

LIGTHELM, RONÉL

DIE HIDROGEOLOGIE VAN KARSTGEBIEDE
MET SPESIALE VERWYSING NA GRONDWATER-
BESOEDELING SUID VAN PRETORIA

MSc

UP

1993

**DIE HIDROGEOLOGIE VAN KARSTGEBIEDE MET SPESIALE VERWYSING
NA GRONDWATERBESOEDELING SUID VAN PRETORIA**

deur

RONÉL LIGTHELM

**Voorgelê ter vervulling van 'n deel van die vereistes vir die
graad Magister Scientia in die Fakulteit Natuurwetenskappe**

Universiteit van Pretoria

Pretoria

Oktober 1993

DIE HIDROGEOLOGIE VAN KARSTGEBIEDE MET SPESIALE VERWYSING NA GRONDWATERBESOEDELING SUID VAN PRETORIA

deur

RONÉL LIGTHELM

Leier : Prof A van Schalkwyk
Mede-Leier : Prof E Braune
Departement : Geologie
Graad : MSc (Ingenieursgeologie)

SAMEVATTING

Karstwaterdraers bestaan dikwels uit groot aaneengeskakelde oplossingholtes en genate sones in die bodemrots of uit hoogs geloogde residuele materiale. Die vinnige aanvullingstempo, hoë permeabiliteit en bergingsvermoë van hierdie soort waterdraers, veroorsaak egter ook dat besoedelingsagente dit maklik kan binnedring en daarin versprei.

In Suid-Afrika word 'n groot gedeelte van die dig bevolkte Pretoria-Witwatersrand-Vereeniging gebied, deur dolomiet beslaan. Dit geld ook vir verskeie ander dorpe en in baie gevalle word daar in 'n toenemende mate op grondwater as enigste of aanvullende waterbron gesteun. Onlangse studies het aan die lig gebring dat ernstige besoedeling van hierdie water reeds op verskillende plekke voorkom.

Daar is nog min aandag geskenk aan die invloed van deklaagmateriale op die kwesbaarheid van dolomietwaterdraers. Hierdie navorsingsprojek is dus onderneem met die oog om algemene inligting oor die hidrogeologiese eienskappe van karstwaterdraers in te samel en om die invloed van die geotegniese en geohidrologiese eienskappe van sowel die waterdraer as die onversadigde sone in 'n bepaalde dolomietgebied in die Transvaal te ondersoek.

Die gekose studiegebied is geleë suid van Pretoria, tussen Olifantsfontein en Irene waar die Kaalspruit deur oppervlakafloop vanaf 'n informele behuisingsgebied, 'n rioolaanleg, 'n afvalstortingsterrein en landboubedrywighede beïnvloed word. Deklaagmateriale in die

studiegebied bestaan grotendeels uit gruiserige sand met klein hoeveelhede klei en is redelik tot hoogs deurlatend. Die bodemrots self is ondeurlatend, maar vrylike waterbeweging kom langs oop oplossingsholtes voor.

Die algemene kwaliteit van grondwater in die gebied is aanvaarbaar, maar hoogs besoedelde water (bakteriologies, nitraat en TOS) kom aangrensend en tot so ver as 30 meter vanaf die besoedelingsbronne voor.

Daar is bevestiging gevind dat karstwaterdraers uiters sensitief is vir besoedeling. Daar word dus aanbeveel dat streng beheer oor ontwikkeling in dolomietgebiede toegepas sal word, veral ten einde verdere verswakking van die belangrikste waterbron te voorkom.

THE HYDROGEOLOGY OF KARST REGIONS WITH SPECIAL REFERENCE TO GROUND WATER POLLUTION SOUTH OF PRETORIA

by

RONÉL LIGTHELM

Study Leader : Prof A van Schalkwyk
Co-leader : Prof E Braune
Department : Geology
Degree : MSc (Engineering Geology)

ABSTRACT

Karst aquifers frequently consist of large interconnected solution cavities and fracture zones in the bedrock or as highly leached residual materials. The high recharge rate, permeability and storativity of these aquifers permit rapid penetration and spreading of pollutants.

In South-Africa, a large portion of the highly populated Pretoria-Witwatersrand-Vereening area, as well as several other towns are located on these dolomite rocks and increasingly more people are depending on groundwater as the only or supplementary source of water. Recent studies have indicated that serious pollution of these waters has already taken place at various localities.

The effect of overburden materials on the vulnerability of dolomite aquifers has not yet received much attention. This research project has thus been undertaken to accumulate not only general information concerning the hydrogeological properties of the karst aquifers, but also to determine the influence of the geotechnical and geohydrological properties of the aquifer and the unsaturated zone in a specific dolomite area in the Transvaal.

The chosen study areas is located south of Pretoria, between Olifantsfontein and Irene where the Kaalspruit is being influenced and polluted by surface run-off from an informal housing area, a sewerage treatment plant, a refuse dumping site and agricultural holdings. Overburden material in the study area comprises mainly of gravelly sand with small amounts of clay and is moderately to highly permeable. The dolomite itself is impermeable, but water can flow freely through open solution cavities.

The general quality of the groundwater in the area is good, but adjacent to the pollution sources, within a radius of 30 metres, highly polluted water (bacteriological, nitrate, TDS) occur.

It has been proven that karst aquifers are extremely sensitive to pollution. It is thus recommended that development in dolomite areas be strictly managed to ensure that no further deterioration of this important water source, takes place.

DIE HIDROGEOLOGIE VAN KARSTGEBIEDE MET SPESIALE VERWYSING NA GRONDWATERBESOEDELING SUID VAN PRETORIA

INHOUDSOPGAWE

1	INLEIDING	...1
1.1	Doelstellings	...2
1.2	Metodes van navorsing	...2
2	KARST	...4
2.1	Inleiding	...4
2.2	Voorkoms, verspreiding en eienskappe van karst	...7
2.3	Geomorfologiese kenmerke	...11
2.4	Karstifikasie en oplossing van karst	...21
2.5	Permeabiliteit en poreusheid	...34
2.6	Denudasie	...40
2.7	Rol van dolomiet en sedimente in karstterreine	...41
2.8	Opsomming	...42
3	GRONDWATER IN KARST	...44
3.1	Inleiding	...44
3.2	Teorië oor grondwatersirkulasie	...45
3.3	Hidrologiese sones	...52
3.4	Water in karstwaterdraers	...54
3.5	Hidrouliese eienskappe	...61
3.6	Hidologiese verskynsels in karstomgewings	...61
3.7	Gevolgtrekkings	...65
4	KWALITEIT EN BESOEDELING VAN KARSTGRONDWATER	...67
4.1	Inleiding	...67
4.2	Chemie van karstgrondwater	...67
4.3	Kwesbaarheid van grondwaterdraers	...71

4.4	Besoedeling van grondwater	...76
4.5	Grondwatergehaltebestuur	...80
4.6	Drinkwaterspesifikasies	...82
4.7	Kwaliteit en besoedeling van karstgrondwater in Suid-Afrika	...86
4.8	Gevolgtekkings	...88
5	DOLOMIETGEBIEDE IN TRANSVAAL	...90
5.1	Geologie	...90
5.2	Kompartemente	...96
5.3	Waterdraereienskappe	...96
5.4	Beraamde gestoorde dolomietgrondwater	..101
5.5	Toekomstige rol van dolomitiese grondwater	..102
5.6	Gevolgtrekkings	..104
6	STUDIEGEBIED NOORD VAN OLIFANTSFONTEIN	..105
6.1	Keuse van 'n terrein	..105
6.2	Literatuurstudie	..107
6.3	Geologiese en geofisiese ondersoek	..113
6.4	Hidrogeologiese ondersoek	..119
6.5	Laboratoriumtoetse	..122
6.6	Resultate van die ondersoek	..125
6.7	Opsomming en gevolgtrekkings	..156
7	GEVOLGTREKKINGS EN AANBEVELINGS	..160

VERWYSINGS

LYS VAN TABELLE

HOOFSTUK 2 - KARST

TABEL 2.1	Vergelyking tussen kalksteen en dolomiet
TABEL 2.2	Karstifikasie-indeks (ϵ) teenoor diepte
TABEL 2.3	Karstifikasiediepte in verskillende lande
TABEL 2.4	(%) Volume porieë van verskillende gesteentes
TABEL 2.5	Effektiewe poreusheid in verskillende lande
TABEL 2.6	Invloed van reënval en klimaat op denudasie
TABEL 2.7	Invloed van plantegroei op die CaCO_3 in water

HOOFSTUK 4 - KWALITEIT EN BESOEDELING VAN KARSTGRONDWATER

TABEL 4.1	Drinkwaterspesifikasies in Suid-Afrika
TABEL 4.2	Ou en jong dolomitiese-waterontledings
TABEL 4.3	TDS besoedeling in karstgrondwater

HOOFSTUK 5 - DOLOMIETGEBIEDE IN TRANSVAAL

TABEL 5.1	T en S waardes in verskillende dele van die PWV gebied
TABEL 5.2	Lewering van boorgate en fonteine in die Transvaal
TABEL 5.3	Grondwater in Suid-Afrikaanse geologiese formasies

HOOFSTUK 6 - STUDIEGEBIED NOORD VAN OLIFANTSFONTEIN

TABEL 6.1	Besonderhede aangaande boorwerk
TABEL 6.2	Toetse wat in die verskillende boorgate uitgevoer is
TABEL 6.3	Monsters geneem vir toetsing in die laboratorium
TABEL 6.4	Ander gesteentes in die studiegebied
TABEL 6.5	Korrelasie tussen geofisiese sondering en geologie
TABEL 6.6	T, S en k waardes bereken volgens Theis
TABEL 6.7	k waardes bereken volgens Thiem se formule
TABEL 6.8	Vergelyking tussen literatuur en waardes bepaal tydens die studie
TABEL 6.9	k waardes bereken vanaf wegsyferingstoetse
TABEL 6.10	k waardes in die laboratorium gemeet
TABEL 6.11	Kwaliteit van besoedelde grondwatermonsters
TABEL 6.12	Kwaliteit van die rivierwater

LYS VAN FIGURE

HOOFSTUK 2 - KARST

FIGUUR 2.1	Verspreiding van karst in Wes- en Sentraal Europa
FIGUUR 2.2	Verspreiding van karst in die VSA
FIGUUR 2.3	Samestelling van karbonaat gesteentes
FIGUUR 2.4	Karrens
FIGUUR 2.5	Meganisme van sinkgatvorming
FIGUUR 2.6	Meganisme van dolinevorming
FIGUUR 2.7	Tipiese polje
FIGUUR 2.8	Polje met 'n 'hum'
FIGUUR 2.9	Kontakvlakke waar oplossing plaasvind
FIGUUR 2.10	Volledige oplossingsproses
FIGUUR 2.11	Oorsprong van water in endokarst
FIGUUR 2.12	Gemengde korrosie
FIGUUR 2.13	Naatsisteme wat die karstproses beïnvloed
FIGUUR 2.14	Die oplosbaarheid (R) van dolomiet en kalksteen onder invloed van verskillende faktore
FIGUUR 2.15	Permeabiliteitstoetse
FIGUUR 2.16	Poreusheid en permeabiliteit (m/d) as funksie van die poriegrootte
FIGUUR 2.17	Ontwikkeling van effektiewe poreusheid

HOOFSTUK 3 - GRONDWATER IN KARST

FIGUUR 3.1	Sirkulasie in 'n karst polje-gebied
FIGUUR 3.2	Vloeiagram om die vloei deur 'n waterdraer aan te toon
FIGUUR 3.3	Karst hidrologiese sones
FIGUUR 3.4	Wisseling in watervlakke binne-in 'n karstwaterdraer
FIGUUR 3.5	Wisseling in watervlak
FIGUUR 3.6	Vloeiempo deur verskillende gesteentes en sedimente
FIGUUR 3.7	Die verspreiding van die grondwatervloei in die Dinariese karst
FIGUUR 3.8	Verhouding tussen oppervlak- en grondwatersirkulasie
FIGUUR 3.9	Die werking van estevelles

HOOFSTUK 5 - DOLOMIETGEBIEDE IN TRANSVAAL

FIGUUR 5.1	Ligging van karstgesteentes in Transvaal
FIGUUR 5.2	Litostratigrafiese indeling
FIGUUR 5.3	Indeling van karst in die Transvaal
FIGUUR 5.4	Verre Wes-Rand dolomitiese gebied met Bank en Venterspos kompartemente wat ontwater word
FIGUUR 5.5	Grondwatersnit langs die Wonderfonteinspruit, Verre Wes-Rand
FIGUUR 5.6	Fluktuasie van watervlak

HOOFSTUK 6 - STUDIEGEBIED NOORD VAN OLIFANTSFONEIN

FIGUUR 6.1	Liggingsplan van studiegebied en ondersoekterreine
FIGUUR 6.2	Algemene geologiese kaart
FIGUUR 6.3	Die posisies van die terreine ten opsigte van grondwaterkompartemente
FIGUUR 6.4	Geologiese Formasies teenwoordig in die studiegebied
FIGUUR 6.5	Posisies van boorgate op terrein B (Basson, Bikiplaas)
FIGUUR 6.6	Posisies van boorgate op terrein C (Cullinan, Avenue Farm)
FIGUUR 6.7	Posisies van boorgate op terrein A (Olifantsfontein Rioolwerke)
FIGUUR 6.8	Posisie van geofisiese traverse op terrein B
FIGUUR 6.9	Posisie van geofisiese traverse op terrein C
FIGUUR 6.10	Posisie van geofisiese traverse op terrein A
FIGUUR 6.11	Posisies en nommers van monsterpunte
FIGUUR 6.12	Profiel deur die Weste van Terrein A
FIGUUR 6.13	Profiel deur die Ooste van Terrein A
FIGUUR 6.14	Profiel deur terrein B
FIGUUR 6.15	Profiel deur terrein C
FIGUUR 6.16	Profiel deur terrein D: Samancor: ou afvalterrein
FIGUUR 6.17	Terrein A, (%) Materiale teenwoordig
FIGUUR 6.18	Terrein B, (%) Materiale teenwoordig
FIGUUR 6.19	Terrein C, (%) Materiale teenwoordig
FIGUUR 6.20	Terrein D, (%) Materiale teenwoordig
FIGUUR 6.21	Geofisiese boorgat resultate : B1
FIGUUR 6.22	Geofisiese boorgat resultate : B2
FIGUUR 6.23	Geofisiese boorgat resultate : C2
FIGUUR 6.24	Besoedelingsbronne en invloed daarvan op die grondwater

FOTO'S

FOTO 6.1	Permeameter sonder druklug
FOTO 6.2	Permeameter met kompressor
FOTO 6.3	B2(1,55m)
FOTO 6.4	B2(7.7m)
FOTO 6.5	B2(8.52m)
FOTO 6.6	B3(3,53m)
FOTO 6.7	B3(4,36m)
FOTO 6.8	B3(5,19m)

BYLAE

BYLAE A	Boorgatstate
BYLAE B	Boorgatfoto's
BYLAE C	Grafieke van die Elektro-Magnetiese resultate
BYLAE D	Resultate van die grondwaterontledings

DIE HIDROGEOLOGIE VAN KARSTGEBIEDE MET SPESIALE VERWYSING

NA GRONDWATERBESOEDELING SUID VAN PRETORIA

1 INLEIDING

Karstwaterdraers is belangrike bronne van water vir huishoudelike, landbou- en nywerheidsgebruik in verskeie wêrelddele. In Suid-Afrika is dit die geval in stedelike gebiede soos Pretoria en Verwoerdburg (30 persent van totaal) en Potgietersrus terwyl talle plattelandse dorpe, gemeenskappe en plase soos Sabie, Delmas, Lichtenburg, Mafikeng, Zeerust, Kuruman, Magaliesburg (Kok, 1991) geheel en al van grondwater uit dolomietwaterdraers afhanklik is.

Karstwaterdraers bestaan uit groot aaneengeskakelde oplossingsholtes en genate sones in die bodemrots of uit hoogs deurlatende geloogde residuele materiale. Vinnige grondwaterbeweging en lae filtrasie- of absorpsievermoë maak hierdie soort waterdraers besonder kwesbaar vir besoedeling.

Op grond van 'n omvattende statistiese studie van grondwaterkwaliteit in die dolomietwaterdraer in sentraal Transvaal, het die Atoomenergiekorporasie (Levin, van der Merwe en Walton, 1991) gevind dat ernstige grondwaterbesoedeling op bepaalde plekke in die Pretoria-Witwatersrand-Vereeniginggebied voorkom. Soortgelyke bewerings is deur Geldenhuis en Howard (1988) gemaak, terwyl Kok (1991) dit ook beklemtoon dat die oplossingsholtes wat in dolomiet voorkom, uiters goeie toegang aan besoedelstowwe verleen.

As gevolg van die lae digtheid en die teenwoordigheid van chertbrokstukke en versakkingstrukture in die verweringsprodukte van dolomitiese gesteentes, is die onversadigde sone in dolomietgebiede dikwels hoogs deurlatend en bied min beskerming teen besoedeling van die waterdraer. In ander gevalle bestaan daar 'n plaat van intrusiewe diabaas of siënië, 'n laag van Karoo skalie of ferrikreet wat die onversadigde sone relatief ondeurlatend maak.

In Suid-Afrika is nog betreklik min aandag geskenk aan die invloed wat die materiaaleienskappe op die kwesbaarheid en aanvulling van waterdraers het. Die rede hiervoor is waarskynlik dat die normale metodes vir die ondersoek en ontwikkeling van grondwaterbronne min betroubare inligting omtrent die eienskappe van die deklaagmateriale oplewer.

1.1 Doelstellings

Met die projek word beoog om die volgende doelstellings te bereik:

- a) Omvattende literatuurstudie oor die ontwikkeling van karst, grondwaterbeweging en besoedeling in karstwaterdraers en die geohidrologie van die dolomietgebiede in die Transvaal.
- b) Identifisering van 'n studiegebied waar die invloed van besoedelde oppervlakwater op die grondwaterkwaliteit bestudeer kan word.
- c) Bepaling van die geotegniese en geohidrologiese eienskappe van sowel die waterdraer as die onversadigde sone binne die studiegebied.

Daar sal gepoog word om aan te dui dat dolomietgebiede sensitief is vir besoedeling en dat meer aandag aan die probleem geskenk moet word.

1.2 Metodes van navorsing

Daar is met 'n intensiewe **literatuurstudie** begin waartydens alle moontlike inligting ingesamel is wat betrekking het op karsthidrologie, besoedeling van karstwaterdraers, eienskappe van karstgesteentes, asook die probleme wat algemeen in karstareas ondervind word. Uit die eerste stap van die ondersoek het dit reeds duidelik geword dat redelik baie aandag geskenk word aan die fondamentprobleme asook die vorming van versakkingstrukture in dolomietgebiede, maar dat min werk nog gedoen is om die kwesbaarheid van dolomietwaterdraers teen besoedeling te ondersoek.

Topokadastrale kaarte is ondersoek, sowel as 'n kaart wat deur Hobbs (1988) opgestel is waarop waterkwaliteit in boorgate aangetoon word. Die boorgate is ondersoek en daar is besluit op die beste areas om die ondersoek in te konsentreer. Lugfoto's van die omliggende gebiede is bestudeer, sowel as 'n vergroting van die area waarop latere boorwerk beplan is. Daar is gehoop dat die lugfoto's 'n beter idee sou gee van die geologiese strukture wat in die area voorkom.

Detail **geologiese kartering** moes in die area uitgevoer word, aangesien bestaande geologiese kaarte nie akkurate inligting bevat nie. Die kaarte is

onder andere gebruik om die moontlike rigting van ondergrondse watervloei vas te stel.

Geofisiese elektro-magnetiese ondersoek is gedoen om 'n idee te kry van die tipe en dikte van deklaagmateriale bo die watervlak, asook die diepte waar soliede dolomiet aangetref word. Die metode is verder aangewend om die teenwoordigheid van siënetgange en -plate aan te toon en moontlike verweerde sones te identifiseer.

'n Aantal diamantboorgate is in geselekteerde gebiede **geboor**. Die boorwerk en beskrywing van die kern het 'n aanduiding gegee van die tipe materiaal wat in die area voorkom. Die wegsyfering van boorwater, asook die waterdruktoetse wat deur die boorman uitgevoer is, het 'n eerste aanduiding gegee van die deurlatendheid van die materiaal.

Wegsyferings- en pomptoetse is uitgevoer in die voltooide boorgate om vas te stel hoe hoog die deurlatendheid van die dolomitiese gesteentes is. Deur die toetse kan ook gesien word of 'n gedeelte van die waterdraer kwesbaar is vir besoedeling, al dan nie. Gereelde watervlakmetings wat dié toetse voorafgegaan het, het 'n idee gegee van moontlike verbindings wat kan bestaan tussen die rivier en boorgate in die omgewing.

Geofisiese boorgatsondering is in die boorgate gedoen om die teenwoordigheid van swak sones te identifiseer. Die sondering moes ook dien om sekere eienskappe van die materiale te bepaal.

Watermonsters vanuit die rivier, sowel as uit produksieboorgate is gereeld **ontleed** om sodoende 'n databasis van waterkwaliteit op te bou. Later is monsters vanaf boorgate wat self geboor is, ontleed om te bepaal of enige besoedeling vanaf besoedelingsbronne voorkom.

Laastens is **laboratorium deurlatendheidstoetse** uitgevoer op die boonste deklaagmateriale, sowel as op verweerde materiale in die area. Die toetse is gedoen om die deurlatendheid van spesifieke materiaaltipes te bepaal.

2 KARST

2.1 Inleiding

Die term karst verteenwoordig 'n baie komplekse geologiese verskynsel en het betrekking op terreine met baie spesifieke hidrologiese kenmerke. Dit sluit 'n groot verskeidenheid begrippe in wat almal verband hou met oplosbare gesteentes, die verwydering van oppervlakstrome en die gepaardgaande oppervlakversakkings, of vorming van sinkgate as gevolg van die teenwoordigheid van ondergrondse openinge.

Die volgende begrippe het hul ontstaan te danke aan oplosbare gesteentes: versakkings (dolines), sinkgate, uvalas, poljes, lapies (karrens), droë valleie, jamas en grotte. Van die begrippe sal volledig in hoofstuk 2.3 bespreek word.

Dit is moeilik om 'n spesifieke definisie aan die woord karst te koppel as gevolg van die verskillende prosesse wat betrokke is by die ontstaan daarvan. Verskillende prosesse kom voor in verskillende oplosbare gesteentes en onder baie uiteenlopende geologiese en klimatologiese toestande. Volgens Popov (1959) hou die term karst verband met 'n verskeidenheid van geologiese prosesse en verskynsels op of onder die aarde se oppervlak. Die verskynsels word veroorsaak deur die afbreek en verandering van strukture, die vorming van sekere grondwatertoestande en kenmerkende topografiese landskappe en dreineringsnetwerke.

Die woord karst het sy ontstaan te danke aan die geografiese naam van die noord-westelike streek van die ou Joego-Slawië naby die Italiaanse grens. Die gebied strek vanaf Istria tot Ljubljana. Die slawiese woord 'karst' en Italiaanse woord 'carso' is meer as 700 jaar gelede deur mense in die streek gebruik. Albei die uitdrukkings is van Indo-Europese oorsprong en van die woord 'kar' - wat gesteente beteken - afgelei.

