de la R. (1990). Discussion of "Evolution of the Late Archaean volcano-sedimentary basins of the Platberg Group near Welkom, Orange Free State", *S. Afr. J. Geol.*, 93, 869-875.
31. Winter, H. de la R. (1965). *The stratigraphy of the Ventersdorp System in the Bothaville District and Adjoining Areas*, Ph.D. thesis (unpubl.), Univ. Witwatersrand, 131 pp.
32. Hatton, C.J. (1995). Discussion on "The sequential eruption and tectonic history of the Klipriviersberg Group as illustrated by the distribution of geochemical units", *S. Afr. J. Geol.*, 98, 96.
33. Winter, H. de la R. (1994). Discussion on "A method for the

- stratigraphic classification of Klipriviersberg Group and Allanridge Formation volcanic rocks." *S. Afr. J. Geol.*, 97, 104-106.
34. Karpeta, W.P. (1993). Volcanism and sedimentation in part of a Late Archaean rift, the Hartbeesfontein basin, Transvaal, South Africa. *Basin Research*, 5, 1-19.
 35. Winter, H. de la R. (1963). Algal structures in the sediments of the Ventersdorp System, *Trans. Geol. Soc. S. Afr.*, 66, 115-128.
 36. Cheney, E.S., Winter, H. de la R. (1995). The Late Archaean to Middle Proterozoic Major Unconformity-Bounded Units of the Kaapvaal Province of Southern Africa, *Precamb. Res.*, 74, 203-223.
 37. Bosch, P.J.A., Eriksson, P.G., Snyman, C.P. (1993). The Wolkberg Group in the northeastern Transvaal: palaeoenvironment derived from sedimentology and geochemistry, *S. Afr. J. Geol.*, 96, 190-204.
 38. Van Wagoner, J.C., Mitchum, R.M., Campion, K.M., Rahmanian, V.D. (1990). *Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores and Outcrops: Concepts for High-Resolution Correlation of Time and Facies*. Amer. Assoc. petrol. Geol., Methods in Exploration Se., 7, 55 pp.
 39. Papenfus, J.A. (1964). The Black Reef Series within the Witwatersrand Basin with special reference to its occurrence of Government Gold Mining Areas. In Haughton, S.H. (ed.) *The Geology of Some Ore Deposits in Southern Africa*, I. Geol. Soc. S. Afr., 191-218.
 40. Clendenin, C.W., Henry, G., Charlesworth, E.G. (1989). *Characteristics of and Influences on the Black Reef Quartzite Stratigraphic Package in the Eastern Transvaal*, In: Circ. Econ. Geol. Res. Unit 214, Univ. Witwatersrand, Johannesburg, 12 pp.
 41. Eriksson, P.G., Clendenin, C.W. (1990). A review of the Transvaal Sequence, South Africa, *J.S. Afr. Earth. Sci.*, 10, 101-116.
 42. Beukes, N.J. (1977). Transition from siliciclastic to carbonate sedimentation near the base of the Transvaal Supergroup at Bothithong, in the northern Cape Province, South Africa, *Sediment. Geol.*, 18, 201-222.
 43. Ross, C.A., Ross, J.R.P. (1988). Late Paleozoic Transgressive-Regressive Deposition. In Wilgus, C.K. *et al.* (eds.). *Sea-level changes, An Integrated Approach*, Spec. Publ. 42, Soc. Econ. Paleontol. Mineral., 155-182.
 44. Tankard, A.J., Jackson, M.P.A., Eriksson, K.A., Hobday, D.K., Hunter, D.R., Minter, W.E.L. (1982). *Crustal Evolution of Southern Africa*, (Springer-Verlag, NY) 523 pp.
 45. Wilson, J.L. (1975). *Carbonate Facies in Geologic History* (Springer-Verlag, NY) 471 pp.
 46. Asquith, D.O. (1974). Sedimentary models, cycles and deltas, Upper Cretaceous, Wyoming, *Bull. Amer. Assoc. petrol. Geol.*, 58, 2274-2283.
 47. Matthews, R.K. (1974). *Dynamic Stratigraphy, an Introduction to Sedimentation and Stratigraphy*. (Prentice-Hall, New Jersey) 370 pp.
 48. Macqueen, R.W., Bamber, E.W. (1968). Stratigraphy and facies relationships of the Upper Mississippian Mount Head Formation, Rocky Mountains and Foothills, southwestern Alberta, *Bull. Can. petrol. Geol.*, 16(3), 225-287.
 49. Shanmugam, G., Moiola, R.J. (1982). Eustatic control of turbidites and winnowed turbidites, *Geology*, 10, 231-235.
 50. Worsley, T.R., Nance, D., Moody, J.B. (1984). Global tectonics and eustasy for the past 2 billion years, *Marine Geology*, 58, 373-400.
 51. Grotzinger, J.P., McCormick, D.S. (1988). Flexure of the Early Proterozoic lithosphere and the evolution of the Kilohigok Basin (1.9 Ga), Northwest Canadian Shield. In Kleinspehn, K.L., Paola, C. (eds.). *New Perspectives in Basin Analysis* (Springer-Verlag, NY) 453 pp.
 52. Roering, C., Van Reenen, D.D., De Wit, M.J., Smit, C.A., De Beer, H.H., Van Schalkwyk, J.F. (1992). Structural geological and metamorphic significance of the Kaapvaal Craton-Limpopo Belt contact, *Precambrian Res.*, 55, 69-80.