Die eerste geskrewe nota waar die woord karso verskyn, dateer terug na 1292, terwyl die woord karst, die eerste keer in 1423 in Oostenrykse dokumente opgemerk is. Na vele veranderings in skryfwyse en uitspraak is karst as internasionale term aanvaar (Milanović 1981).

Daar moet egter gelet word op die verkeerdlike gebruik van die term karst om die ontwikkeling van openinge in loess, klei en soortgelyke afsettings te beskryf. Die gebruik is onaanvaarbaar aangesien die vorming van daardie verskynsels glad nie met karstvorming verband hou nie. Dit word gevorm deur meganiese erosie en nie deur oplossing nie. Jennings (1987) stel voor dat daardie verskynsel as pseudo-karst bekend moet staan.

2.1.1

Vereistes vir karstvorming

Volgens Milanović (1981) moet daar aan die volgende vereistes voldoen word voordat karst gevorm kan word:

- Bestaan van 'n geskikte omgewing vir die ontwikkeling van karstprosesse en die vorming van karstverskynsels.
- Tektoniese beweging, gesteente-afbreking en verwerking van die grondoppervlak.
- Die teenwoordigheid van die oplossingsagent, nl water.

Dit beteken dat karst gevorm word in 'n geologiese omgewing van oplosbare gesteentes, wat kalksteen, dolomiet, gips of haliet kan insluit; hulle word vooraf blootgestel aan geologiese prosesse van tektoniek en intrusies en word gevorm deur geologiese prosesse van oplossing en erosie. Karst is die produk van geologiese prosesse en is daarom 'n geologiese verskynsel.

Cooks (1966) stel egter ander vereistes vir tipiese karstvorming voor:

- 'n Oplosbare kalksteenformasie moet op of naby die grondoppervlak voorkom. Dolomiet is egter ook geskik, maar die vorming sal baie stadiger plaasvind.
- Dié oplosbare gesteentes moet dig, maar dun gelaagd wees en baie nate en krake bevat. Volgens Cooks is dit een van die belangrikste vereistes aangesien water tot die gesteente toegang moet hê.
- Groot ingesnyde valleie onderkant hooglande wat in kalksteengebiede voorkom, bevorder die ontwikkeling van karst.
- 'n Matige reënval. In die algemeen toon ariede en semi-ariëde gebiede nie tipiese karstkenmerke nie.

Die vereistes deur Cooks gestel is na aanleiding van Suid-Afrikaanse toestande, terwyl Milanović eerder na algemene vereistes regoor die wêreld verwys.

Daar is al deur verskeie outeurs gepoog om karst te klassifiseer. Die probleem is egter dat verskillende parameters gebruik kan word om die indelings mee te doen. Verskeie outeurs het karst ingedeel na aanleiding van morfologiese kenmerke, strukturele of tektoniese faktore, geografiese posisies asook na aanleiding van afsettingsomgewing van die karbonaatgesteente, gevolg deur 'n verskeidenheid ander faktore.

Aangesien geen van die klassifikasies op numeriese waardes of op parameters gebaseer is nie, is enige van die indelings aanvaarbaar. Afhangend van die individu se voorkeure, of die uitstaande kenmerke van die karst in 'n spesifieke geografiese omgewing, kan die toepaslike indeling dus gebruik word.

Cvijić (1924 - 1926) het een van die eerste indelings na aanleiding van die uitstaande morfologiese kenmerke van karst voorgestel:

- (i) **Holokarst** (Volledige karst): Is ontwikkel in gebiede wat slegs uit oplosbare karbonaatgesteentes bestaan. Die gebied word gekenmerk deur die voorkoms van oppervlak- en ondergrondse karstverskynsels. Die gebied is bar en rotsagtig, sonder enige plantegroei byvoorbeeld Dinariese karst in Joego-Slawië.
- (ii) **Merokarst** (Onvolledige karst): Karbonaatgesteentes ondergaan baie minder karstifikasie in hierdie gebiede. Om hierdie rede is die voorkoms van sekere karstverskynsels ongereeld en die diepte van karstifikasie is beperk. Grond en plantegroei bedek die karbonaatsedimente byvoorbeeld Noord Frankryk, België en Noorweë.
- (iii) **Oorgangstipe** karst: Besit die eienskappe wat dit tussen die twee bogenoemde tipes laat sorteer. Dit word hoofsaaklik gevind waar kalksteen deur ondeurlatende, minder oplosbare sedimente omring word, byvoorbeeld VSA, Oostenryk en Suid-China.

Vanuit 'n hidrogeologiese oogpunt is die klassifikasie van karst baie belangrik. Dit is gebaseer op verskillende geologiese, litologiese en strukturele kenmerke. Twee verskillende tipes karst, op grond van hidrogeologiese eienskappe, is deur Milanović (1981) onderskei: Platvorm- en geosinklinale karst:

- (i) **Platvorm karst** besit die volgende eienskappe:
- Horisontale of effens hellende strata en platvorm reliëf.
 - Karbonaatgesteentes besit 'n hoër merrel inhoud; karstifikasie is dus beperk.
 - Sediment kom tussen ondeurlatende gesteentes voor.
 - Afwesigheid van tektoniese beweging.
 - Voorbeelde: Missourië en voormalige USSR.
- (ii) **Geosinklinale karst** besit die volgende eienskappe:
- Word gevorm in geplooid of verskuifde karbonaatgesteentes.
 - Volledige ontwikkeling van karst kan voorkom, mits die klimaatstoestand gunstig is.
 - Voorbeeld: Dinariese karst in Joego-Slawië.

Die verskil tussen die twee karst tipes lê daarin dat die hidrogeologiese verhouding baie meer ingewikkeld en kompleks is en dat karstprosesse baie meer definitief in laasgenoemde tipe is.

Verskeie ander indelings is deur ander outeurs voorgestel met die periode van vorming as basis (Milanović 1964 - 1965), tektoniese verskynsels (Herak 1977), litorale en kontinentale posisie, posisie van karst ten opsigte van basisvlak (Katzner 1909), posisie van ondeurlatende sones, tipe erosie (Folk 1971), struktuurelemente (Komatina 1973), morfologiese vorm (Šilar 1965), klimaat (Sawicki 1909) en korrosie tipe.

Die indeling van karst in Suid-Afrika word volledig in hoofstuk 5 bespreek.

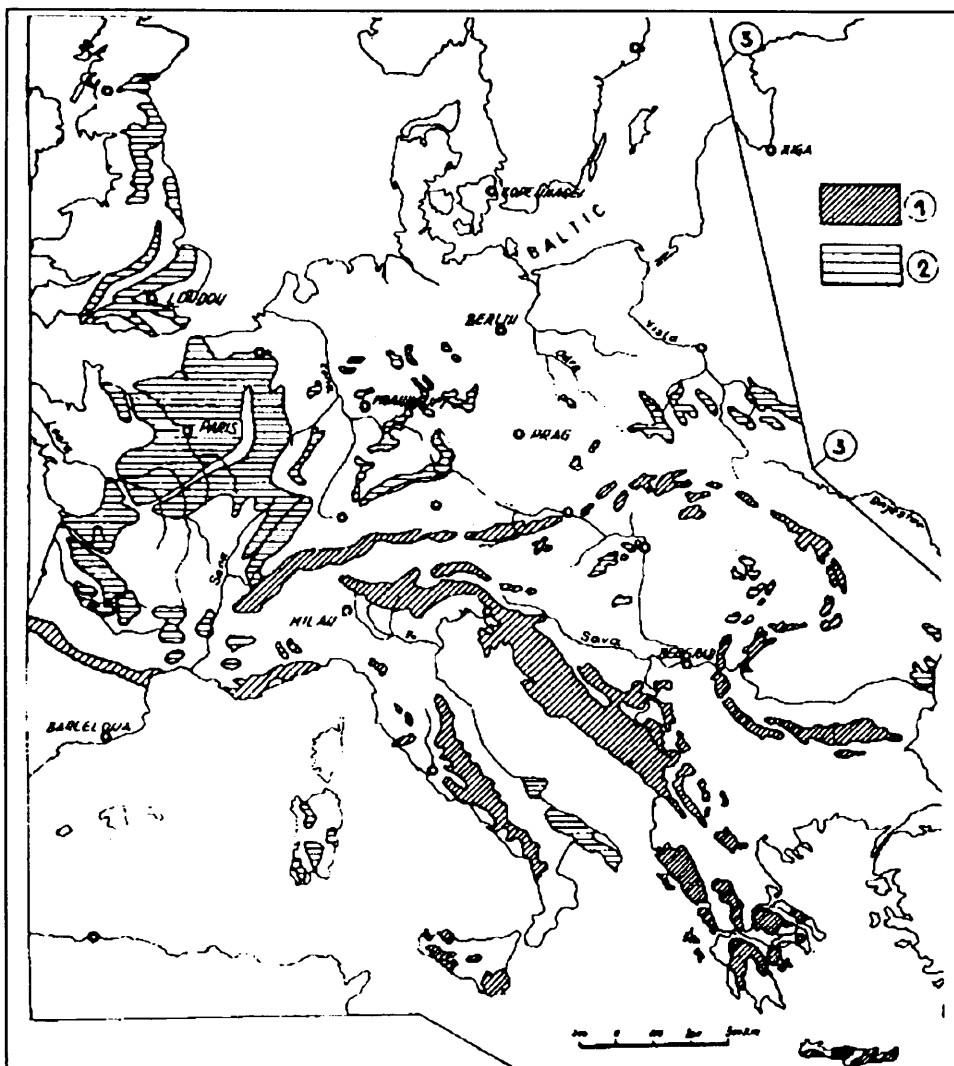
2.2 Voorkoms, verspreiding en eienskappe van karst

2.2.1 Verspreiding

Gesteentes wat vatbaar is vir karstifikasie is regoor die wêreld versprei. Dit is dus 'n bewys dat karst nie tot een spesifieke geografiese streek beperk is nie. Die nie-uniforme verspreiding van karst is egter ook bekend.

In Suid-Amerika en Skandinawië is karst baie lokaal versprei en in ander gebiede, heeltemal afwesig. Volgens Maksimovich (1969) word 'n kwart van die totale landmassa van die wêreld deur oplosbare en karbonaatgesteentes beslaan. Die karbonaatgesteentes se bydrae is 40 miljoen km², gips en anhidriet 7 miljoen km² en haliet 4 miljoen km² van die totale landmassa.

Figuur 2.1 dui die verspreiding van karstgebiede in Wes- en Sentraal Europa aan. Die grootste en belangrikste karstgebied in Joego-Slawië is die Dinariese karststreek. Die gebied beslaan 'n oppervlakte van 57 000 km². In Griekeland (30%), Italië, Spanje (20 - 25%), Frankryk, Oostenryk (17%), Duitsland, Chegoslovakye, Hongarye, sowel as in Brittanje is daar aansienlike persentasies van die grondoppervlakte wat deur karstgesteentes beslaan word.



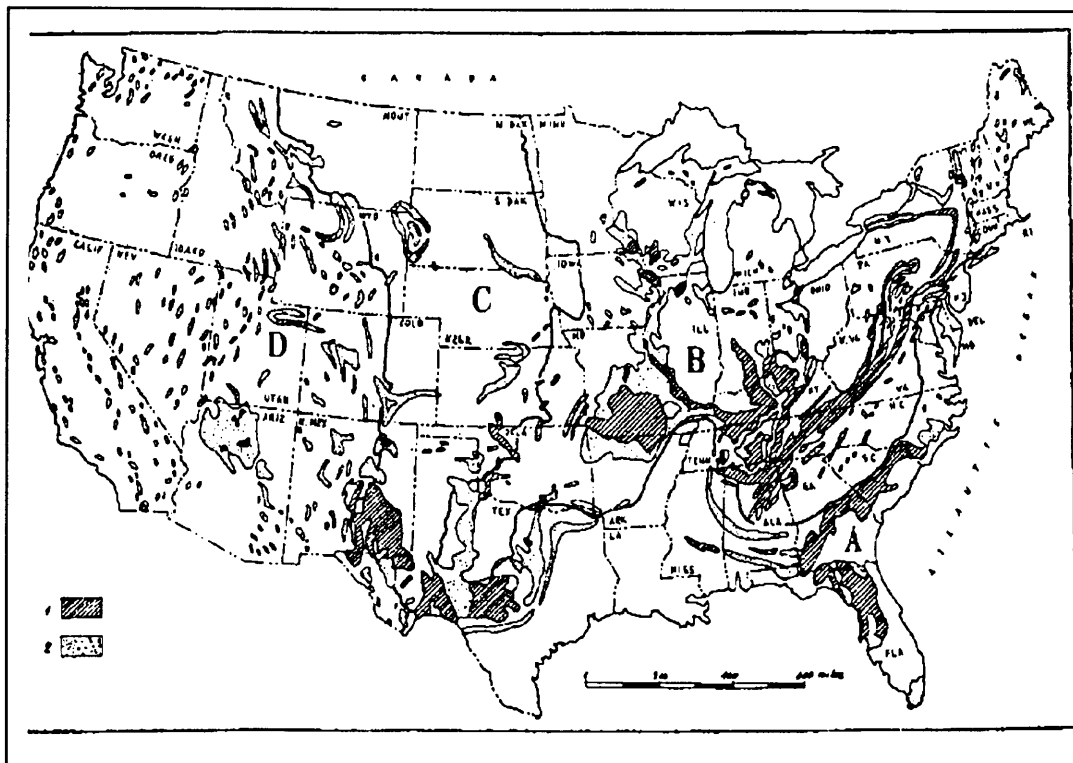
Figuur 2.1
Verspreiding van karst in Wes- en Sentraal Europa
 (Volgens: Milanović, 1981)
 Sien legende op bladsy 9

LEGENDE

- (1) Karst in geosinklinale areas
- (2) Karst van platvorm en jong tektoniese depressies
- (3) Grense van karstgebiede

In Mediterreense lande soos Turkye (20%), Israel, Tunesië, Libië en Saudi-Arabië kom daar ook karstgesteentes voor. 'n Groot gedeelte van die USSR se grondgebied word gekenmerk deur sedimentêre gesteentes wat vatbaar is vir karstifikasie. Kalksteen, gips en soutafsettings is dominant.

Daar word beweer dat 15 persent van die VSA deur karstgesteentes beslaan word (Milanović, 1981). Dit bestaan uit kalksteen, gips en ander oplosbare gesteentes naby die oppervlak (Figuur 2.2). In die Golf van Meksiko kom 'n gordel van 500 000 km² karstgesteentes voor. Die gordel sluit Jamaika, Kuba, Puerto Rico, Bahamas eilande, Florida, Texas en dele van Meksiko in.



Figuur 2.2
Verspreiding van karst in die VSA
(Volgens: Davies en LeGrand, 1972)

LEGENDE

- (1) Karstareas
- (2) Karbonaat- en sulfaatgesteentes op of naby aan die oppervlak

In Asië kom die belangrikste karstgebiede in Siberië, Suid-China, (30 persent of 1,200 000 km²), Viëtnam, Kambodia, Thailand, Laos, Burma, Wes-Indië, Java, Iran en Irak voor. Die mediterreense kus in die noorde en Transvaal gesteentes in Suid-Afrika is die belangrikste voorkomste van karst in Afrika. Australië se suidkus is een van die grootste karstgebiede in die wêreld.

Uit die inligting is dit duidelik dat karstgesteentes nie beperk is tot 'n spesifieke lengte- of breedtegraad nie. Dit is verder ook nie beperk tot gesteenteformasies van 'n spesifieke ouderdom nie. Karstverskynsels kan in die oudste Kambriese sedimente (Noord-Amerika) tot in die jong karbonaatgesteentes (Italië), sowel as in die mees onlangse koraalkalkstene gevind word.

2.2.2 Samestelling en afsetting

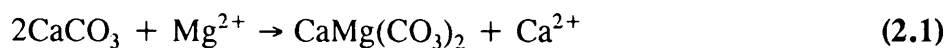
Beide dolomiet en kalksteen bestaan uit karbonate van kalsiet en magnesium, met bykomende hoeveelhede Mangaan en Yster wat as oksiede voorkom, terwyl Silika ook in baie klein hoeveelhede voorkom.

Kalksteen en dolomiet is karbonaatgesteentes met soortgelyke morfologiese eienskappe. Die verskil tussen die twee se chemiese samestellings kan in Tabel 2.1 gesien word.

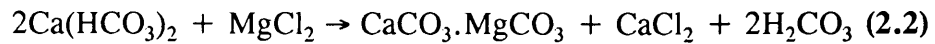
TABEL 2.1
VERGELYKING TUSSEN KALKSTEEN EN DOLOMIET

Gesteente	Mineraal	Chemiese formule
Kalksteen	Kalsiet	CaCO ₃
Dolomiet	Dolomiet	CaMg(CO ₃) ₂

Die ooreenkomste en verskille in vorming van kalksteen en dolomiet hang ten nouste saam met klimaatstoestand en soutgehalte van die water. Wanneer soutwater tot warm droë klimaatstreke beperk is, word kalksteen eerste gevorm, alhoewel daar driemaal meer Mg²⁺ as Ca²⁺ in seewater teenwoordig is. Dolomiet word agterna gevorm wanneer die Mg²⁺ ione die Ca²⁺ in die kalsietkristal vervang, todat 'n ioonverhouding van 1:1 verkry is (Bögli, 1980). Die proses word deur die volgende vergelyking voorgestel.



In gebiede waar die soutgehalte van water hoër is, byvoorbeeld in strandmere, kan spontane afsetting van dolomiet plaasvind en staan dan as evaporiete bekend. In die Kaspiese see is gevind dat slegs kalksteen neerslaan as die soutkonsentrasie kleiner as 7 persent is. By konsentrasies wat wissel van 7 - 8 persent het dolomiet gevorm, terwyl Magnesiet gevorm het by konsentrasies groter as 8 persent. Seidel (1958) stel voor dat die volgende reaksie plaasvind:



Figuur 2.3 dui die verskillende samestellings van kalksteen en dolomiet aan. Die samestelling hang van die hoeveelheid onsuiverhede, sowel as van die teenwoordigheid van kalsiet- of dolomietminerale af. In dolomiet wissel die verhouding van die twee hoofgroepe karbonate baie. Volgens Milanović (1980) is die chemiese samestelling van suiwer dolomiet die volgende:

CaCO ₃ :	54,35%
MgCO ₃ :	45,65%

Daar moet egter onthou word dat daar 'n groot verskil bestaan tussen die dolomiet en kalksteen in Joego-Slawië en dié in Amerika, of in enige ander wêrelddeel. Daar moet dus baie seker gemaak word watter gebiede onder bespreking is, voor enige finale afleidings gemaak word.

2.3 Geomorfologiese kenmerke

Eerstens moet daarop gelet word dat daar geomorfologiese sowel as hidrogeologiese kenmerke is wat met 'n karstterrein verband hou. Daar sal nou slegs aandag gegee word aan die geomorfologiese eienskappe, terwyl die hidrogeologiese kenmerke in hoofstuk 3 bespreek word.

Terreine wat hoofsaaklik uit kalksteen bestaan, besit verskillende morfologiese vorms as dit vergelyk word met terreine wat uit groot dolomietmassas opgebou is.

- Kalksteen:
- Gesteentelae is duidelik en sigbaar
 - Reliëf is op mikro- en makroskaal duidelik afgebaken
 - Steil hellings is kaal en slegs talusmateriaal kom voor
 - Sand kom baie min voor

2.3.1 Karren

Die oorspronklike duitse woord, char = kar, waarvan karren afgelei is, beteken komvormig. Bögli (1980) definieër 'n karren as 'n klein oplossingsverskynsel wat wissel van 'n paar millimeter tot so groot as 'n paar meter.

Karrens kom hoofsaaklik in kalksteen voor as gevolg van die chemiese aksie van water. As dit in dolomiet voorkom is dit baie klein. Figuur 2.4 dui dat karrens rond of hoekig kan wees. Karrens kan onderverdeel word na aanleiding van die vorm, byvoorbeeld gekraak of net-tipe karrens.



Figuur 2.4
Karrens
(Volgens: Milanović, 1981)

Karrens is karstverskynsels wat die proses van karstifikasie, of die oplossing van die oppervlak gesteentes die beste illustreer. Die belangrikheid van karrens, lê in die vorming van 'n oppervlak dreineringspatroon met uiterste kort takke en dig gespasiëerde absorpsie punte.

2.3.2 Sinkgate en dolines

(i) Sinkgate

Verskeie outeurs beskryf sinkgate as sinoniem aan dolines, met die enigste verskil, die skaal. Daar moet egter opgelet word

dat sinkgate se vormingsmeganisme drasties verskil van dié van dolines.

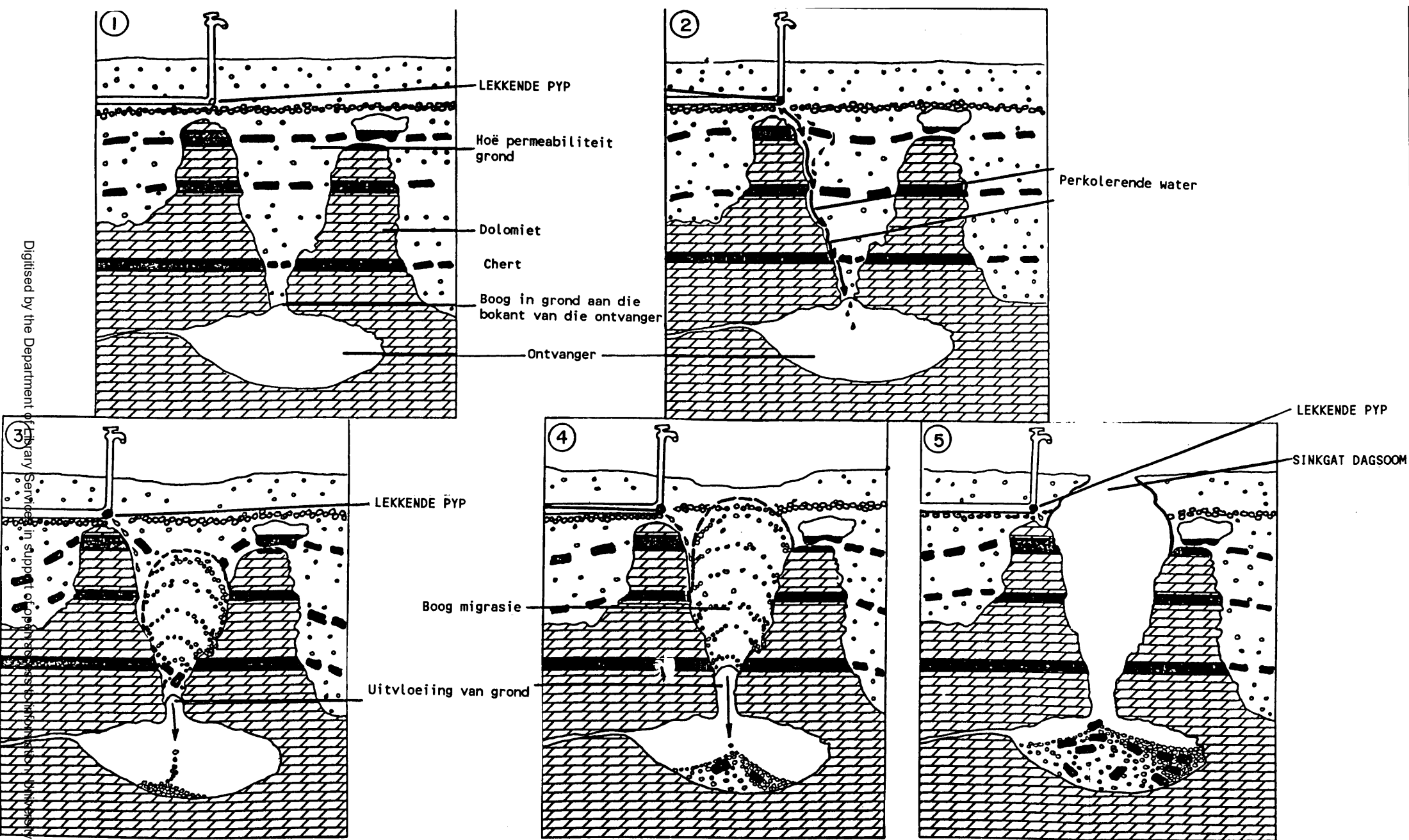
Volgens Bögli (1980), word 'n sinkgat of ineenstortingsdoline gevorm deur 'n vinnige, enkele voorkoms van ineenstorting wat veroorsaak word deur 'n opening naby aan die oppervlak. In Joego-Slawië word sinkgate hoofsaaklik gevorm deurdat 'n dak van 'n grot ineenstort. Dié verskynsel is egter skaars in Suid-Afrika. Milanović (1981) beweer dat groter hoeveelheid sinkgate voorkom in gebiede waar die terrein eenvormig en gelyk is, terwyl minder, maar groter sinkgate in heuwelagtige gebiede voorkom.

In Suid-Afrika hou die vorming van sinkgate verband met die aftrekking van die watervlak as gevolg van mynbou-aktiwiteite, sowel as met die teenwoordigheid van lekkende ondergrondse pype of infiltrasie van water vanaf die oppervlak. Figuur 2.5 dui die meganisme van sinkgatvorming volgens Buttrick (1992) aan:

- 1: Ekwilibrium stadium voor die lekkende pyp 'n invloed het.
- 2: Perkolerende water vloei vanaf die pyp langs die dolomietpilaar af.
- 3: Opwaartse erosie vind plaas en grond begin in die ontvangskamer invloei.
- 4: Progressiewe, opwaartse, boogvormige, ineenstorting van die dak van die opening.
- 5: Die ineenstorting van die laaste boog vind plaas en veroorsaak sodoende 'n sinkgat.

Jennings, Brink, Louw en Gowan het in 1965 die volgende vereistes vir sinkgatvorming daargestel:

- Daar moet aangrensende, sterk materiaal bestaan wat ondersteuning aan die dak van die opening bied. Byvoorbeeld pilare van onverweerde dolomiet.
- Boogvorming moet in die residuele materiaal ontwikkel.
- 'n Opening moet onder die boë bestaan.
- Daar moet 'n oplossingsholte of reservoir onder die boë bestaan wat die materiaal wat verwyder word, ontvang.



Figuur 2.5
Meganisme van sinkgatvorming
 (Volgens: Buttrick, 1992)

- 'n Vervoeragent is noodsaaklik om die materiaal afwaarts te voer.
- Nadat 'n opening in die residuele materiaal gevorm is, word 'n laaste versteuringsagent benodig om die finale ineenstorting van die dak te veroorsaak.

Daling van die grondwatervlak as gevolg van mynbou-aktiwiteite in die omgewing kan aanvanklike migrasie van die residuele materiaal na die reservoir veroorsaak. Volgehoute afwaartse beweging van die grond, soortgelyk aan die meganisme onder punt 3 beskryf, veroorsaak in die langeduur die ineenstorting van die boog en 'n sinkgat vorm.

Volgens Buttrick (1992) kan 'n sinkgat ook ontstaan sonder dat daar eers 'n holte in die deklaag ontwikkel het. Dit gebeur wanneer lae-digtheid deklaagmateriaal skielik oorversadig raak, deur byvoorbeeld 'n stormwaterpyp wat breek, en dan deur openinge in die bodemrots na dieperliggende holtes vloei.

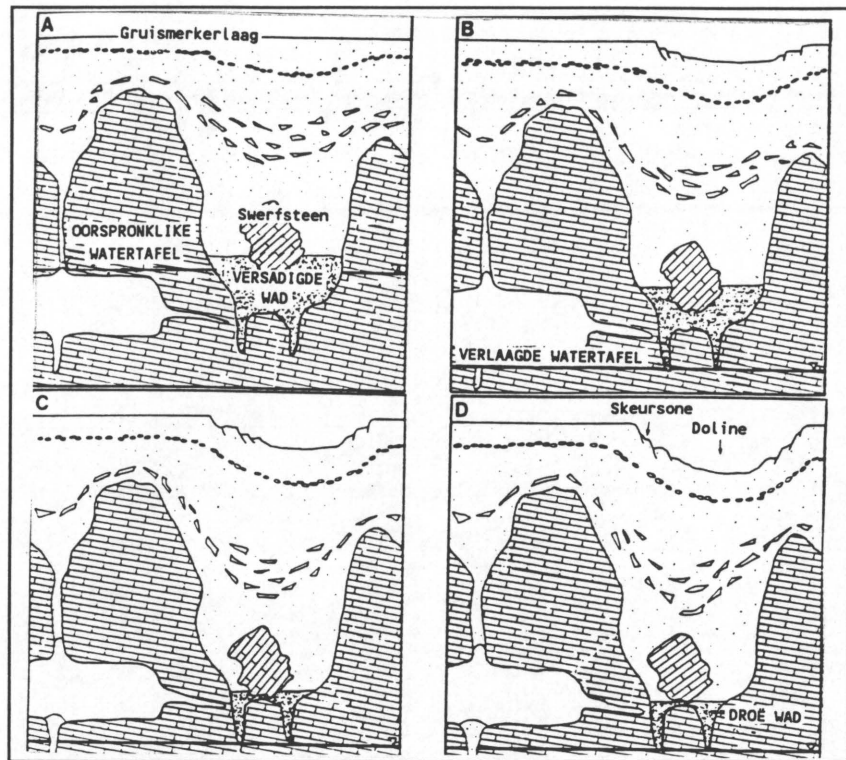
(ii) Dolines

Dolines is volgens verskeie outeurs die mees wydverspreide karstverskynsel. Dit kom in elke karstlandskap voor, alhoewel dit wissel in vorm, sowel as in vormingswyse. Die term is deur 'n Oostenrykse geoloog voorgestel en hy het die volgende definisie daaraan gekoppel: Dolines word gedefinieer as 'n eenvoudige, trechter-, kom-, ketel- of trogvormige, geslote karstversakking, met ondergrondse dreinerings en 'n diameter wat groter is as die diepte (Fink 1973).

Dolines word op verskillende maniere gevorm deur die oplossing van die dolomiet of kalksteen by veral posisies waar twee of meer verskuiwings kruis. Die materiaal bo die oplossingsholte wat vorm, raak te swaar en versak. Die verskynsel staan bekend as oplossingsdolines.

In Suid-Afrika vorm meeste dolines as gevolg van versakking van ongekonsolideerde materiaal nadat die watervlak verlaag is as gevolg van mynbou-aktiwiteite. Figuur 2.6 dui die meganisme van dolinevorming volgens Brink (1979) aan:

- A:** Ekwilibrium-stadium voor daling van die watervlak. Alhoewel die paleo-doline nog nie op die oppervlak sigbaar is nie, dui die gruismerkerlaag en chertbrokstukke op versakking.



Figuur 2.6
Meganisme van dolinevorming
 (Volgens: Brink, 1979)

- B:** Verlaagde watervlak. Die doline ontstaan op die oppervlak as gevolg van die konsolidasie van wad (mangaanaarde).
- C:** Toenemende versakking van die ongekonsolideerde materiaal.
- D:** Die finale stadium, waar die wad totaal vasgesak het en die doline tot op maksimum ontwikkel is.

Volgens Foose (1967) kan maksimum versakking verwag word waar 'n maksimum dikte van ongekonsolideerde brokstukke en 'n maksimum verlaging van die watervlak voorkom.

Dolines kan egter ook vorm as vroeë stadium van 'n sinkgat. 'n Oplossingsholte bestaan redelik diep onder die oppervlak, een of ander vervoeragent veroorsaak dat ongekonsolideerde materiaal deur die tregtervormige opening tot in die holte beweeg. Geleidelike versakking vind op die oppervlak plaas. Die oplossingsholte is egter nie groot genoeg om die fyner materiaal te akkomodeer nie; sodoende kan brugvorming nie tot die oppervlak deurbreek nie en slegs versakking vind plaas.

'n Ander verskynsel wat algemeen in Suid-Afrikaanse dolomiet voorkom, is paleo-strukture. Die voorkoms hiervan kom meer algemeen by sinkgate voor, maar oer-dolines is ook al

waargeneem. 'n Oer-sinkgat word deur sedimentêre materiaal gevul. Dié materiaal, veral waaisand, se digtheid is baie laag en die opvulling van die sinkgat is dus nie volledig nie, as gevolg van baie openinge wat voorkom. Die jongste deklaag van die pedisediment bedek die gevulde sinkgat, sodat die bestaan van die oersinkgat dikwels eers bekend word nadat die vulmateriaal gemobiliseer is en 'n sogenaamde 'nuwe' sinkgat gevorm is. Oorbenatting na baie reën, 'n seismiese skok of daling van die watervlak kan die aktivering en beweging van die pedisediment veroorsaak (Wolmarans, 1984).

2.3.2 Droë valleie

Droë valleie is valleie sonder permanente of met slegs sporadiese strome en riviere. Die oorsprong word direk met die evolusie van karstprosesse geassosieër. Dit geskied vinniger as stroomerosie wat in ander valleie voorkom.

Die voorkoms van ondergrondse dreineringsisteme is tipies van karstterreine. Die water wat dus deur die oplosbare gesteentes beweeg, het verskeie geleenthede om die pad met die minste weerstand te kies. Water vloei langs verskillende paaie, maar verkies die een met die minste weerstand tot by die erosiebasis.

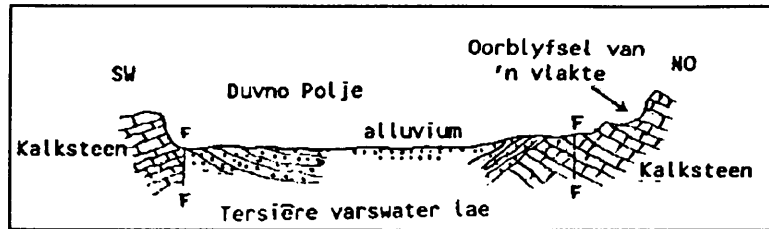
Daar is gevind dat droë valleie, in die algemeen, afsettings van hoekige kalkbrokstukke met 'n modderige matriks besit. Die verskynsel het verskeie outeurs laat dink aan periglasiale ontstaan van die terreine (Kerney, Brown en Chandler, 1964). Volgens Jennings (1987) is dit egter onrealisties om te dink dat karstterreine nie diep ingesnyde valleie voor die koue Pleistoseen periode bevat het nie.

Daar moet egter beklemtoon word dat daar ook droë valleie in nie-karst terreine voorkom. Byvoorbeeld in klam klimaatstreke syfer die water in deurlatende alluviale afsettings in, om sodoende droë valleie te vorm. In vroeë valleie van Pleistoseen ouderdom waar water en gesmelte sneeu voorheen beweeg het, kan droë valleie ook ontstaan. Die algemeenste voorkoms is in ariede of semi-ariëde klimaatstreke waar wegsyfering in die sand plaasvind.

2.3.4 Poljes

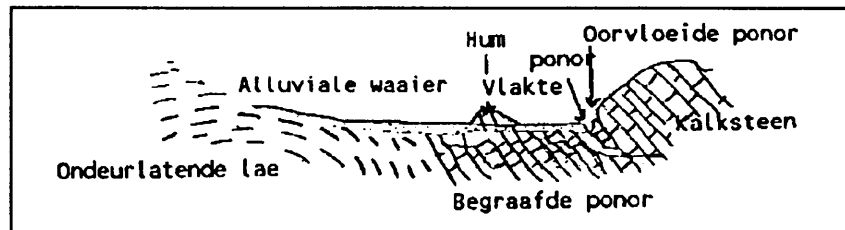
Poljes word beskou as die grootste karstholtes en is die eerste keer in 1761 beskryf. Op daardie stadium is dit glad nie met karstgebiede geassosieër nie. Vandag word poljes morfologies soos volg gedefinieër: Volgens Fink (1973) is 'n polje 'n

uitgebreide holte in karst, aan alle kante omring, met 'n gelyke vloer en steil grense op plekke en 'n duidelike hoek tussen die vloer en kante. Die polje besit ondergrondse dreinerings en is glad nie gebonde aan die hoeveelheid water teenwoordig, indien enige, in die holte nie. Lehmann (1970) beskryf die verskynsel as volg: Poljes is hol vorms van verskillende groottes, verskeie kilometers lank en breed; dit is gedeeltelik komvormig, gedeeltelik vallei-vormig; dit word van alle kante begrens en besit 'n plat vloer wat met fluviale afsettings of verweringsresidu bedek is (Figuur 2.7).



Figuur 2.7
Tipiese Polje
 (Volgens: Jennings, 1987)

Poljes word dikwels deur hums aan die kante begrens. Dit is geronde residuele kalksteen of dolomietheuwels (Figuur 2.8).



Figuur 2.8
Polje met 'n 'hum'
 (Volgens: Jennings, 1987)

Daar bestaan verskillende, soms uiteenlopende idees, omtrent die vormingswyse van poljes. Sommige outeurs beweer tektoniese aktiwiteit is verantwoordelik, terwyl ander erosie as alleenproses voorstel. Katzer (1909) het tot die gevolgtrekking gekom dat tektonisme slegs een van die faktore is wat betrokke is by die ontwikkeling van poljes en dat Cvijić (1900) heeltemal reg was toe hy beweer het dat geen karst-polje slegs onder die invloed van tektonisme sal vorm nie. Katzer stel voor dat tektoniese aktiwiteite sowel as erosie bydra tot die vorming en dat alle poljes eens deel was van 'n vallei met gewone oppervlakdreinerings.

Aangesien groot dolines die eienskappe van poljes mag besit, is

daar besluit dat slegs areas groter as 1 km² as poljes geklassifiseer moet word. Die grootste polje in die Dinariese karst is die Livanjsko Polje wat 'n oppervlakte van 402 km² beslaan. Dit is 65 km lank en gemiddeld 6 kilometer wyd (Milanović, 1981).

Gedurende tye van vloede gebeur dit dat die vloer van poljes totaal en al oorstrom word. Dit is veral die geval in dele van Joego-Slawië. Dit is egter ook waar dat in ander dele oorstromings slegs een maal in 10 - 15 jaar plaasvind en poljes meeste van die tyd droog is.

2.3.5 Ponors

Ponors word algemeen aanvaar as 'n hidroliese verskynsel, maar aangesien daar na die verskynsel verwys word, volg 'n kort definisie.

Ponors is openinge in die karstmassageesteente waarin water ondergronds sink. Nadat naatsisteme, verskuiwings en laagvlakke op die oppervlak verskyn het, vergroot die openinge as gevolg van die meganiese en chemiese aksie van water. Water loop dan vrylik in die opening in en aanvulling van ondergrondse water vind plaas.

2.3.6 Grotte

Nie alle ondergrondse openinge word grotte genoem nie. Volgens die ISU (International Speleological Union) is die term beperk tot natuurlike, ondergrondse openinge wat groot genoeg is om deur 'n mens betree te word. Dit kan ten volle of gedeeltelik deur sediment, water of ys gevul wees. Die klassifikasie van ondergrondse opening kan geskied aan die hand van oorsprong en grootte, of uitstaande kenmerke.

Karstgrotte word geklassifiseer as sekondêre endogene grotte, wat beteken dat die grot ontstaan ná diagenese, deur agente wat in die rots aktief is. Karstgrotte (korrosiegrotte) kom baie meer algemeen voor as die totaal van alle ander grotte. Dit is ook baie groter en word deur ondergrondse water gevorm (Bögli, 1980).

Karstgrotte word ingedeel na aanleiding van die manier van watervloei:

Vertikale Grotte : As die water afwaarts na die karst- waterliggaam, of na 'n ondeurlatende basis vloei.

Horisontale grotte : As die water sywaarts na die basisvlak vloei.

Die klassifikasie is betekenisvol as daar hidrologies daarna gekyk word, maar horisontale grotte is soms oorwegend vertikaal of skuins en dieselfde geld vir vertikale grotte.

Morfologies is die volgende indeling egter meer betekenisvol:

Gelaagd : Grotte wat tussen twee lae van soortgelyke oplosbare gesteentes lê.

Kontak : Grotte wat tussen twee lae van verskillende tipe gesteentes lê, waarvan die onderste laag onoplosbaar is.

Genaat : Grotte wat ontstaan het langs nate en verskuiwings.

Die Kango en Sterkfontein grotte is twee van die belangrikste karstgrotte in Suid-Afrika.

2.4 Karstifikasie en oplossing van karst

Karstifikasie beteken die oplossing van gesteentes. Die term, chemiese erosie, is te beperk en veroorsaak verwarring aangesien dit verkeerdelik gebruik word. Vandag word dit selde gebruik.

Daar bestaan verskillende tipes korrosie, maar daar sal meer aandag gegee word aan korrosie van karbonaatgesteentes. Dit is 'n omkeerbare chemiese reaksie wat aanleiding gee tot die vorming van karbonaat-karst in redelike suiwer kalksteen en dolomiet.

2.4.1 Tempo van oplossing

Volgens Fleitknecht (1948) hang die tempo van oplossing van 'n verskeidenheid van faktore, wat in vergelyking (2.3) saamgevat is, af:

$$V_L = k \times D (C - C_s) \quad (2.3)$$

- D : Diffusie-koefisiënt
- A : Gesteente-area (Oppervlakte)
- C_s : Konsentrasie by versadiging van oplossingsagent
- C : Konsentrasie van die oplossingsagent op daardie tydstip

'n Ander eksterne faktor wat 'n belangrike rol speel is temperatuur. Dit bepaal die tempo van die reaksie, sowel as die verwydering van die opgeloste materiaal op die aangevalde oppervlak.

Die spoed waarteen vloeï plaasvind, die turbulensie van die water en die ruheid van die gesteente oppervlak, is ook bepalende faktore. Die eksterne faktore word saamgevat in die konstante van eweredigheid, k , wat empiries in vergelyking (2.3) bepaal word.

Die oplossing van gesteentes is die bepalende proses in die vorming van karst. Aangesien die deurlopendheidskoëffisiënt moeilik bepaalbaar is en verskillende waardes tydens elke poging toegepas kan word, word V_L nie in geomorfologiese berekeninge gebruik nie.

2.4.2 Proses van oplossing

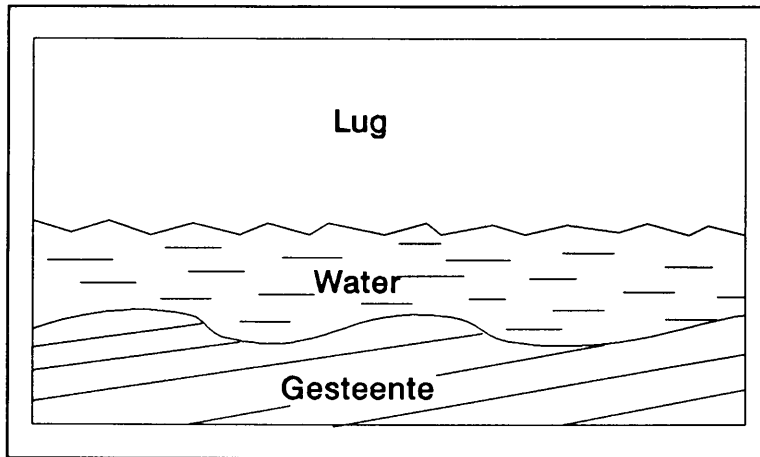
Alhoewel kalksteen die belangrikste gesteente is waarin karstifikasie plaasvind, word dolomiet ook aangeval en die vatbaarheid om op te los, hang van die dikte en die posisie binne die stratigrafiese opeenvolging af.

Volgens Bonacci (1987) word die proses van karstifikasie veroorsaak deur die kontak van water met die oplosbare en poreuse gesteentes. Hy sien die volgende faktore as bepalend tydens die vorming van karst: Temperatuur en chemiese samestelling van die gesteente. Ander faktore wat die karstproses beïnvloed is die chemiese samestelling van die water, die vloeitempo van die water en die klimaat. Die proses is meer intensief as 'n dik laag humus bo-op die karbonaat gesteentes voorkom, aangesien dit die CO_2 inhoud verhoog.

Die oplossing van kalksteen en dolomiet is die sentrale probleem van oppervlak- en ondergrondse karstifikasie. Dit vind plaas in 'n sisteem wat uit $CO_2 - H_2O - MeCO_3$ ($Me = Ca$ of Mg) bestaan. Dit sluit verskeie fisiese- en chemiese prosesse, waarin gas, vloeistof en soliedes deelneem, in.

Bonacci (1981) stel die volgende proses voor:

Die proses by die kontakvlakke is fisies (massa vervoer, diffusie) terwyl die proses in die oplossing, chemies van aard is (Figuur 2.9).



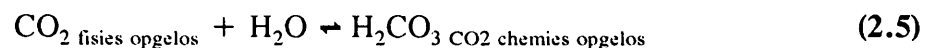
Figuur 2.9
Kontakvlakke waar oplossing plaasvind

In die CO_2 - H_2O - CaCO_3 sisteem vind die volgende prosesse plaas:

- (i) Gedurende presipitasie, word atmosferiese CO_2 in die water opgelos:



- (ii) Die fisies opgeloste CO_2 is 0,75 persent gehidreer by 4°C :



- (iii) As 'n sterk suur, is H_2CO_3 totaal gedissosieër : eerste O_2 vlak.



- (iv) As die H₂O en karbonaatgesteente in kontak kom, word die ione vrygestel uit die kristalstruktuur ('n fisiese proses).

Die tweede O₂ vlak - die dissosiasie van HCO₃⁻ na CO₃²⁻ en H⁺ - kan weggelaat word tydens 'n pH van kleiner as 8,5 as gevolg van die klein proporsie daarvan.



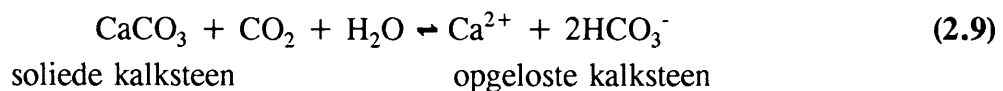
- (v) Die nuutgevormde CO₃²⁻ assosieër met die H⁺ vanuit stap (iii).