 53. Beukes, N.J., Smit, C.A. (1987). New evidence for thrust faulting in Griqualand West, South Africa: implications for stratigraphy and the age of red beds, *S. Afr. J. Geol.*, 90, 378-394.
 54. Schreiber, U.M., Eriksson, P.G. (1992). The sedimentology of the post-Magaliesberg formations of the Pretoria Group, Transvaal Sequence, in the eastern Transvaal, *S. Afr. J. Geol.*, 95, 1-16.
 55. Harley, M., Charlesworth, E.G. (1993). *Controls and structural development of epigenetic mesothermal gold mineralisation in the Sabie-Pilgrims Rest Goldfield, eastern Transvaal, South Africa*. Econ. Geol. Res. Unit, Inf. Circ. 268, Univ. Witwatersrand, 28 pp.
 56. Harley, M., Charlesworth, E.G. (1991). *Thrust deformation in a pre-Bushveld sill, eastern Transvaal*. Econ. Geol. Res. Unit, Univ. Witwatersrand, 11 pp.
 57. Hartzler, F.J. (1994). Geology of the Transvaal inliers in the Bushveld Complex, Ph.D. thesis (unpubl.), Rand Afrikaans Univ. Johannesburg, 363 pp.
 58. Treloar, P.J., Coward, M.P., Harris, N.B.W. (1992). Himalayan-Tibetan analogies for the evolution of the Zimbabwe Craton and Limpopo Belt, *Precambrian Res.*, 55, 571-587.
 59. Crockett, R.N. (1971). Some Aspects of Post-Transvaal System Tectogenesis in South Eastern Botswana with particular reference to the Lobatse and Ramotswa Areas, *Trans. geol. Soc. S. Afr.*, 74, 211-236.
 60. Verwoerd, W.J. (1963). Die Geologiese Struktuur van die Krokodilrivierfragment, *Trans. geol. Soc. S. Afr.*, 66, 49-74.
 61. Eglinton, B.M., Harmer, R.E., Kerr, A. (1989). Isotope and geochemical constraints on Proterozoic crustal evolution in south-eastern Africa, *Precambrian Res.*, 45, 159-174.
 62. Cooper, M.R. (1990). Tectonic cycles in southern Africa, *Earth-Sci. Reviews*, 28, 321-364.
 63. Clendenin, C.W., Charlesworth, E.G., Maske, S. (1988). An early Proterozoic three-stage rift system, Kaapvaal Craton, South Africa, *Tectonophysics*, 145, 73-86.
 64. Hubbert, M.K. (1963). Are we retrogressing in Science?, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 74, 365-378.
 65. Wolf, K.H. (1973). Conceptual models. 1. Examples in sedimentary petrology, environmental and stratigraphic reconstructions, and soil, reef, chemical and placer sedimentary deposits, *Sediment. Geol.*, 9, 153-193.
 66. De Waal, S.A. (1988). Of barons and barriers, *S. Afr. J. Geol.*, 91, 305-315.
 67. Winter, H. de la R. (1996). Nuwe insigte oor Kaapvaalse geologie en mineraalbronne spruit uit 'n rigoristiese komontledingsmetode, *S. Afr. Tydskr. Natuurwet. Tegnol.* 15(3), 131-133.
 68. Johnson, M.R. (1995). Chronostratigraphy is in fact chronostratigraphy, *Geobulletin*, 38(3), 7.
 69. Winter, H. de la R. (1987). A cratonic foreland model for Witwatersrand Basin development in a continental back-arc plate-tectonic setting, *S. Afr. J. Geol.*, 20, 409-427.
 70. Roering, C., Barton Jr., J.M., Winter, H. de la R. (1990). The Vredefort structure: a perspective with regard to new tectonic data from adjoining terranes, *Tectonophysics*, 111, 7-22.
 71. Hilliard, P., McCourt, S. (1995). Bedding-parallel simple shear deformation in the West Rand Group rocks on Northcliff Promontory, Johannesburg, South Africa – insight into the late Archean evolution of the Kaapvaal Craton, *S. Afr. J. Geol.*, 98, 349-355.
 72. Grobler, D.F., Walraven, F. (1995). Geochronology of Gaborone Granite Complex extensions in the area north of Mafikeng, South Africa, *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, 105, 319-337.
 73. Crow, C., Condie, K.C. (1988). Geochemistry and origin of late Archean Volcanics from the Ventersdorp Supergroup, South Africa, *Precambrian Res.*, 42, 19-37.
 74. Winter, H. de la R. (1992). Wilson cycles of tectonic and basin development along the Cape and Namibian West coast of Africa: Implications for exploration. *Abstr. Mini-Conf.: Southwestern African Continental Margin: Evolution and Physical Characteristics, Windhoek, Namibia*, Geol. Surv. Namibia, 58-68.
 75. Krapez, B. (1993). Sequence stratigraphy of the Archaean supracrustal belts of the Pilbara Block, Western Australia, *Precambrian Res.* 60, 1-45.
 76. Blake, T.S., Barley, M.E. (1992). Tectonic evolution of the Late Archaean to Early Proterozoic Mount Bruce Megasequence Set, Western Australia, *Tectonics*, 11, 1415-1425.
 77. Cheney, E.S. (1996). Sequence stratigraphy and plate tectonic significance of the Transvaal succession of southern Africa and its equivalent in Western Australia, *Precambrian Res.*, 79, 3-24.