- (vi) Die oplossing langs die raakvlakke raak verarm aan CO₃²⁻. Die ewewig van die oplossing met die CaCO₃ is versteur en die ioon produk stem nie meer met die oplossingsproduk L, ooreen nie.

$$(\text{Ca}^{2+})(\text{CO}_3^{2-}) = L.0 \times 10^{-9} \quad (\text{Picknett 1973})$$

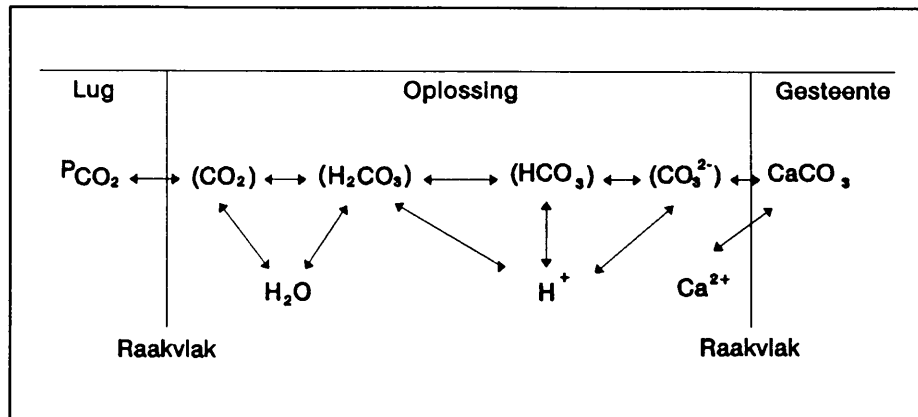
In 'n poging om die CO₃²⁻ te vervang en sodoende die ioon produk te verhoog tot die konstante L, word die CaCO₃ weer opgelos (iv), waartydens die [Ca²⁺] domineer oor die [CO₃²⁻]. In kort word al die stappe in die reaksie gereaktiveer deur die assosiasie van H⁺ en CO₃²⁻ totdat 'n nuwe ewewig bereik word. Deur die toevoeging van stappe (ii) - (v) word die bekende oplossingsreaksie van kalksteen bereik.



Die hele oplossingsproses word in Figuur 2.10 uiteengesit.

Die prosesse wat die oplosbaarheid van karbonaatgesteentes beheer sluit die volgende in:

- Parsiële druk
- pH
- Temperatuur
- Hidrostatiese druk
- Vermenging van verskillende karbonaat grondwaters



Figuur 2.10
Volledige oplossingsproses
 (Volgens: Bonacci, 1981)

- Ander faktore soos byvoorbeeld onsuiverhede in dolomiet, grootte van partikels en oorsprong.

Die belangrikste faktor wat die kalsiet-dolomiet oplosbaarheid beheer is die **parsiële druk** of CO_2 konsentrasie. In die algemeen neem die kalsiet-dolomiet oplosbaarheid toe met die derdemagswortel van die CO_2 druk. (Stumm en Morgan, 1981)

Die **pH** se invloed sal later in meer detail bespreek word as daar na die chemiese eienskappe van karst grondwater gekyk word. In die algemeen verhoog die oplosbaarheid van dolomiet as 'n afname in pH voorkom. Dus hoe suurder die water, hoe makliker los die dolomiet op.

Die oplosbaarheid van die meeste nie-organiese soute neem toe as die **temperatuur** toeneem, maar kalsiet en dolomiet toon die teenoorgestelde tendens. As die temperatuur toeneem vind 'n verlaging in oplosbaarheid plaas. (Stumm en Morgan, 1981)

Druk in die algemeen, beïnvloed nie die oplosbaarheid van karbonaat minerale in 'n groot mate nie, veral nie lae drukke nie. Die oplosbaarheidsproduk van CaCO_3 sal toeneem met 'n toename in druk met slegs 0,2 log eenhede vir 'n druk van 200 atmosfeer (Stumm en Morgan, 1981).

Vermenging van grondwater van verskillende oorsprong kom baie algemeen in karbonaat waterdraers voor. Vermenging kom ook voor tussen grondwater aanvullers en grondwater in die kappilêre sone of by die watervlak. Die belangrikste gevolg van vermenging van karbonaat grondwater is dat water wat vermeng is, meer

korrosief is en dus addisionele oplossing van bestaande karbonaatgesteentes kan veroorsaak (Langmuir, 1984).

Onsuiwerhede wat voorkom in karbonaatgesteentes kan die oplosbaarheid daarvan verlaag. Klein, fyn korrels word makliker opgelos as groot kristalle. Sommige outeurs is ook van mening dat kalsiet van biogenetiese oorsprong meer oplosbaar is as kalsiet van anorganiese oorsprong.

2.4.3 Endokarst

(i) Vormingswyse

Endokarst is ondergrondse karst wat deur nate, krake en grotte bestaan as die proses voltooi is. Dit is nie 'n primêre verskynsel nie, aangesien sedimentasie plaasvind sonder dat ingenetiese openinge gevorm word.

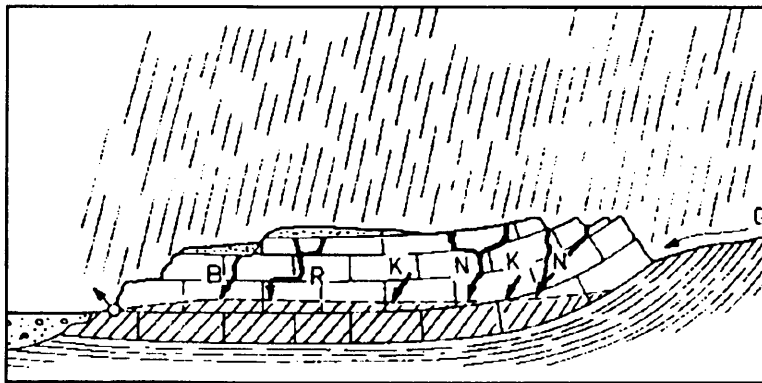
Karst word beheer deur die oplossing van kalksteen en daarom deur die teenwoordigheid van water. Die ondergrondse dreinerings, wat nodig is vir die ontwikkeling van endokarst, benodig 'n netwerk van ondergrondse openinge en kanale (Bögli, 1980). Dit bestaan hoofsaaklik uit nate en laagvlakke en/of voldoende poreusheid van die gesteente. Dit moet egter beklemtoon word dat ondergrondse dreinerings nie alleen verantwoordelik is vir endokarst nie. Soms veroorsaak riviere wat in valleie vloei en in die grond in sypel, ook soortgelyke verskynsels.

In die beginstadium, wanneer freatiese toestande heers, vind gemengde korrosie in die gesteente plaas. Die proses neem geleidelik toe. Soos die openinge vergroot en permeabiliteit toeneem, neem die moontlikheid van korrosie ook toe. As mens in ag neem hoe min die hoeveelheid water is en hoe stadig dit beweeg, is dit te verstane dat die aanvanklike stadium lank duur, in die orde van 10 - 100 000 jaar. Om die water aanvanklik te beweeg, is ten minste primêre poreusheid nodig sodat die water nie slegs die gesteente kan binnedring nie, maar dat dit ook weer kan uitsyfer (Lehmann, 1932). Met tyd verander die primêre poreusheid na karst hidrologiese - (aktiewe oop) nate. Die aanvanklike fase is dan verby. Dit kan op die oppervlak waargeneem word deur 'n geleidelike toename in die verlies aan water. Endokarst kan slegs

betree word as die ondergrondse openinge verder in grotte ontwikkel.

(ii) **Oorsprong van die water in endokarst (Figuur 2.11)**

Karst grondwater bestaan uit sypelwater vanaf presipitasie op barre kalksteen (N), grondwater (B), water wat invloei vanaf strome op die oppervlak (G), en uit gekondenseerde water (K). Die verskillende komponente meng en versamel in die freatische sone of net bo die ondeurlatende strata vanwaar dit na 'n karstfontein vloei (Bögli, 1980).

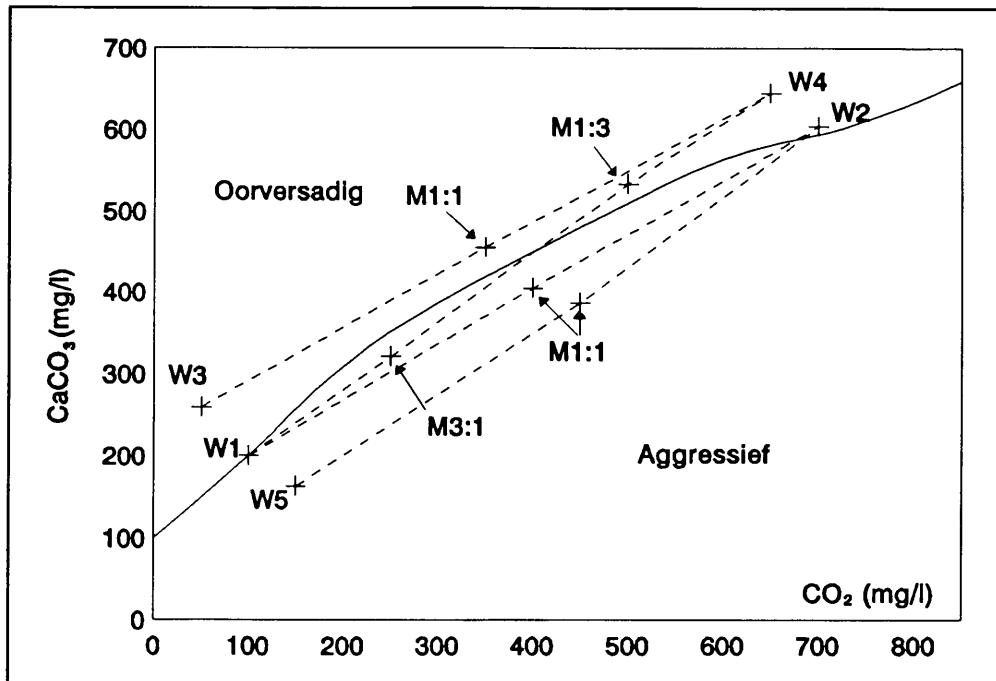


Figuur 2.11
Oorsprong van water in endokarst
Volgens: Bögli, 1980)

'n Verskynsel wat algemeen in endokarst voorkom, staan bekend as gemengde korrosie. Alhoewel Bögli (1980) nie die eerste persoon was wat 'mixed corrosion' ondersoek het nie, was hy wel die eerste een wat die geomorfologiese belangrikheid daarvan raakgesien het. Die verhouding tussen die CO_2 partiële druk en CaCO_3 versadigings-ewewig is eksponensieël. Die vermenging van twee waterliggame, albei versadig, maar met verskillende CaCO_3 konsentrasies, veroorsaak water wat onderversadig is (Figuur 2.12).

Daar is gevind dat as 'n groot hoeveelheid water, versadig by lae CO_2 druk, meng met 'n klein hoeveelheid water, versadig by hoë CO_2 druk, 'n toename in aggresiwiteit plaasvind (Figuur 2.12). Die skets dui die volgende aan:

- Die vermenging van versadigde water (W1 en W2) het aggresiewe water tot gevolg byvoorbeeld - M1:1 in gelyke hoeveelhede
- Vermenging van versadigde water (W3 en W4) bly oorversadig



Figuur 2.12
Gemengde korrosie
 (Volgens: Bögli, 1964a)

- Vermenging van versadigde (W2) en aggressiewe (W5) water in enige verhouding, veroorsaak versadigde water
- M1:3 (1 deel versadig W1 en 3 dele oorversadig W4) bly oorversadig, maar
- Die teenoorgestende M3:1 word aggressief

Die tempo van karstifikasie word op hierdie manier verhoog sonder dat een van die waterliggame op hul eie, noemenswaardige skade sou veroorsaak het. In vlak karst kan die verskynsel dikwels op ondeurlatende onderliggende lae, waar dalende water in 'n sydelingse rigting begin vloei, waargeneem word. In diep karst kom gemengde korrosie in die permanente karst watervlak voor. Dit kan verder ook lei tot die vorming van grotte.

2.4.4 Diepte van karstifikasie

Die karstifikasie diepte is die diepte waartoe die gesteente blootgestel word aan oplossing. Boorwerk is in die Dinarie karst gebruik om die diepte en die bestaan daarvan te bepaal.

Daar is geen bepaalde diepte tot waar karstifikasie kan plaasvind nie en dit wissel van plek tot plek. Die oorgangsones verteenwoordig die vlak waar geen oplossing plaasvind nie. Dit is die sogenaamde basis van karstifikasie. Vir die Dinariese karst is die basisvlak nie dieper as 250 meter nie (Milanović, 1981).

Meeste outeurs ondersteun die aanname dat karstifikasie afneem met diepte. Verskeie permeabiliteitstoetse is uitgevoer en het inderdaad aangetoon dat dit die geval is. Die sone van hoogste karstifikasie - sowel as hoogste permeabiliteit - kan op dieptes wat wissel van 10 - 15 meter gevind word (Milanović, 1981).

As daar aanvaar word dat karstifikasie afneem met diepte, geld die volgende vergelyking:

$$\epsilon = a \times e^{-bH} \quad (2.10)$$

- ϵ : Karstifikasie indeks (dimensieloos)
 H : Diepte in meter
 a en b : Parameters wat verkry word vanaf permeabiliteitstoetse wat uitgevoer is.

Die karstifikasie indeks is 'n funksie van die diepte gemeet vanaf die oppervlak en gee 'n aanduiding van die intensiteit van karstifikasie wat op 'n spesifieke diepte voorkom.

Op grond van permeabiliteitstoetse wat in 146 boorgate in die Dinariese karst uitgevoer is, het Milanović (1981) die eksponensiële vergelyking aangepas om sodoende die karstifikasie indeks met diepte en deurlatendheid in verband te bring.

$$\epsilon = 23,9697 e^{-0,012H} \quad (2.11)$$

Tabel 2.2 gee die ϵ waardes vir verskillende dieptes na aanleiding van 146 boorgate wat in die Dinariese karst geboor en getoets is.

TABEL 2.2
KARSTIFIKASIE-INDEKS (ε) TEENOOR DIEPTE

H(m)	ε
10	30,0
50	18,0
100	10,0
150	5,0
200	2,5
250	1,5
300	1,0
> 300	< 1,0

Uit bogenoemde tabel is dit duidelik dat die karstifikasie proses in die 0 - 30 meter sone 30 maal groter is as op 'n diepte van 300 meter.

Tabel 2.3 is deur Bonacci (1987) opgestel en gee die karstifikasie diepte van verskillende lande of streke:

TABEL 2.3
KARSTIFIKASIEDIEPTE IN VERSKILLENDE LANDE
(Volgens: Bonacci, 1987)

Streek of land	Diepte
Dinariese karst	2 300m
Poland	150m
USSR	1 200m

2.4.5 Rol van tektonisme in die proses van karstifikasie

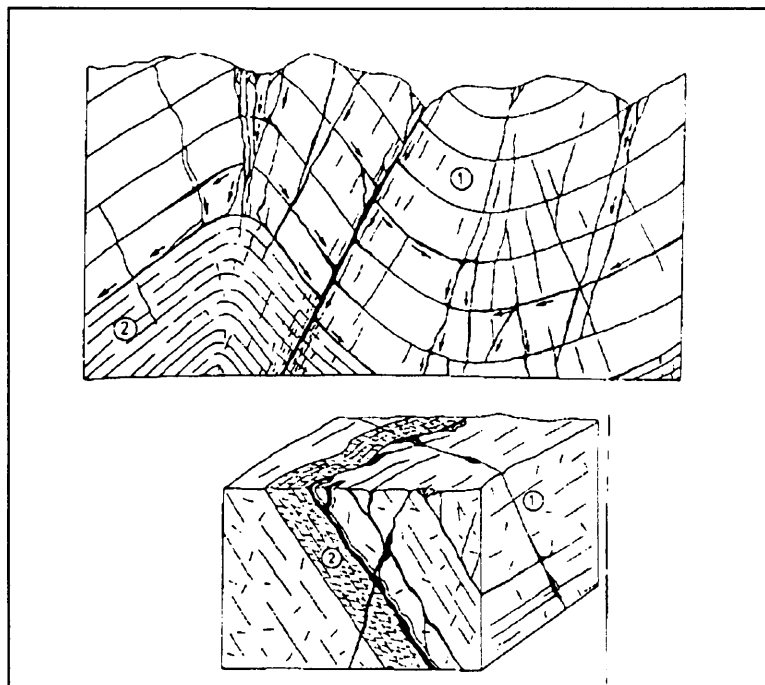
Die karstifikasie proses is die gevolg van water wat tot binne in oplosbare gesteentes dring. Buiten oplosbaarheid, is deurlatendheid 'n ewe belangrike faktor. In Suid-Afrika is nate die belangrikste verskynsel wat permeabiliteit in karbonaatgesteentes veroorsaak.

Die faktor is deur Cvijić (1924 - 1926) en Parizek (1976) ook in ander lande erken.

Kalksteen- en dolomietgesteentes is baie bros, veral as dit dik gelaag, of massief is (Milanović, 1981). Intensiewe tektoniese prosesse sal uitgebreide naatsisteme tot gevolg hê. Die nate verskaf toegang vir water om die rotsmassa binne te dring. Versplintering of opbreking van die rotsmassa, wat die gevolg van tektoniese prosesse is, verteenwoordig die belangrikste faktor in karstifikasie. Dit veroorsaak horisontale, sowel as vertikale toegang.

(i) Trekspanningsnate

Die belangrikste naatstelsels is dié wat gevorm word deur middel van trekspannings wat blok opbreking tot gevolg het. Dié naatsisteme word altyd in antikline en in dieper dele van sinklinale plooië gevorm. Gedurende plooiëvorming kan laagvlakke nie genoegsame skuifweerstand teen die toegepaste vervormingskragte bied nie. As gevolg hiervan, word laagvlaknate gevorm, wat 'n belangrike rol in die karstifikasie proses speel (Figuur 2.13).



Figuur 2.13
Naatsisteme wat die karstproses beïnvloed
(Volgens: Milanović, 1981)
Legende op bladsy 32

LEGENDE

- (1) Opgeloste kalksteen
- (2) Lae permeabiliteitsgesteentes; dolomiet

Hierdie nate maak gewoonlik deel uit van die naatsisteen wat deur rotslae sny en vorm 'n aaneenlopende en duidelike netwerk van sekondêre openinge. Alhoewel dit sekondêr van oorsprong is, verteenwoordig die poreusheid die oorheersende faktor in die karstifikasie proses. Die nate met die grootste invloed in die sekondêre poreuse netwerk is dié wat die grootste deursnit area en diepte besit, met ander woorde die nate wat die maklikste toegang vir water verskaf.

(ii) Spanningsverligtingsnate

Spanningsvrystellingsnate speel ook 'n belangrike rol in die karstifikasie proses. Die nate vorm in vlakke parallel met die maksimum drukspanning. Nadat 'n gedeelte van die spanning deur erosie vrygestel is, probeer die rotsmassa om weer tot spanningsewig terug te keer. So word nate gevorm. Dit is in, of naby die oppervlak in areas waar erosieprosesse aktief gekonsentreerd is, geleë. Die areas is gewoonlik in diep rivieralleie, langs bergklowe, rondom dolines en in diep sinkgate geleë.

(iii) Oppervlakkrake

Die derde tipe naat wat 'n rol speel by karstifikasie, is oppervlakkrake wat die gevolg van eksogene prosesse is. Die oppervlakkrake (nate), saam met die spanningsvrystellingsnate, vorm 'n baie intensiewe netwerk van openinge. Dit onderskep oppervlak water, vervoer dit tot binne in en deur die onderste naatsisteme tot in die dieper dele van die karbonaat rotsmassa (Milanović, 1981).

Waterbeweging binne al die naattipes word veroorsaak deur gravitasie. Die snelheid en hoeveelheid van die vloeiende water hang van die grootte van die kanale en breuke, sowel as die graad van aaneengeskakeldheid a. Daar bestaan 'n meningsverskil tussen wetenskaplikes aangaande die minimum wydte waarvoor 'n opening moet beskik, alvorens vrye beweging van water deur middel van gravitasie, daardeur kan plaasvind. Waardes wissel van 1 - 2

millimeter, terwyl ander deur middel van eksperimente bewys het dat vrye gravitasie beweging van water deur openinge tot so klein as 0,5 - 0,2 mikrometer kan plaasvind.

Sones waar twee of meer verskuiwings kruis of ontmoet, is die ontvanklikste vir karstifikasie. Oppervlakdepressies verhoog die kans vir karstifikasie verder.

2.4.6 Verskil tussen dolomiet en kalksteen se oplosbaarheid

Outeurs het verskillende menings omtrent die oplosbaarheid van dolomiet en kalksteen. Sommige beweer dat kalksteen meer oplosbaar is as dolomiet, terwyl ander die teendeel beweer.

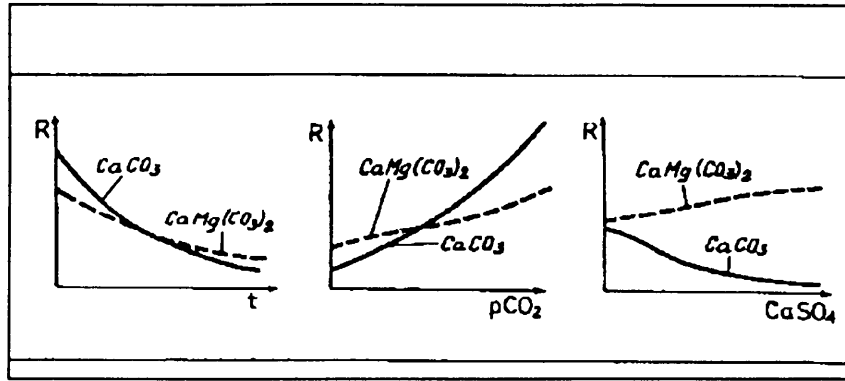
Sokolov (1962) het die verhouding van oplosbaarheid tussen kalksteen en dolomiet onder verskillende toestande ondersoek. Figuur 2.14 toon aan dat:

- a) Met toename in temperatuur, dolomiet effens meer oplosbaar is as kalksteen
- b) Met verhoging in partiële druk, kalksteen baie meer oplosbaar is as dolomiet
- c) Dolomiet baie meer oplosbaar is as kalksteen in suur omgewings

Zogović (1966) het die Dinariese karst gesteentes ondersoek en tot die gevolgtrekking gekom dat dolomiet meer oplosbaar is onder natuurlike toestande.

Jennings (1966) het die oplosbaarheid van dolomiet in die Transvaal ondersoek en tot die volgende gevolgtrekkings gekom:

- (i) Suiwer dolomiet minerale is oplosbaar, maar minder as enige van die ander primêre karbonate;
- (ii) Suiwer kalsiet is meer oplosbaar as dolomiet; en



Figuur 2.14
Die oplosbaarheid (R) van dolomiet en kalksteen onder invloed van verskillende faktore
 (Volgens: Sokolov, 1962)

- (iii) Suiwer magnesiet is die mees oplosbare van al die karbonaatgesteentes (100 maal meer oplosbaar as kalsiet).

Daarom, volgens Jennings (1966), is dolomitiese sones wat 'n oormaat $MgCO_3$ bevat, meer oplosbaar as die omliggende dolomiet.

Daar moet egter onthou word dat die samestelling van die karbonaatgesteentes en die chemiese samestellings van die water van plek tot plek verskil en verskillende afleidings en gevolgtrekkings gemaak kan word, afhangend van die area wat ondersoek word.

2.5 Permeabiliteit en poreusheid

2.5.1 Permeabiliteit

Volgens Bögli (1980) bestaan daar drie faktore wat die primêre permeabiliteit van karbonaatgesteentes bepaal naamlik die (1) poreusheid, (2) teenwoordigheid van nate en (3) laagvlakke.

Poreuse kalkstene is baie min deurlatend, as dit met genate kalksteen vergelyk word. As die gesteente egter onder spanning geplaas word, sal waterbeweging deur die porieë plaasvind. Primêre permeabiliteit hang nie soveel af van die volume porieë nie, maar eerder van die wydte en van die aaneengeskakeldheid daarvan.

Klei besit twee maal soveel porieë as sandsteen. Die openinge is egter nie verbind soos in die geval van sandsteen nie. As gevolg van die sandkorrels se afgeronde voorkoms teenoor die plaatagtige tekstuur van die kleikorrels, verskil die openinge dus ooreenkomstig in voorkoms. Die groter en aaneengeskakelde sandkorrels is 'n 1000 maal meer deurlatend as die klei wat twee maal soveel openinge besit. Tabel 2.4 vergelyk die volume porieë van verskillende gesteentes en sedimentêre afsettings met mekaar.

TABEL 2.4
(%) VOLUME PORIEË VAN VERSKILLENDE GESTEENTES

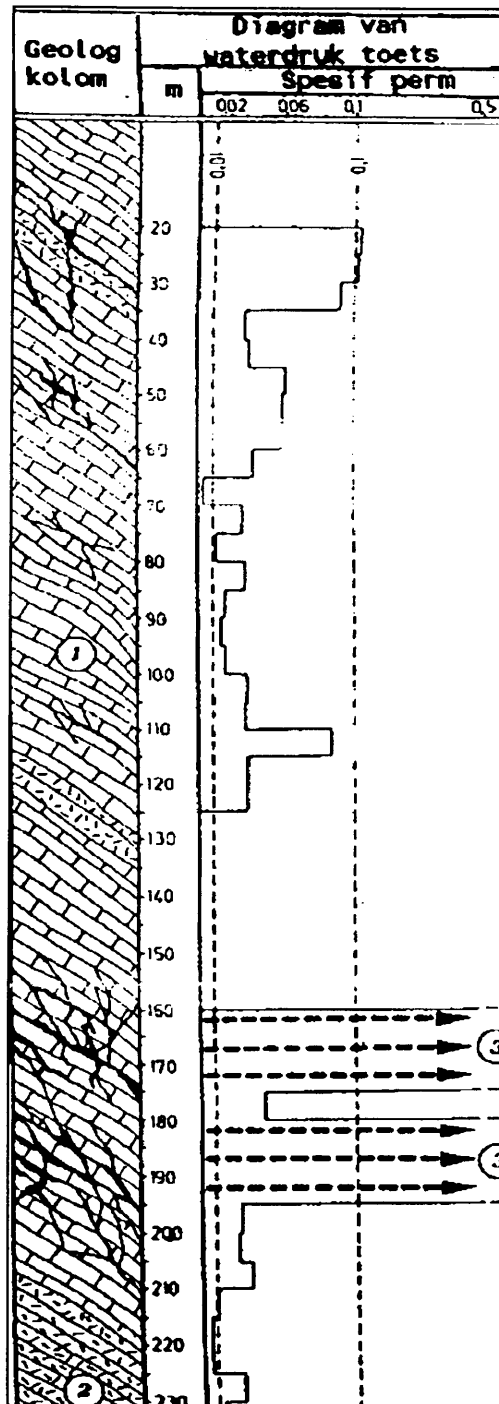
Gesteente	(%) Volume porieë	Toestand
Graniet	0,05 - 0,86	
Leisteen	0,54 - 0,70	gekompakteer
Sandsteen	3,32 - 39,80	
Sandsteen	4,00	gekompakteer
Kalksteen	0,67 - 2,55	sonder nate
Kalk	14,20 - 43,90	
Dolomiet	1,50 - 22,15	sonder nate
Marmer	0,11 - 0,59	sonder nate
Growwe sand	39,00 - 41,00	
Fyn sand	44,00 - 49,00	
Leemgrond	50,00 - 54,00	

(Gesteentes volgens: Martel (1921)
(Los materiaal volgens: Pettijohn (1957))

Soos reeds uit paragraaf 2.4.5 verduidelik, speel tektonisme en die gepaardgaande nate 'n belangrike rol in die bepaling van die permeabiliteit. Permeabiliteit hang dus nou saam met die mate waartoe karst ontwikkeling plaasgevind het, sowel as die diepte van die ontwikkeling.

Die oneweredige verspreiding van permeabiliteit kom duidelik na vore uit die permeabiliteitstoetse wat deur Milanović (1981) in boorgate uitgevoer is. Die resultate van die toetse verskyn in Figuur 2.15. Spesifieke permeabiliteit word uitgedruk in liter/min. by 0,1 atmosfere druk.

Die geologiese kolom dui die oorsake van die wisseling in permeabiliteit aan. Dit is duidelik dat groot verskille tussen ondeurlatende en hoogs deurlatende sones bestaan. In sone (3)



Figuur 2.15
Permeabiliteitstoetse
 (Volgens: Milanović, 1981)

is die verlies groter as 0,5 l/min.m 0,1at, terwyl waardes laer as 0,02 l/min.m 0,1at skaars 10 meter daarbo gevind word.

Volgens Dreybrodt (1988), toon dié voorbeeld van Milanović (1981) aan dat karstifikasie selektief plaasvind. Uit die moontlike vloeiopaaie in die opgebreekte sisteem word die maklikste pad op grond van hidrologiese oorwegings (primêre permeabiliteit, hidrouliese gradiënt ensovoorts) gekies.

2.5.2 Poreusheid

Karst-poreusheid bestaan uit aaneengeskakelde sisteme van nate, kanale en openinge van verskillende vorms, groottes en vulmateriaal. Na aanleiding van die oorsprong, kan karst-poreusheid ingedeel word in primêre- en sekondêre poreusheid.

(i) Primêre poreusheid

Primêre poreusheid is singeties van oorsprong, met ander woorde dit is gevorm tydens die afsetting van sedimente. Dié tipe poreusheid is nie algemeen nie. Dit kom egter in karst waterdraers in Florida, VSA voor. Karstwaterdraers met primêre poreusheid word geassosieër met onlangse rifkalkstene.

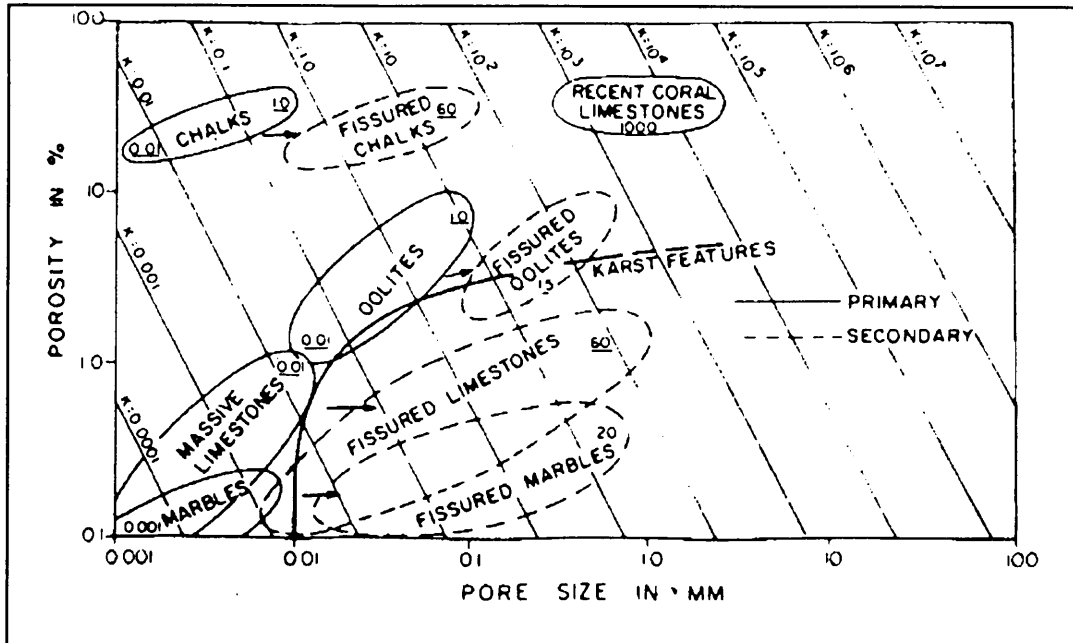
(ii) Sekondêre poreusheid

Die term sekondêre poreusheid, word gebruik vir openinge wat gevorm word in karbonaatgesteentes nadat dit gevorm het. Die verskynsel sluit openinge in wat veroorsaak is deur oplossing of as gevolg van tektonisme. Die hoeveelheid en dimensie van die porieë neem geleidelik toe met tyd, veral as gevolg van die oplosbaarheid van die gesteente en die fisiese aksie van water. Dus verhoog die poreusheid van karbonaatgesteentes met tyd. Die grootte en hoeveelheid porieë en die vorm van die nate hou direk verband met die gesteente se poreusheid.

Komatina (1968) het ondersoek op gelaagde kalksteen in die Dinariese berge gedoen. Hy het gevind dat die totale poreusheid van die gesteentes wissel van 8 - 10 persent. Massiewe en rifkalkstene se waardes is egter so hoog as 20 persent.

Figuur 2.16 dui die poreusheid en permeabiliteit (m/dag) van kalksteen, as 'n funksie van die poriegrootte aan. Die vaste lyne aan die linkerkant, dui die primêre permeabiliteit aan; die stippellyne die sekondêre permeabiliteit. Die skuinslyne dui teoretiese permeabiliteit in m/dag aan. Die karst 'feature' lyne skei die areas waar grotvorming moontlik is (onder die lyn) van die areas waar diffusievloei waterdraers ontwikkel (Ford, 1980).

Die waardes is gebaseer op die aanname dat vloei in die gesteentes in 'n hoeveelheid reguit parallelle buisies plaasvind. Alhoewel die aanname nie in die veld geld nie, kom die waardes bereken in die laboratorium tog tot 'n redelike mate ooreen met die waardes in die veld gemeet. Die waardes in die omsluite gedeeltes in die skets dui die waardes in die veld gemeet, aan.



Figuur 2.16
Poreusheid en permeabiliteit (m/d) as funksie van die poriegrootte
 (Volgens: Ford, 1980)

(iii) **Effektiewe poreusheid**

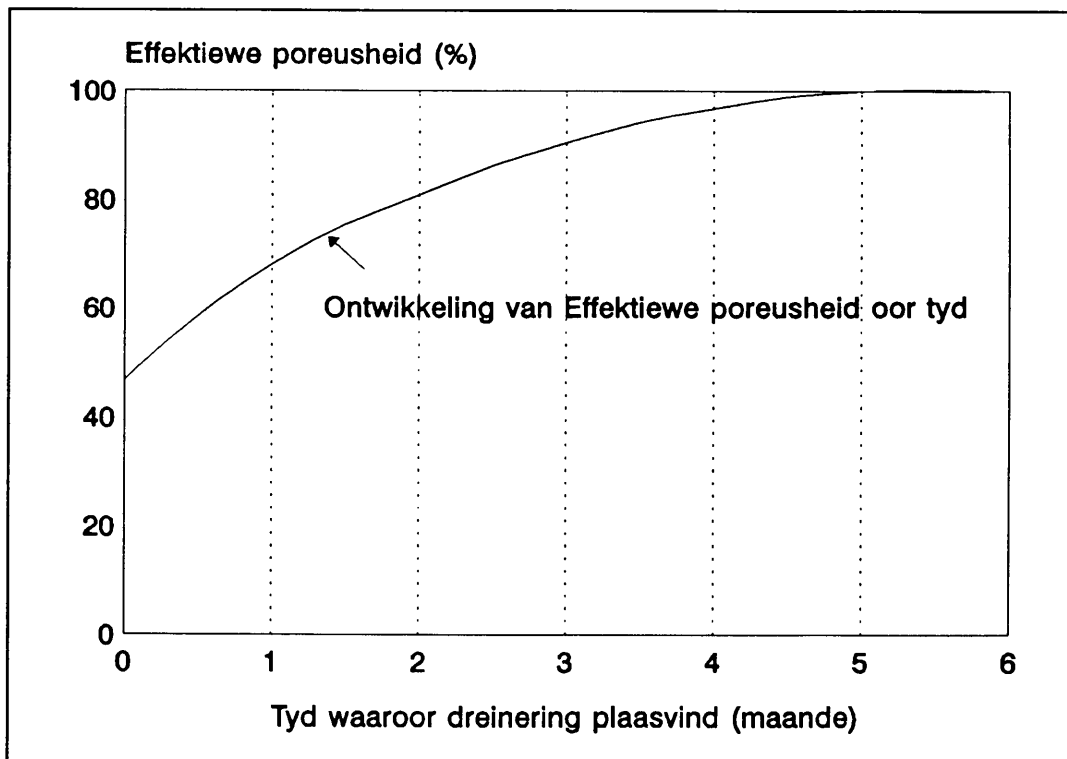
'n Derde tipe poreusheid staan as effektiewe poreusheid bekend. Die effektiewe poreusheid (n_e) is 'n funksie van die verbinding tussen die openinge wat met tyd deur gravitasie water gevul kan word. Die tipe poreusheid is slegs van toepassing op aaneengeskakelde openinge waardeur water kan sirkuleer.

$$n_e = \frac{V_g}{V} \times 100 \quad (2.12)$$

V_g : Volume gravitasiewater
 V : Totale volume van die gesteente

Effektiewe poreusheid verander met tyd. Figuur 2.17 toon die verwagte toename aan as 'n permanente invloei van water na ondergrondse karstgesteentes aanvaar word.

Bonacci (1987) het waardes van effektiewe poreusheid uit verskillende lande bekom (Tabel 2.5). Die gemiddelde waardes wissel van 1 - 2 persent. In gevalle waar erg gekraakte sones voorkom as gevolg van karstifikasie of tektonisme, wissel waardes van 5 - 10 persent. Die sones voorsien ernstige ingenieursprobleme tydens damkonstruksie in karst, aangesien waterdigtheid nie verseker kan word nie.



Figuur 2.17
Ontwikkeling van effektiewe poreusheid
 (Volgens: Bonacci, 1987)

TABEL 2.5
EFFEKTIEWE POREUSHEID IN VERSKILLENDE LANDE
 (Volgens: Bonacci 1987)

Land of streek	n_e [%]
België	3,0 - 4,0
Frankryk	2,0
Switserland	0,2 - 0,4
Dakar Polje - Joego-Slawië	6,0 - 10,0
Groot-Brittanje	0,92
Salakovac- Joego-Slawië	2,0 - 3,0
Buško Plato- Joego-Slawië	1,0
Libanon	3,2

'n Relatiewe eenvormige verspreiding van poreusheid is slegs waarneembaar in sones vlakker as ± 5 meter. As daar dieper beweeg word, is die poreusheid as gevolg van nate eweredig versprei, maar poreusheid neem af as gevolg van oplossing (Bonacci, 1987). Met behulp van boorwerk kan die rigtings van uitgebreide karstifikasie, wat deur verskeie kanale, openinge en skuifsones verteenwoordig word, bepaal word.

2.6 Denudasie

Karstdenudasie is die hoeveelheid kalksteen of dolomiet wat opgelos en weggevoer word uit 'n gebied. Die waarde word uitgedruk in verlies van 'n gesteente in m^3/km^2 per jaar, of die verwydering in $\text{mm}/1000\text{jaar}$. Die totale hoeveelheid verwydering per jaar word bereken uit die waterafloop en die hoeveelheid CaCO_3 in die water teenwoordig.

$$K_G = A \times H \times G \quad (2.13)$$

H : water uitvloei (m/j)

G : Hoeveelheid CaCO_3 teenwoordig in die water (g/m^3)

A : km^2

Aangesien die hoeveelheid kalksteen wat uit die omgewing verwyder word, afhang van die afloop en daarom afhanklik is van die presipitasie en evapotranspirasie, is dit duidelik dat denudasie verband hou met die klimaat. 'n Hoë reënval en min verdamping sal hoë denudasie tot gevolg hê. Met 'n 10 grade Celcius styging in temperatuur, verdubbel die reaksietempo. Die oplossing van dolomiet en kalksteen neem dus toe in warm sones (Tabel 2.6).

TABEL 2.6
INVLOED VAN REËNVAL EN KLIMAAT OP DENUDASIE
(Volgens: Bögli, 1971b)

Klimaat	Presipitasie (mm)	Verwydering van kalksteen (mm/1000jaar)
Warm klam :		
Jamaika	2000	51
Puerto Rico	1800	54
Kuba	1600	46
Florida	1200	27
Gematig		
Kentucky	1100	64
Lee, Essex, GB	700	63
Switserland	2200	91
Birsigtal, Swede	1100	50
Sub-arkties tot arkties :		
Bar karst in Switserland	2400	71
Spitsbergen	280	17

Daar is egter ook ander faktore wat 'n rol speel buiten klimaat. In gebiede met soortgelyke klimaatstoestande is ook gevind dat die K_G -waarde baie verskil. Sweeting (1964) het aangetoon dat denudasie ook afhanklik is van die plantegroei en litologie. Die hoeveelheid CO_2 speel ook 'n belangrike rol, aangesien dit die oplossing van die karstgesteente beïnvloed. Tabel 2.7 dui aan dat, met toenemende plantegroei die hoeveelheid $CaCO_3$ in die water toeneem en gevolglik sal denudasie ook verhoog.

TABEL 2.7
INVLOED VAN PLANTEGROEI OP DIE $CaCO_3$ IN WATER
(Volgens: Sweeting, 1964)

Bedekking deur plantegroei	$CaCO_3$ (ppm)
Kristalagtige kalksteen, gedeeltelik bedek	60 - 80
Koolstofhoudende kalksteen, gedeeltelik bedek	80 - 100
Koolstofhoudende kalksteen, omtrent heeltemal bedek	140 - 180
Koolstofhoudende kalksteen heeltemal met plante bedek	220 - 240
Kryt, heeltemal met plante bedek	280 - 300

2.7 Rol van dolomiet en sedimente in karstterreine

Kalksteen verteenwoordig die grootste gedeelte van karstterreine en hulle hidrogeologiese eienskappe is voorspelbaar en bekend. Hulle dien as grondwater-waterdraers met uitgeloogde naat-tipe poreusheid.

2.7.1 Dolomiet

Die hidrogeologiese rol van dolomiet is egter nie so uniek nie. Die voorkoms van water in die gesteentes hang van 'n verskeidenheid van faktore, naamlik chemiese samestelling, petrografiese tekstuur, tektoniese beskadiging, hoeveelheid strukture en die posisie binne die struktuurprofiel af (Milanović, 1981).

Dolomiet wat weerstand bied teen kraging en oor groot areas voorkom, sal gewoonlik as keerbanke of skanse optree.

In die Verenigde State van Amerika (VSA) word keerbanke algemeen met geplooid en verskuifde dolomieteenhede geassosieër. Die skanse is op die grondoppervlak sigbaar, terwyl grondwaterdreineringsstelsels in die aangrensende kalksteenformasies plaasvind. Die dolomiet hoef nie ondeurlatend te wees nie; dit is eerder minder oplosbaar en minder deurlatend as dit met die aangrensende kalksteen vergelyk word. Fynkorrelrige tot kriptokristallyne-dolomiet en dolomieteenhede met tussengelaagde dun skaliebande is die swakste waterdraers binne die regionale waterdraer sisteem.

Onder sekere ander toestande kan die teenoorgestelde egter waar wees. Dolomiet is die beter waterdraer, terwyl kalksteen as skans optree en grondwatervloei beperk. In sulke gevalle kan dun skalielagies in die kalksteen aangetref word, of die kalksteen kan ander ongunstige elemente bevat. Die dolomiet daarenteen, besit in sulke gevalle betekenisvolle intergranulêre poreusheid (2 tot 20 persent). Dit word gewoonlik veroorsaak deur kwarts en/of dolomieteenhede wat meer intensief geplooi en versplinter is (Milanović, 1981).

In ander omstandighede kan dolomiet ook as waterdraers optree en poreusheid besit, as dit nie aan tektoniese kragte onderwerp is nie. In dié tipe dolomiet is 'n groot hoeveelheid grotte nie ongewoon nie. As dit in kontak kom met nie-karbonaatgesteentes wat geen poreusheid besit nie, is dit die enigste gesteente wat water kan opneem en kan deurlaat.

2.7.2 'Flysch' sediment

Dié sediment verrig 'n spesifieke hidrogeologiese taak in die Dinariese karst. Die sedimente dien gewoonlik as perfekte hidrogeologiese keerbanke. Die rol kan slegs verander as die sedimente op baie vlak dieptes voorkom, dit baie dun is of as dit aan tektoniese aktiwiteite blootgestel is. Die Eoseen sedimente bestaan uit kleisteen, skalie, sandsteen, konglomeraat en lae van dun, gelaagde kalksteen. Die mineraalsamestelling van die plastiese bindingsmateriaal is van so 'n aard dat die eenheid as hidrogeologiese keerbank kan optree, alhoewel dit net 'n paar meter dik is.

Die dominante mineraalsamestelling is soos volg:

34% kalsiet, 20% kaoliniet en 25 tot 30% limoniet. Die diktes van die lae kan wissel van 0,2 tot 10 meter.

2.8 Opsomming

- Karst is 'n baie komplekse geologiese verskynsel wat verband hou met die oplossing van karbonaatgesteentes deur hoofsaaklik water.
- Die klassifikasie en indeling van karst geskied na aanleiding van parameters. Dit wissel dus afhangend van die keuse van die outeur en omgewing waarin dit voorkom.
- Karst is nie beperk tot 'n sekere gesteenteformasie of 'n spesifieke area nie. Dit kom voor in die jongste, sowel as in ou gesteentes.
- Die samestelling van dolomiet en kalksteen hang nou saam met

die onsuiverhede, afsettingsomgewing en minerale teenwoordig.

- Die voorkoms van sekere morfologiese kenmerke is karst-spesifiek, naamlik: Karrens, sinkgate en dolines, droë valleie poljes en ponors.
- Karstifikasie en die oplosbaarheid van karst word deur die volgende faktore beïnvloed: Parsiële druk, pH, temperatuur, druk in die algemeen, versadiging van die oplossing en onsuiverhede teenwoordig.
- Die intensiteit van karstifikasie en oplossingsdiepte van gesteentes wissel van land tot land en kan empiries bepaal word as die nodige parameters ingesamel is.
- In Suid-Afrika is die belangrikste verskynsel wat permeabiliteit in karstgesteentes beïnvloed nate en krake. Drie tipe nate word onderskei: Trekspanningsnate, spanningsverligtingsnate en oppervlakkrake.
- Die verskil tussen die oplosbaarheid van dolomiet en kalksteen, wissel afhangend van die omgewing waarin dit voorkom.
- Na aanleiding van permeabiliteitstoetse wat uitgevoer is, is gevind dat karstifikasie selektief in karst plaasvind. Wisseling van ondeurlatende tot hoogs deurlatende sones kan oor 'n afstand van 10 meter voorkom.
- In meeste dele van die wêreld is sekondêre poreusheid dominant bo primêre poreusheid .
- Dolomiet speel 'n baie belangrike rol in karstgebiede. In sekere gevalle tree dit op as keerbanke of skanse, wat 'n byna ingeperkte waterdraer veroorsaak, terwyl dit in ander gevalle as waterdraers kan optree, met volop nate om water in te vervoer.

3 GRONDWATER IN KARST

3.1 Inleiding

Karstgebiede kan ingedeel word na aanleiding van soortgelyke hidrogeologiese eienskappe. Om dié rede behoort die kennis van hidrogeologiese verskynsels, parameters en eienskappe 'n integrale deel van die komplekse hidrologiese ondersoek uit te maak.

Milanović (1981) lys die volgende basiese hidrologiese kenmerke wat teenwoordig is in meeste karstgebiede:

- a) Reënwater word slegs gedeeltelik teruggehou op die oppervlak by 'n waterskeiding. Die karstterrein word dus gekenmerk deur beperkte lengte van oppervlakstrome wat geneig is om plek-plek totaal te verdwyn.
- b) Die meerderheid oppervlakstrome is tydelik van aard met afwisselende vloei.
- c) 'n Hoë fluktuasie in vloei en aanvulling kan in strome en fonteine waargeneem word.
- d) Tydelike terughouding van water kom voor in ingeperkte karstpoljes wat deur ponorsones gedreineer word.
- e) Sypeling na die ondergrond vind gelyktydig met vloei in rivierkanale van oppervlakstrome plaas.
- f) Sekere dele van riviere word gekenmerk deur 'n vinnige oppervlak-oëenvolging van verskillende hidrologiese toestande: droë rivierbedding, watervloeibane en oorstroomde rivierkanale.

Bogenoemde eienskappe, tesame met sekere spesifieke kenmerke, vorm die hidrologie van karst wat dit van ander nie-karst terreine onderskei.

Volgens Dreybrodt (1988) is daar slegs een algemene eienskap wat karstterreine in gemeen het: die ontwikkeling van ondergrondse dreineringsstelsels as gevolg van karstifikasie. Dus word alle aktiewe fluviale oppervlak dreineringsstelsels op een of ander stadium deur ondergrondse sirkulasie van water vervang.

3.2 Teorië oor grondwatersirkulasie

Grondwatersirkulasie verteenwoordig 'n spesifieke hidrogeologiese kenmerk van karstterreine. Byna alle ondergrond- en oppervlakverskynsels wat in karstgebiede aangetref word, is die gevolg van die teenwoordigheid en sirkulasie van water. Die verhouding wat daar tussen die berging en sirkulasie van water in karst bestaan, is baie kompleks. Om dié rede het alle wetenskaplikes wat karst bestudeer het, hulle eie teorië geformuleer na aanleiding van eie ondervinding. Dié teorië is in baie gevalle teenstrydig.

Die posisie van die erosiebasis speel 'n baie belangrike rol om die rigting van stroming en sirkulasie in die gesteentes te bepaal. Die erosiebasis kan in drie groepe ingedeel word:

- a) **Absolute erosiebasis:** Oseane en see
- b) **Hoof erosiebasis:** Diep riviervalleie en klowe. Dié basisse ontvang water van groot karstterreine.
- c) **Lokale erosiebasis:** Poljes, riviervalleie. Lokale erosiebasisse affekteer klein areas.

Die belangrikste sienings aangaande grondwatersirkulasie word nou bespreek.

3.2.1 1900 - 1949

(i) Alfred Grund (1903) - Dinariese karst

Volgens Grund is daar 'n uniforme, waterdraende horison in karstwaterdraers. Twee verskillende sonas van ondergrondse water word egter onderskei:

- **Stagnante water:** Die water is onbeweeglik aangesien dit in krake en openinge van opgeloste gesteentes in diepte voorkom. Die watervlak van dié sone hel effens in die rigting van die erosiebasis.

- Karstwater: Bokant die stagnante sone is daar 'n sone van bewegende of vloeiende water wat Grund as karstwater beskryf. Die vry oppervlak hel ook in die rigting van 'n uitvloeipunt. Die helling is egter baie groter as bogenoemde helling.

(ii) Friedrich Katzer (1909) - Oostenryk

Hy glo dat vloei van grondwater hoofsaaklik in kanale en openinge voorkom. Volgens Katzer bestaan daar ondergrondse waterkanale, krake en grotte wat op plekke aaneengeskakel is en op ander plekke vertak.

(iii) Jovan Cvijić (1918) - Dinariese karst

Die bekendste indeling is deur Cvijić opgestel. Hy het drie sonas onderskei waarin verskillende sirkulasieprosesse voorkom:

- Droë sone: is direk onder die landoppervlak geleë. Dit word gekenmerk deur 'n groot hoeveelheid droë grotte, kanale en krake waardeur water hoofsaaklik vertikaal, afwaarts na 'n oorgangsona beweeg.
- Oorgangsona : Permanente en periodiese hidrologiese verskynsels kom voor afhangend van die hoeveelheid presipitasie wat voorkom. Grondwater is gekonsentreerd in die sone waar aktiewe vloei plaasvind. Die ontwikkeling van fonteine is 'n kenmerk van die depressies gedurende reënseisoene.
- Die sone wat aanhoudende vloeiende water besit: Dit kom voor onder die vlak van karstdepressies. 'n Groot hoeveelheid water uit die sone vloei in die rigting van die erosiebasis. Waterbeweging word dus vertraag. Sferiodale sirkulasie kom soms voor as gevolg van verspreide krake.

Die drie sonas is nie duidelik afgebaken nie en die posisies daarvan kan wissel. Dit volg die evolusie van die karstproses en -beweging afwaarts. Cvijić se teorie word deur baie navorsers as die naaste aan die werklikheid aanvaar.

(iv) Otto Lehman (1932) - Switzerland

Lehman het tot die gevolgtrekking gekom dat die enigste voorvereiste vir die antwoord van karstprosesse in die teenwoordigheid van gekraakte rotsmassas bo 'n erosiebasis lê. Volgens Lehman kan waterbeweging nie plaasvind as die krakies kleiner as 1mm is nie.

3.2.2 1950 - 1979

(i) D.V. Rizikov (1954)

Rizikov onderskei drie sones met vertikale, horisontale en spuit- of suigende sirkulasie. Volgens hom kom die sones van vertikale en horisontale sirkulasie in die omgewing van maksimum grondwatervlakke voor. Die grens tussen die sone van horisontale en spuitsirkulasie verteenwoordig die basisvlak van erosie. Die algemene rigting van grondwatervloei in die sone van horisontale sirkulasie, is van areas van aanvulling, na areas van uitvloei. Waterbeweging in die sifonale sirkulasiesone vind plaas onder die invloed van hidrostatiese waterdruk.

(ii) Franc Jenko (1959)

Jenko deel karstwater soos volg in:

- Karstwaterdraers
- Verlore rivier: Riviere wat vanaf die oppervlak insink en ondergrondse strome vorm
- Diep kanale: Geleë naby die basis van die erosievlak

(iii) D.S. Sokolov (1962) - Rusland

Sokolov het die vertikale hidro-dinamiese sonering van karstwater ondersoek en dit in vier sones ingedeel, van bo na onder:

- Belugtingsone: Vertikale beweging van perkolerende water

- Sone van seisonale fluktuasie van watervlak
- Sone wat die waterdraende horison bevat en beïnvloed word deur die lokale erosiebasis
- Sone van diep sirkulasie: Beweging van grondwater vind plaas sonder dat die lokale erosiebasis dit beïnvloed

(iv) **Lu Yao-Ju, Tze Hsien-Yi, Chang Shang-Lin, Chao Cheng-Liang en Lin, Fu-Tsan (1972) - China**

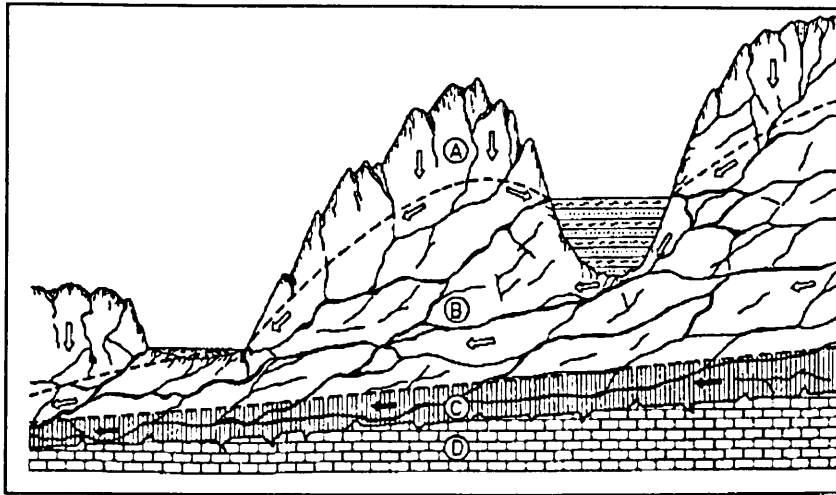
Nadat die karst in China ondersoek is, is daar besluit om die karst in vyf sones in te deel:

- Gebiede waar geïsoleerde en semi-geïsoleerde watervloei in karstwater voorkom
- Waterdraer- en nie-waterdraer-gesteenteliggame
- Ingeperkte en nie-ingeperkte watervloei
- Laminêre en turbulente vloei in dieselfde liggaam
- Homogene waterdraerliggame en gekonsentreerde water'bane'

3.2.3 1980 - hede

(i) **Milanović (1981)**

Milanović het twee tipes watersirkulasie beskryf. Die eerste beskryf die belangrikste sones in 'n gebied waar die absolute erosiebasis (see) voorkom. 'n Effense variasie op die sisteem kan egter toegepas word in gevalle waar 'n belangrike erosiebasis voorkom. Slegs die aangepaste weergawe sal bespreek word aangesien eersgenoemde nie op Suid-Afrika van toepassing is nie. Die bespreking sal na aanleiding van Figuur 3.1 geskied.



Figuur 3.1
Sirkulasie in 'n karst-poljegebied
 (Volgens: Milanovic, 1981)

- Sone (A): Water syfer deur 'n onbeperkte hoeveelheid openinge, krake en kanale en vloei ongeveer vertikaal afwaarts. Gedurende droë periodes kan 'n ondergrondse rivier egter in die sone ontwikkel.
- Sone (B): Die algemene rigting van watervloei en helling van die watervlak hang van die absolute erosiebasis af. Lokale erosiebasisse speel egter ook 'n rol, veral gedurende tye wanneer die grondwatervlak hoog is. As gevolg van die lokale effekte, kan die rigting van die grondwatersirkulasie teenoorgesteld van die regionale rigting van vloei wees.
- Sone (C): Die sone bevat 'n groot hoeveelheid 'gelaagde' water. Aanvulling en uitvloeiing vind vinnig in sone B plaas, teenoor baie stadig in sone C. Water vloei in die rigting van die absolute erosiebasis. Dit vind baie stadig plaas as gevolg van die meer geleidelike gradiënt en verandering in die poreusheid van die waterdraer.
- Sone (D): Dit is die onopgeloste rotsmassa en dien as 'n basale isolator. Die konfigurasie van die karstifikasiebasis, het 'n noemenswaardige invloed op die waterbeweging. Die posisie en mate van verwering kan waterbeweging vertraag of selfs tot stilstand dwing in die onderste deel van sone C.

(ii) Bonacci (1987)

Bonacci het die volgende opmerkings gemaak oor watersirkulasie en het saam met Gunn (1982) gestem oor sekere ander aspekte. Die laterale sirkulasie in karst word geaffekteer deur die volgende meganismes:

- Oppervlakvloei
- Vloei deur 'n laag grond bo die karstgesteentes
- Ondergrondse vloei

Elkeen van die bogenoemde vloeitipes verskil van een situasie tot 'n volgende, afhangend van die grondbedekking, plantegroei en die ontwikkeling van karstprosesse.

- 'n Spesifieke kenmerk van die oppervlakvloei is dat blootgestelde strome opdroog gedurende droë periodes van die jaar.
- Die vinnige en groot ossilasie wat in die watervlak van karst-grondwater voorkom, is 'n verdere uitstaande kenmerk.
- In die algemeen is daar twee tipes van watersirkulasie in karst: Turbulente en diffusievloei. Eergenoemde kom in die boonste deel van die goed ontwikkelde karstarea voor, terwyl diffusievloei in 'n poreuse medium in die onderste laag van karst voorkom waar daar klein nate en kanale voorkom.

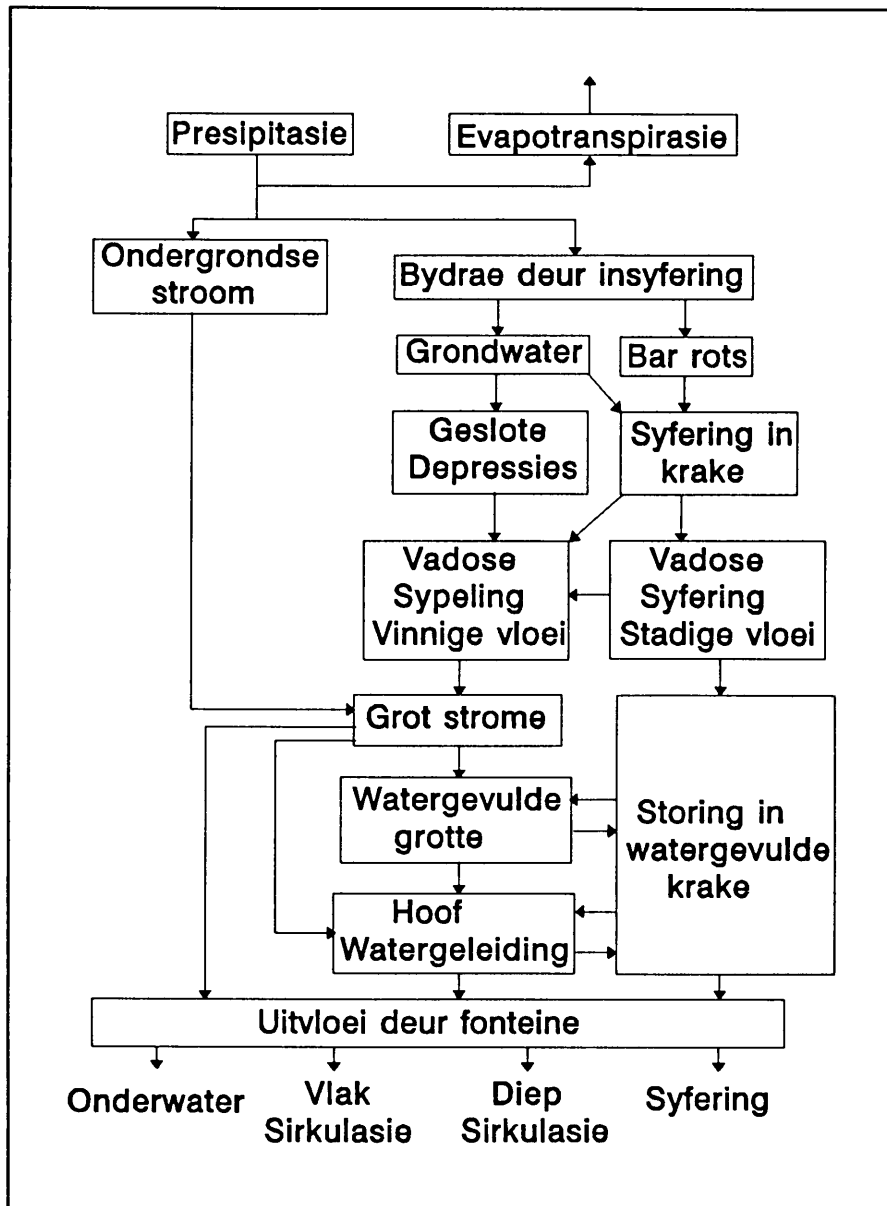
Bonacci erken drie sones van watersirkulasie in karst:

- Vadose-sone: Sone van vertikale sirkulasie, groot nate, waardeur watersirkulasie voorkom. Vertikale vloei na die watervlak vind plaas.
- Stygende watersone: Sone van horisontale watersirkulasie. Die sone word gekenmerk deur die teenwoordigheid van 'n sone waar al die holtes met water gevul is.
- Freatiese sone: Min tot geen waterbeweging vind plaas.

(ii) Dreybrodt (1988)

Dreybrodt deel nie die karstwaterdraer streng in sones in nie, maar gee 'n skematiese voorstelling na aanleiding van Smith, Atkinson en Drew (1976) se werk, wat 'n moontlike roete van water deur 'n tipiese kalksteenwaterdraer aantoon (Figuur 3.2).

Noudat daar na al die outeurs se indelings gekyk is, is daar sekere ooreenkomste wat duidelik na vore kom. Karstwaterdraers kan in drie sones ingedeel word na aanleiding van watersirkulasie:



Figuur 3.2
Vloeidiagram om die vloei deur 'n waterdraer aan te toon
 (Volgens: Smith et al, 1976)

- a) **Vertikale vloei:** As gevolg van groot nate
- b) **Horisontale vloei:** Stadige vloei deur klein krakies. Beweging vind in die rigting van die erosiebasis plaas.
- c) **Freatiese sone:** Min of geen vloei vind plaas nie, aangesien die holtes en openinge van die gesteentes met water gevul is.

3.3 Hidrologiese sones

Die indeling van 'n waterdraer in hidrologiese sones hou verband met die beweging van water in die waterdraer. Afdelings 3.2 en 3.3 is dus nou verwant.

Cvijić (1893) het weereens die baanbrekerwerk gedoen. Dit het gelei tot 'n ander benadering van die sones, maar het basies dieselfde gebly. Hy het die volgende indeling voorgestel:

- Boonste vadose-sone
- Oorgangsones
- Onderste freatiese sone

In 1918 het Cvijić 'n effense variasie aangebring wat Swinnerton (1932, 1942) aangemoedig het om ook werk in die rigting te doen. Hy het die waterdraers ook in drie sones ingedeel na aanleiding van werk wat in Amerika, tussen die Appalagiese en Rotsgebergtes, gedoen is.

- Vadose-sone: Met lug gevul en vertikale dreinerings
- Hoogwatersone: Met lug en water gevul
- Freatiese sone: Sywaartse dreinerings en alle openinge met water gevul

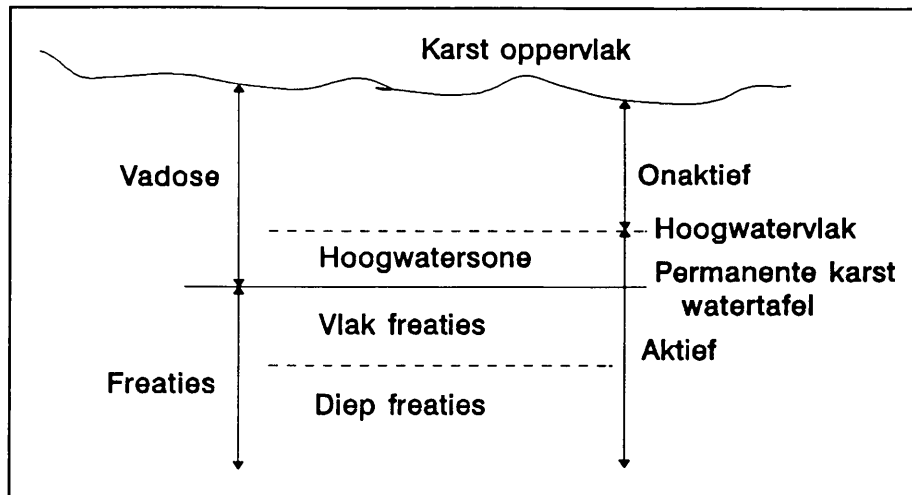
'n Samevoeging van Swinnerton en Cvijić se werk het gelei tot 'n klassifikasie wat reg aan albei skrywers se werk laat geskied het:

- Vadose: Onaktiewe sone
- Vadose: Aktiewe of hoogwatersone
- Freatiese: Aktiewe sone

Figuur 3.3 toon die verskillende karst hidrologiese sones aan.

3.3.1 Vadose-sone

Die vadose sone sluit die onaktiewe gebied wat deur voerkanale deurkruis word, sowel as die hoogwatersone in. Die uitstaande kenmerk van die sone is die teenwoordigheid van lug op 'n permanente of tydelike basis. Die CO₂ inhoud bepaal die ewewig



Figuur 3.3
Karst hidrologiese sones

van CaCO_3 in die water. As die $[\text{CaCO}_3]$ te laag is, word CO_2 deur die gesteentes geabsorbeer en opgelos. As daar 'n oormaat kalksteen teenwoordig is, word CO_2 vrygestel en CaCO_3 slaan neer.

(i) Onaktiewe vadose-sone

Onaktiwiteit in die vadose-sone beteken dat die openinge nie vergroot word deur erosie of korrosie nie. Dit beteken egter nie dat geen verandering plaasvind nie. Druipstene kan gevorm word, biogenetiese sedimente word afgesit en merke vorm as gevolg van kondensasie van water.

(ii) Voerkanale

Voerkanale kom regdeur die onaktiewe sone voor. Hier vloei water afwaarts in die rigting van die karstwaterliggaam of afwaarts na die ontvangskanaal. Water wat ryk in kalk is, kerf in die gesteente in deur middel van erosie. Water, arm aan kalk kerf in deur middel van korrosie as die helling plat is. Verskillende oorgangstadiums kom ook voor.

(iii) Hoogwatersone

Wanneer daar lug in die openinge in die hoogwatersone teenwoordig is, vind vadose-aktiwiteite plaas. Gedurende hoogwater, wanneer die hange met water gevul is, kom slegs freatiese aktiwiteite voor. As die water gedaal het, kom vadose vorms voor. Die lug neem die plek van die water in en stalagtiete word gevorm. Die hoogwater en die daaropvolgende vlak freatiese sone is dié gebiede wat die meeste deur grotvorming beïnvloed word.

3.3.2 Freatiese sone

Die freatische sone is slegs teenwoordig in gebiede waar diep karst voorkom. Dit is meeste van die tyd afwesig in bergagtige gebiede. As karstwaterliggame groot en diep genoeg is, sal 'n vlak, sowel as 'n diep sone teenwoordig wees. Dit is egter nie altyd geldig nie. In Amerika word 20m aanvaar as die gemiddelde dikte van die vlak sone. Die diep freatische sone kan egter strek tot 3000m soos wat die geval is in Kuba (Jiménez, 1976).

3.4 Water in karstwaterdraers

3.4.1 Inleiding

Karst waterdraers is nie-homogene ondergrondse reservoirs waarin water in netwerke van aaneengeskakelde krake, openinge en kanale opgevang word. Die vrywatervlak van die waterdraer is nie 'n goed gedefinieerde aaneenlopende oppervlak nie. Dit besit 'n regionale, sowel as 'n lokale helling. In die algemeen hel die totale waterdraer in die rigting van die erosiebasis, waar dreinerings van die water uit die opvanger plaasvind. Lokaal word die waterdraer gedreineer deur die naaste ondergrondse kanaal met die grootste kapasiteit.

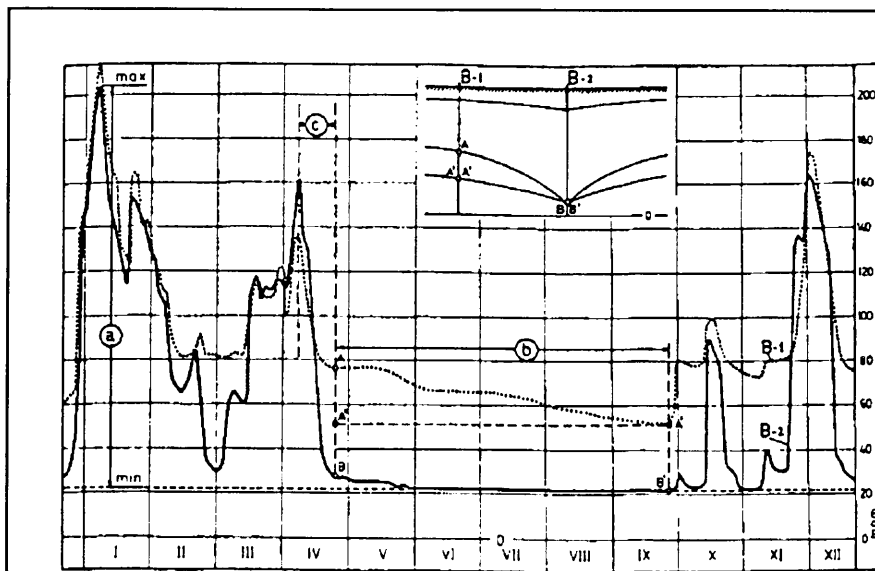
2.4.2 Wisseling van watervlak

Die grootte van karstkanale, hul aaneengeskakeldheid, hoë watervlak gradiënt en die hoë permeabiliteit van oppervlaksones, maak vinnige aanvulling en uitvloei van die waterreservoirs moontlik. Die feit dat die waterdraers so 'n klein totale poreusheid besit en die moontlikheid van sirkulasie so hoog is, veroorsaak 'n vinnige ossilasie van die watervlak van die waterdraer. Die waterdraer reageer baie vinnig nadat reënval voorgekom het, soms meer as 300 mm aanvulling geskied binne 10 - 15 uur, in reënseisoene.

Twee periodes met verskillende ossilasie-kenmerke word onderskei:

- Nat seisoene waar die waterdraer se watervlak 'n aaneenlopende vertikale toename toon.
- In die droë seisoene kom 'n stadige verandering in die waterdraer se watervlak voor. Die watervlak daal in die periode van dreinerings. Dit staan gewoonlik as die resessie of verminderingsperiode van die waterdraer bekend.

'n Tipiese voorbeeld van die wisseling van watervlak, deur 'n hidrograaf gelees, verskyn in Figuur 3.4.



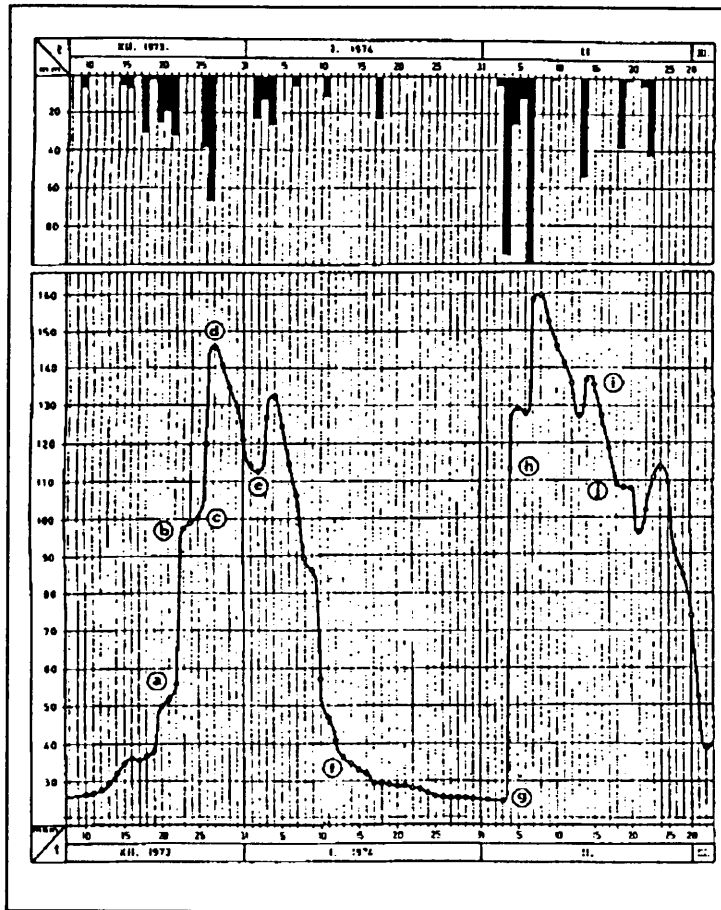
Figuur 3.4

Wisseling in watervlakke binne-in 'n karstwaterdraer
(Volgens: Milanovic, 1981)

Twee boorgate word gemonitor. B-2 is in die waterdraersone geleë waar uitgebreide karstifikasie en sirkulasie plaasvind. B-1 lê buite dié sone, maar nog onder invloed van bewegende water. Op die diagram is die tye van hoë ossilasie (nat seisoene) baie duidelik onderskeibaar van die tye van droë seisoene (C-b). Twee verskillende tye van dreinerings is op die diagram sigbaar. Die steil resessieperiode (c) is die gevolg van vinnige dreinerings van die waterdraer deur middel van karstkanale en grotte. Die tweede deel (b) verteenwoordig stadige dreinerings van die waterdraer deur middel van kroke.

Die watervlak in BG B-2 bereik die minimum punt (B) baie vinnig. Daarna dreineer die boorgat slegs die water weg vanaf BG B-1. Die verskil in hoogte tussen punte B en B' verskil dus baie min. B-1 is in die waterdraersone geleë waar dreinerings uit kroke plaasvind. Daar kan gesien word dat die verskil in punte A en A' baie groot is aan die begin en einde van die droë seisoen.

Sodra reënval weer begin plaasvind, vind vinnige ossilasie plaas. Gedurende tye van vinnige en swaar neerslae kan 'n toename van soveel as 42 meter in 24 uur plaasvind (Figuur 3.5, g-h). Die verskil tussen die maksimum en minimum watervlakke kan baie groot wees. Die grootste ossilasie van die watervlak is in die omgewing van Oos-Herzëgovina waargeneem naamlik 291, 282, 268 en 308m in vier boorgate onderskeidelik (Milanović, 1981).



Figuur 3.5
Wisseling in watervlak
 (Volgens: Milanović, 1981)

3.4.3 Aanvulling van karstwaterdraers

Wat gebeur met water wat op karsthellings val? Volgens Gunn (1982) vind een of meer van die volgende prosesse plaas:

- Daar vind 'n vinnige en groot hoeveelheid infiltrasie in die dagsome en grond plaas.
- Vloei oor die oppervlak vind plaas, sonder dat infiltrasie plaasvind.
- Deurvloeiing - waartydens die water deur die grond vloei en geen bydrae lewer om die waterdraer aan te vul nie

Soms kan net een van bogenoemde toestande voorkom. In kompakte karst waar geen openinge voorkom nie, vind min infiltrasie plaas. Hoe meer intens die reënvlag is en hoe steiler die gradiënt van die oppervlak is, hoe langer vind vloei oor die oppervlak plaas voordat infiltrasie voorkom (Jennings, 1982b).

In grondbedekte gebiede wissel die toestande afhangend van die eienskappe van die residuele materiaal. Baie residuele en vervoerde gronde in karst tree anders op. Aanhoudende logging of verwerking veroorsaak 'n digte, suur, fynkorrelrige grond wat uit klei minerale en yster opgebou is. Die sogenoemde 'terra rossa' benadeel infiltrasie, veral in gebiede waar beweiding deur vee plaasvind of waar plantasies verwyder is; nate word verder geblokkeer en dreinerings word verlaag (Jennings, 1987).

Direkte infiltrasie vind soms plaas deur ponors, valleie of deur middel van diffusie-infiltrasie. As gevolg van mensgemaakte reservoirs in karstgebiede is direkte infiltrasie tot 'n groot mate verminder. Direkte infiltrasie deur ponors is die hoogste as oorstromings in valleie voorkom. Die teenwoordigheid van damme voorkom dat die water die valleie op een slag bereik en voorkom oorstromings.

Burden en Papakis (1963) onderskei twee tipes aanvulling:

- (i) Primêre of normale infiltrasie teenoor
- (ii) Sekondêre infiltrasie waartydens water vanaf karstfontein vinnig oor ondeurlatende gesteentes vloei en weer infiltreer. Volgens sekere outeurs blyk die infiltrasiekapasiteit van oop kanale van 5 tot 10 mm per uur te wees.

Die effek van infiltrasie gedurende droë en nat seisoene is verskillend. Tydens droë seisoene is die aanvulling van die waterdraer baie minder, die watertafel is baie dieper geleë, uitdroging van die waterdraer vind plaas wat soms veroorsaak dat die waterdraer totaal opdroog. Gedurende die tye van uitdroging, vind lugsirkulasie deur die droë kanale plaas. Gedurende die reënseisoene vloei water egter deur dieselfde nate en openinge. Die relatiewe lugvogtigheid in karst kanale is altyd ongeveer 80 persent; dus veroorsaak die lugsirkulasie 'n redelike vogtigheid in die waterdraer sone.

Die plantbedekking in die reënseisoen is baie dig, dus veroorsaak dit 'n toename in die totale oppervlakte waarop reëndruppels val en vind 'n toename in evaporasie plaas. 'n Groot hoeveelheid van die water word deur die plante self opgebruik. Nate en openinge waarin 'terra rossa' voorkom, bevat ook plantwortels tot so diep as 15 meter, waardeur wateropname plaasvind. Hoë lug- en oppervlaktemperatuur van die terreine, verhoog die tempo van evaporasie in droë seisoene. As gevolg van die kombinasie van bogenoemde faktore bereik slegs 'n klein hoeveelheid van die reën die waterdraer in droë seisoene. Gedurende die nat seisoene speel dieselfde faktore 'n baie kleiner rol. In die nat seisoene dien 70 - 90 persent van die presipitasie as aanvulling (Milanović, 1981).

Aanvulling van waterdraers hang dus meer af van die gebied waarop die presipitasie plaasvind as die hoeveelheid neerslag wat voorkom. Dieselfde hoeveelheid water kan in sekere gebiede en gedurende sekere tye baie meer bydra tot die waterdraer as tydens ander tye.

3.4.4 Snelheid van water in karst

Volgens Bögli (1980) kan die volgende formule gebruik word om die gemiddelde vloeitempo V_m te bepaal.

$$V_m = a/t \quad (3.1)$$

a: Afstand van slukgat na fontein

t: Tyd wat dit neem vir die spoorelement of kleurstof vanaf inplasing tot eerste waarneming by fontein

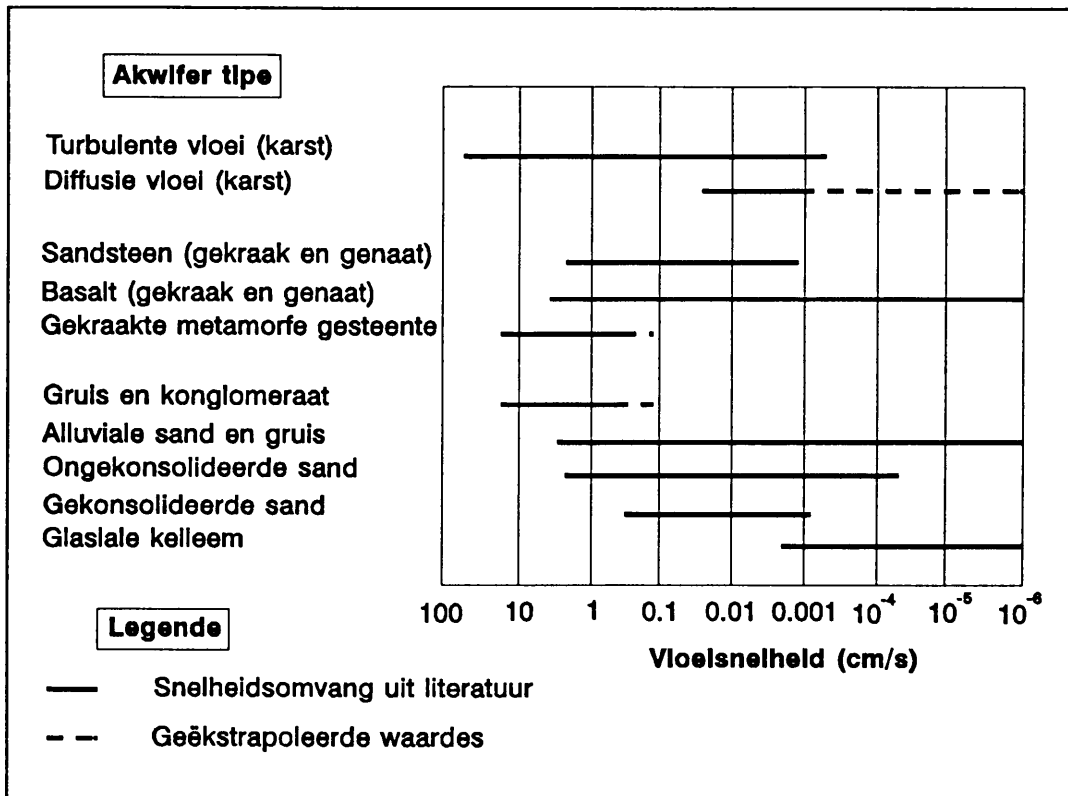
V_m : Gemiddelde vloeitempo

Volgens Prandtl (1969) is $V_{maks} = 1,3V_m$

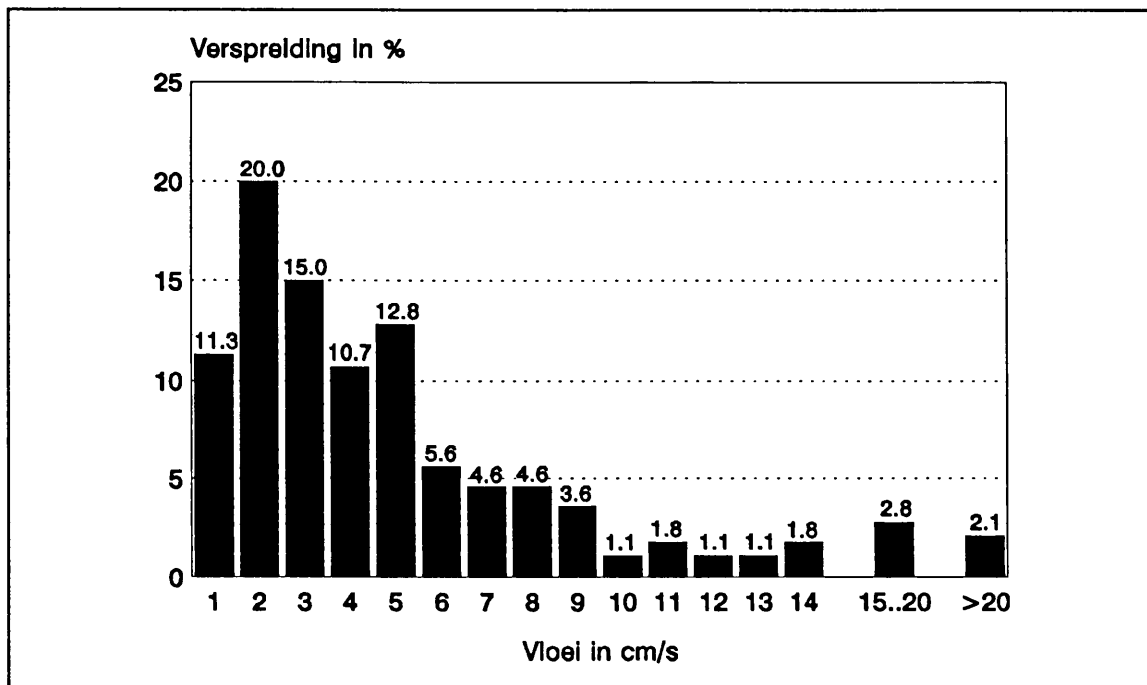
Figuur 3.6 dui die vloeitempo van verskillende sedimente en karst in die VSA aan.

Tot en met 1981 is honderde ondersoeke in die Dinariese karstgebied uitgevoer. Die gemiddelde vloeitempo wissel van 0,002 - 55,2 cm/s. In Figuur 3.7 word 'n histogram gegee wat die algemene vloeisnelhede in die Dinariese karst aantoon. Dit is duidelik dat 'n gemiddelde waarde van karstwatervloei 5 cm/s en kleiner is. Dit is belangrik om te onthou dat die waardes slegs 'n aanduiding gee, aangesien teorie en praktyk nie altyd klop nie.

Ondersoeke het aangetoon dat die karstvloeisnelheid wissel afhangend van die hidrologiese toestande van die oppervlak van die terrein; met ander woorde dit hang van die verandering in die regime van die waterdraer af (Milanović, 1981). Gedurende die droë seisoene as die watervlak laag is, beweeg die water in die waterdraer ook stadiger. Die kleurstoettoetse het aangetoon dat water twee tot drie maal langer neem om 'n soortgelyke roete in die droë seisoene af te lê as gedurende die reënseisoene.



Figuur 3.6
 Vloei tempo deur verskillende gesteentes en sedimente
 (Volgens: The Water Encyclopedia, 1990)



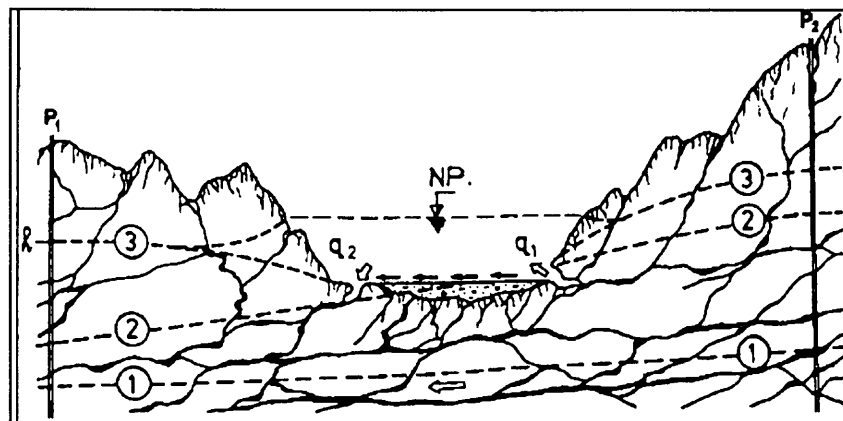
Figuur 3.7
 Die verspreiding van grondwatervloei in die Dinariese karst
 (Volgens: Milanović, 1981)

3.4.5 Verband tussen oppervlak- en grondwater

Die verhouding tussen die oppervlak- en grondwater in karst is baie kompleks. Afhangend van die hidrogeologiese samestelling, hidroliese toestande en karstwaterdraer-evolusie, kan die onderlinge verhouding tussen die oppervlak- en grondwater drasties verskil. Die tydinterval nodig vir oppervlak- en grondwatersirkulasie binne 'n omgewing, hang af van die verhouding tussen die hoeveelheid water wat in die karstgesteente invloei en die wat die karstgesteente weer kan verlaat (Milanović, 1981). Die verhouding hang dus af van die moontlikheid van oppervlak- en ondergrondse sisteme om water weg te voer. Druk, gradiënt en wrywing het ook 'n invloed op die verhouding van die oppervlak- en grondwatersirkulasie.

Gedurende droë seisoene vind die grootste gedeelte van watersirkulasie ondergronds plaas, aangesien meeste fonteine, ponors of ander hidrogeologiese verskynsels onaktief is. Gedurende periodes van hoogwater (reën) begin bogenoemde verskynsels aktief raak en 'n skakel ontstaan tussen oppervlak- en ondergrondse water. Uiteindelik lei dit tot vloeï en oorstroming van poljes.

Figuur 3.8 (Milanović, 1981) dui die verhouding tussen oppervlak- en ondergrondse watersirkulasie aan.



Figuur 3.8
Verhouding tussen oppervlak- en grondwatersirkulasie
(Volgens: Milanović, 1981)

Gedurende die droë seisoene vloeï water onder sone (1) slegs ondergronds. Gedurende nat seisoene vind vinnige styging van die watervlak plaas (2). Solank die totale kapasiteit, q van die fontein kleiner is as q_2 van die ponor, sal geen oorstroming plaasvind nie. As $q_1 > q_2$ vind oorstroming plaas. Die algemene rigting van ondergrondse uitvloeï is in die rigting van die huidige erosiebasisvlak. As uiters hoë watervlakke voorkom (NP), kan dit gebeur dat vloeï teenoorgesteld aan die algemene hellingsrigting van die watervlak is (3).

3.5 Hidrouliese eienskappe

Ondervinding ondersteun die hipotese dat sirkulasie plaasvind deur die sisteem van waterkanale, openinge en reservoirs. Laasgenoemde kan verbind wees deur 'n netwerk van kanale met verskillende deursneeë. Die ruimtelike posisie van die elemente is onbekend en baie moeilik definieërbaar. Volgens Milanović (1981) kan beweging van water deur karstwaterdraers op een van die volgende maniere geskied:

- Filtrasie-sypeling: Hoofsaaklik in die boonste waterdraersone
- Hidrouliese sisteem onder druk;
- Vloei met 'n oop oppervlak; en
- Saamgestelde vloei: gedeeltelik onder druk en gedeeltelik met 'n oop oppervlak.

Aangesien vloei plaasvind in 'n netwerk van aaneengeskakelde sisteme, kan die watervlak as 'n piesometriese lyn voorgestel word vir 'n gegewe profiel. Die lyn is geneig om in die rigting waarin vloei plaasvind te hel, aangesien waterdruk nodig is om vloei te laat plaasvind en wrywing te oorkom. Die drukverlies wat tussen twee punte van vloei ontstaan kan deur middel van watervlaklesings bereken word. Die helling van die piesometriese lyn kan baie wissel en verander soms met skielike spronge as gevolg van verskillende geometrië en weerstand teen vloei in karst kanale en krake. Afhangend van die geometrie van die lokale dreineerkanaal, kan verandering van die algemene helling van die waterdraer bereken word (Milanović, 1981).

3.6 Hidrologiese verskynsels in karstomgewings

Tydlike en permanente fonteine, oppervlakstrome, ponors, estavelles en onderwater fonteine speel almal 'n rol in die hidrogeologie en hidrologiese eienskappe van karstomgewings. Al die verskynsels hou verband met die hidrogeologiese eienskappe en hidrologiese bestuur van water in 'n area.

3.6.1 Fonteine

Karstfonteine is wateruitlate vanuit karst hidrologies aktiewe openinge in wateroplosbare gesteentes, of hulle op die oppervlak of daaronder (grotfonteine) geleë is. Karstfonteine kom wydverspreid in karstomgewings voor. Die meeste belangrike fonteine is geleë in die omtrek van die erosiebasis, dit is op die grens van karst- poljes, riviervalleie, of die kus. In die algemeen hang die kapasiteit en hidrologiese eienskappe van die karstfonteine van sekere faktore af:

opvanggebied, waterterughou vermoë van die waterdraer, totale effektiewe poreusheid en geologiese samestelling (Milanović, 1981).

Bögli (1980) het die volgende klassifikasie vir karstfonteine voorgestel. Hy het dit in drie basiese groepe ingedeel:

(i) Klassifikasie op grond van uitvloei

- Permanente fonteine
- Periodiese fonteine
- Ritmies-vloeiende fonteine as gevolg van getyskommeling
- Episodiese fonteine

(ii) Klassifikasie op grond van geologie en tektoniese toestande

- Gelaagde fonteine:
 - Kontakfontein waar 'n ondeurlatende laag deur 'n deurlatende laag oorlê word.
 - Fonteine op laagvlakke in 'n deurlatende gesteente
- Openingfonteine: Op oop nate
- Oorvloefonteine: Dreineer 'n freatiese sone met 'n ondeurlatende basis wat in 'n berg in wegsink.
- Dalende fonteine: As uitvloei hoog is
 - dalende fonteine wat die freatiese sone langs oop nate dreineer.
 - alluviale karstfonteine wat die freatiese sone oor 'n vallei dreineer.

(iii) Klassifikasie op grond van die oorsprong van die water

- 'Emergence' (Verskyn): Groot fonteine met geen aanduiding van die oorsprong van die water nie
- 'Resurgence' (Herverskyn): Herverskyning van 'n stroom op die oppervlakte
- 'Exsurgence': Syferwater wat uitvloei

Daar is ook ander tipe fonteine wat nie inpas by enige van die bogenoemde groepe nie. Dit sluit in onderwaterfonteine (vruljas) wat onder mere en die see uitvloei en grotfonteine wat ondergronds in openinge uitvloei.

(iv) Permanente karstwateromgewing:

'n Spesifieke eienskap van die karstomgewing is die afwesigheid van oppervlakstroomsisteme. Geen oppervlakstroomvloei vir die totale area kom voor nie. As permanente riviere wel in die area voorkom, dien dit as die laagste en belangrikse erosiebasis vir die omliggende omgewing.

(v) Afwisselende vloei:

Riviere wat tydelik vloei, word slegs gedurende periodes van swaar neerslag gevorm. In die droë seisoen is die rivierbedding oor sy totale lengte droog.

Riviere waarin 'n kombinasie van aanhoudende en afwisselende vloei voorkom, speel 'n belangrike rol in die hidrologie van karst. Dit besit baie selde 'n direkte oppervlakverbinding met die absolute basisvlak van erosie. As daar egter wel 'n verbinding bestaan, kan water totaal en al wegvloei en die rivier kan opdroog op een spesifieke plek waar water in die grond in wegloop (ponor).

3.6.2 Ponors (Slukgate)

Ponors is openinge in die karstmassageesteente waarin water ondergronds sink. Nadat naatsisteme, verskuiwings en laagvlakke op die oppervlak verskyn het, vergroot die openinge as gevolg van die meganiese en chemiese aksie van water. Water kan dan vrylik daarin wegloop.

Ponors word in vier basiese groepe ingedeel na aanleiding van die oppervlakvoorkoms (Milanović, 1981):

- (i) Groot grot of jamas
- (ii) Groot krake en klein kamers
- (iii) Smal nate
- (iv) Alluviale ponors

Die belangrikste onderverdeling vanuit 'n hidrologiese oogpunt is hul aanvullingskapasiteit. In die algemeen stem dit ooreen met

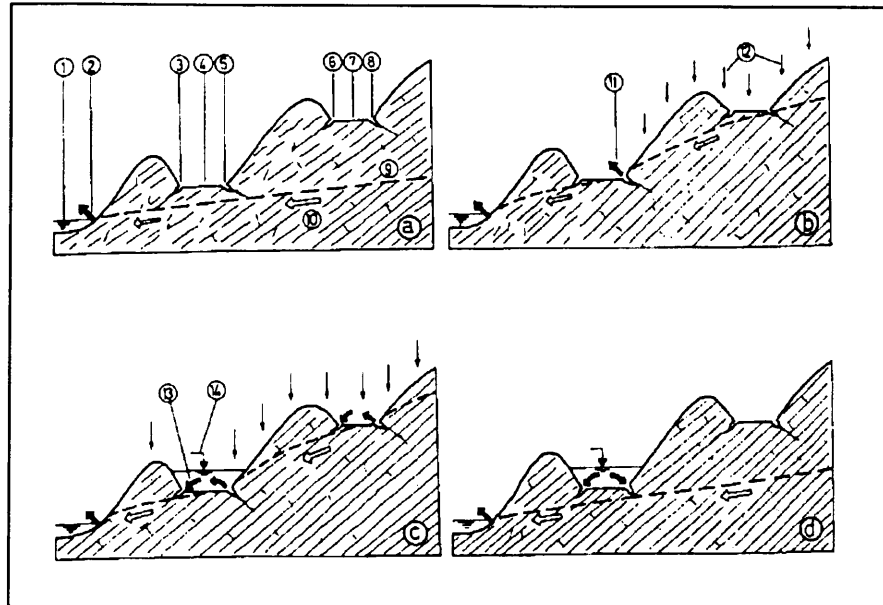
bogenoemde indeling waartydens (i) die hoogste en (iv) die laagste aanvulling van die ondergrondse water veroorsaak. Dit kan egter gebeur dat die aanvulling tydelik opdroog.

Bogenoemde vier groepe se aanvulling kan as volg beskryf word:

- (i) **Aanvulling van $> 1 \text{ m}^3/\text{sek}$**
- Direkte verbinding bestaan tussen die oppervlak- en ondergrondse dreineringsisteme
 - Algemeen geleë langs karst-poljes en langs rivierwalle van tydelik en permanente riviere
- (ii) **Aanvulling van 10 liter - $1 \text{ m}^3/\text{sek}$**
- Kom voor langs rivieroewers van afwisselende riviere
 - Dit bestaan gewoonlik uit vergrote krake of openinge wat deur rotsblokke gevul word.
- (iii) Die groep bestaan uit sisteme met **smal krake** en kom in afwisselende riviere of op die helling van karst-poljes voor. Dit kan nie gedurende droogte tye geïdentifiseer word nie, aangesien dit nie van die omgewing uitgeken kan word nie.
- (iv) **Alluviale ponors** is 'n baie algemene karstverskynsel in alluviale afsettings wat poljes bedek, sowel as in droë valleie en sinkgate. Hulle is gewoonlik tregtervormig wat van baie klein (2cm) tot baie groot (20m) deursnee kan wissel. Die verskynsel is baie soortgelyk aan sinkgate.

3.6.3 Estevelles

Estevelles is 'n verskynsel wat 'n tweeledige doel kan dien. Afhangend van die posisie van die grondwatervlak en hidrologiese kenmerke van die omgewing, kan 'n estevelle optree as 'n afwisselende fontein of as 'n ponor (Figuur 3.9).



Figuur 3.9
Die werking van estevalles
 (Volgens: Milanović, 1981)

Toestande voorgestel Figuur 3.9 a is droog. Die watervlak (9) is baie laag sodat slegs een fontein onder die see uitvloeï (2). Gedurende die reënseisoen (Figuur 3.9 b) styg die grondwatervlak sodat 'n fontein by (11) ontstaan. Met aanhoudende reën ontstaan afwisselende fonteine op die hoë erosiebasis (Figuur 3.9 c(8)). Op dieselfde stadium word die ponor (6) geaktiveer en die vloei na die onderste erosiebasis (4) neem toe. Aangesien die ponor by (3) nie al die water kan wegvoer nie, word nie polje oorvloei (14). Solank as die grondwatervlak hoër of gelyk met die landoppervlak is, tree die estevelle op as 'n fontein. As die watervlak egter daal as gevolg van daling in presipitasie (d) tree die estevelle op as 'n ponor. Die estevelle tree op as 'n ponor totdat daar geen water meer oor is vir aanvulling nie.

Twee groepe estevalles word onderskei: Dié wat hoofsaaklik as fonteine funksioneer en dié wat as fonteine en ponors optree. Groep 1 tree as 'n fontein op en vir 'n kort tydperk in die finale stadium as 'n ponor. Groep 2 tree aanvanklik op as ponor en fontein. Hulle funksioneer slegs gedurende swaar neerslag en vir kort periodes. Die periode waar daar as fontein opgetree word is egter baie kort.

3.7 Gevolgtrekkings

- Een van die belangrikste eienskappe wat karstgebiede onderskei van ander, is die vorming van ondergrondse kanale en die vloei van water daarin.

- Verskeie outeurs het karst ingedeel na aanleiding van waterbeweging. 'n Algemene indeling geskied op grond van die teenwoordigheid van of vertikale of horisontale waterbeweging.
- Twee basiese hidrologiese sones word onderskei naamlik die Vadose en Freatiese sones, wat verder onderverdeel word.
- Drastiese variasie van die watervlak geskied gedurende tye van hoë presipitasie. As gevolg van die feit dat kanale redelik groot is, vind wegvloeiing ook redelik vinnig plaas.
- Plantegroei, presipitasie sowel as evapotranspirasie beïnvloed die hoeveelheid infiltrasie wat plaasvind.
- Die vloeisnelheid verminder drasties gedurende die droë seisoen.
- Die verhouding tussen die oppervlak- en ondergrondse watersirkulasie, gaan hand aan hand met met die seisoene. Gedurende die reënseisoen vind daar voordurende sirkulasie tussen die twee areas plaas, terwyl byna geen verbinding tussen die oppervlak en grondwater in die droë seisoene bestaan nie.
- Die hidrologies-geassosieerde verskynsels wat in karstgebiede voorkom, kan as volg ingedeel word:
 - a) Fonteine: Ingedeel na aanleiding van uitvloei, geologiese en tektoniese verskynsels
 - b) Ponors: Ingedeel na aanleiding van aanvullingskapasiteit
 - c) Estevelles: Ingedeel na aanleiding van watervloei-richting

4 KWALITEIT EN BESOEDELING VAN KARSTGRONDWATER

4.1 Inleiding

Met die term karstgrondwater word daar verwys na grondwater waarvan die fisiese en chemiese eienskappe deur interaksie met karbonaatgesteentes beïnvloed is. Besoedeling in karst, sowel as nie-karstgesteentes is 'n baie komplekse en ingewikkelde probleem. Om hierdie rede kan daar nie 'n enkele definisie daaraan gekoppel word nie. Whitehead en Lack (1982) het die volgende definisie daargestel:

'Any modification either natural or artificial, which, directly or indirectly changes the water and disturbs or destroys die balance of ecosystems and natural resources...'

'n Korter definisie word deur Fried (1975) daargestel:

'... a modification of the physical, chemical and biological properties of water, restricting its use in the various applications where it normally plays a part.'

Todd (1980) se definisie is kort, dog verstaanbaar:

'Ground water pollution can be defined as the artificial deterioration of naturally occurring ground water quality.'

4.2 Chemie van karst grondwater

4.2.1 Natuurlike kwaliteit

Die geochemie van natuurlike grondwater word beheer deur die verspreiding en beweeglikheid van chemiese komponente, op of onder the oppervlak, en die interaksie daarvan met die atmosfeer, litosfeer, hidrosfeer en biosfeer. Die kwaliteit van natuurlike grondwater hang van die mineralogiese samestelling van die waterdraer, asook die invloed van die mens af.

Tydens die beweging van water deur die waterdraer, verander die samestelling daarvan geleidelik as gevolg van gesteentes wat oplos en onderlinge chemiese reaksies van soliedes, vloeistowwe en gasse wat met mekaar in aanraking kom. Hierdie reaksies veroorsaak veranderings in geochemiese parameters, soos byvoorbeeld pH, Eh, ioniese sterkte wat aanleiding gee tot mikro prosesse. Hierdie stelling is veral waar vir sisteme waarin maklik-oplosbare gesteentes, soos karbonaat, voorkom.

Voordat die omvang en bron van besoedeling bepaal kan word, moet die agtergrond waterkwaliteit eers bepaal word. Waardes bo hierdie vlak word gesien as water wat deur eksterne parameters verander is.

Die natuurlike konsentrasie van die spesifieke elemente in karbonaatomgewings is nie voor die hand liggend nie en hang van die volgende faktore af:

- Verandering in die chemie van die bronomgewing
- Fisiese en chemiese toestande gedurende verwerking, vervoer en afsetting
- Diagenese
- Die chemie en beweging van grondwater

Addisionele faktore wat die situasie verder kompliseer en kan lei tot veranderings in parameters is die korrelgrootte, mineraalsamestelling en organiese bestanddele van die karbonaatgesteentes.

Karbonaatminerale word gewoonlik nie gesien as reinigingsagente vir swaarmetale (Mn, Zn en Pb) nie, as gevolg van die soorgelyke ioon-radius daarvan en dié van die Ca^{2+} ioon. Verder is die surplus metaalbesoedelaars in die watersisteem in 'n onstabiele toestand teenwoordig en word dit nie in die kristalstruktuur van die mineraal opgeneem nie (Forstner, Calmano en Schoer, 1982).

Swaarmetaalabsorpsie deur karbonaatgesteentes word deur baie navorsers betwyfel. Inligting wat onlangs aan die lig gekom het, kan egter antwoorde verskaf. Dit wil voorkom asof oppervlakenergie van karbonaatminerale voldoende is om

kleiminerale soos kaoliniet op te neem (Suess, 1973). Data ingesamel deur Prohic en Kniewald (1987) tesame met ander, dui daarop dat minerale soos Zn, Mn en Pb op dieselfde manier in die karbonaatmineraal opgeneem kan word.

Hierdie aanname geld vir elemente met ioon radii soortgelyk aan die van die Ca^{2+} ioon. Vir elemente waarvan die ioon-radius grootliks verskil van die Ca^{2+} ioon en wat steeds met die karbonaatgesteentes assosieer, moet addisionele meganismes egter nog ondersoek word (Prohic en Kniewald, 1987).

Onder normale atmosferiese toestande ($\text{pCO}_2 = 350$ dpm), sal water wat met dolomiet in aanraking kom, Ca en Mg vlakke van tot 20 mg/l bevat. As die sisteem egter geslote is, sal Ca en Mg vlakke minder as 5 mg/l wees. Die pH in geslote sisteme is ook merkbaar hoër as in oop sisteme (Hem, 1986). Water wat deur CO_2 ryke grond moes filtreer om in kontak met die dolomiet in 'n oop sisteem te kom, sal Ca en Mg waardes van ongeveer 60 mg/l bevat.

4.2.2 Prosesse wat die chemie van grondwater beïnvloed

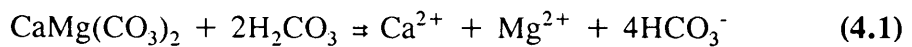
As daar gekyk word na die grondwater in areas wat geheel en al deur karbonaatgesteentes beslaan word, is die belangrikste prosesse wat die chemiese kwaliteit van die grondwater bepaal die volgende (Langmuir, 1984):

- a) Die samestelling van reënwater wat grondwater aanvul.
- b) Evapotranspirasie-verliese van reënwater en vlakgrondwater.
- c) Die suurheid en graad van onderversadiging van grondwateraanvullers asook grondwater wat met karbonaatgesteentes in aanraking is.
- d) Die beskikbaarheid en oplosbaarheid van karbonaat- en geassosieerde gesteentes.
- e) Tempo van oplossing van die gesteentes en die kontaktyd daarvan met die grondwater.

- f) Hidrouliese prosesse soos verdunning deur skoon grondwateraanvullers en vermenging met ander grondwater.
- g) Menslike prosesse wat voorkom, soos byvoorbeeld grondwaterbesoedeling deur vloeibare afval of logingsprodukte vanaf afvalterreine.

Slegs die laaste twee prosesse word gewoonlik as degraderend op die grondwater beskou.

Uit die voorafgaande bespreking kom dit duidelik na vore dat die oplossing van karstgesteentes, dolomiet in besonder, 'n belangrike rol speel in die finale karstgrondwater kwaliteit. Die oplossing van dolomiet word deur die volgende vergelyking beskryf:



Waar opgeloste CO_2 voorgestel word as H_2CO_3

Suiwer kalksteen en dolomiet is skaars in die natuur en karbonaatgesteentes bevat redelike hoeveelhede van onoplosbare residu. Dié residu bestaan hoofsaaklik uit kleiminerale, Fe en Mn oksiedes en wisselende hoeveelhede organiese dele en sulfiedes, byvoorbeeld piriet. Alhoewel die nie-karbonaat deel van kalksteen en dolomiet selde 5 - 10 persent van die totale rotsmassa oorskry, kan dit tog 'n rol speel om spoorelemente te bind (Prohic, 1989).

Oor die algemeen is die gevaarlikste organiese bestanddele in grondwater, dié wat relatief oplosbaar, nie-vlugtig en nie-degradeerbaar is nie. Meeste organiese bestanddele is giftig en kan maklik afgeskei word gedurende oksidasie van organiese stowwe.

Die presipitasie van swaarmetale soos Zn, Ni, en Co, tesame met piriet, kom baie algemeen in karbonaatgesteentes voor. Piriet kom gewoonlik fynverspreid voor en kan dus beskou word as 'n belangrike agent waar die akkumulاسie en vrystelling van metale in karbonaatgesteentes voorkom. Dit speel ook 'n belangrike rol in die beheer van die pH in die sisteem. Die oksidasie van die sulfied in die piriet na sulfaat (wat kan plaasvind as piriet aan lug blootgestel word) veroorsaak 'n vrystelling van opgeloste Fe^{++} en gevolglik verhoog die suurgehalte van die water. Verdere oksidasie van die

Fe^{++} na $FeOH$, veroorsaak die verdere vrystelling van suur in die water. Dus kan die suurgraad van die water, direk in verband gebring word met die hoeveelheid piriet teenwoordig in die sisteem (Stumm en Morgan, 1981).

Aangesien daar soveel verskillende faktore voorkom wat 'n rol speel in die chemiese kwaliteit van karstgrondwater, is dit onmoontlik om spesifieke waardes aan die verskillende parameters toe te ken. Elke omgewing se water, in elke land of streek verskil, afhangend van bogenoemde faktore.

4.3 Kwesbaarheid van grondwaterdraers

4.3.1 Algemene kwesbaarheid

Nie alle menslike aktiwiteite hou dieselfde gevaar in vir besoedeling van grondwaterbronne nie en verskillende omgewings reageer verskillend op besoedeling. As daar gekyk word na die kwesbaarheid van 'n waterdraer, word die sensitiwiteit van verskillende dele van die waterdraer ondersoek, om op dié wyse vas te stel tot hoe 'n mate besoedelaars van buite die waterdraer, dit negatief beïnvloed.

Geohidroloë ondersoek normaalweg die meganismes, eienskappe en prosesse wat in die versadigde sone, dit is onder die grondwatervlak, plaasvind. Die onversadigde sone is egter net so belangrik, aangesien dit 'n belangrike rol speel om grondwater op verskillende wyses van besoedelaars te beskerm. Die sone word meesal deur ingenieursgeoloë ondersoek.

Die kwesbaarheid van 'n waterdraer kan onderverdeel word in twee semi-afhanklike komponente (Reynders, 1991):

- a) Die toeganklikheid van besoedelaars tot die versadigde sone en
- b) die verdunningskapasiteit van die onversadigde sone, as gevolg van die fisiese en chemiese retensie of reaksie van die besoedelaars.

(i) **Toeganklikheid tot die versadigde sone**

Volgens Reynders (1991) speel die volgende faktore 'n belangrike rol om die toeganklikheid tot die versadigde sone te bepaal:

a) **Permeabiliteit van die onversadigde sone**

Infiltrasie-eienskappe van die formasies naby aan die oppervlak, sowel as die deklaagmateriale speel 'n belangrike rol. Daar kan nie alleen op klei staat gemaak word om die indringing van besoedelaars na die waterdraer te keer nie, veral nie as die formasie dun is nie. Alhoewel hoogs deurlatende sedimente en genate gesteentes wel tot 'n mindere mate weerstand kan bied teen besoedeling deur middel van verdunning en absorpsie, word genate karstwaterdraers as uiters kwesbaar beskou, aangesien groot konsentrasies besoedelaars vinnig horisontaal sowel as vertikaal daardeur kan beweeg.

b) **Dikte van die onversadigde sone**

Die tyd wat dit vir 'n besoedelaar neem om van die grondoppervlak na die waterdraer te beweeg, is direk afhanklik van die dikte van die onversadigde sone. Hoe dikker die sone, hoe groter is die kans dat verdunning van die besoedelaar sal plaasvind.

c) **Eienskappe en tipe waterdraer**

Die ondeurlatende sone, wat die waterdraer oorkê, kan wissel in dikte van 'n paar sentimeters tot honderde meters. As die deklaag baie dik is, kan die waterdraer nie normaalweg deur middel van infiltrasie van oppervlakwater besoedel word nie, maar besoedeling kan wel plaasvind as gevolg van laterale beweging van besoedelaars vanaf die aanvullingsone. Die risiko vir

besoedeling is gewoonlik die hoogste waar vlak waterdraers voorkom.

d) Grondwatervlakwisseling

'n Wisseling in die grondwatervlak lei tot versnelde uitloging van besoedelaars, teenwoordig in die boonste lae. Die kwesbaarheid word verhoog en die kans dat besoedelaars die dieperliggende dele van die waterdraer sal bereik, neem toe.

(ii) Verdunningskapasiteit

Die onversadigde sone tree op as die eerste natuurlike linie teen grondwaterbesoedeling. Dit is nie alleen weens die feit dat dit tussen die oppervlak en die grondwatervlak geleë is nie, maar dit verskaf ook 'n gunstige omgewing waar verdunning en afbreking van die besoedelaars kan plaasvind. Die drie prosesse wat die grootste invloed het, is fisies, chemies en biologies van aard:

a) Fisiese prosesse

Besoedelde water wat die grond binnedring kan verdun word gedurende infiltrasie van reënwater. Onopgeloste materiale sal gedurende die infiltrasie uitfiltreer word. Verdere vermenging vind plaas in die onversadigde sone, gevolg deur verdunning in die versadigde sone, waartydens besoedelde water met onbesoedelde water vermeng. Gedurende die beweging van vog deur die onversadigde sone, kan absorpsie ook plaasvind. Verdamping van vlugtige bestanddele en gasse vind in die onversadigde sone plaas (Dept. van Waterwese en Bosbou en WNK, 1991).

b) Chemiese prosesse

Die chemiese prosesse wat verdunning van besoedeling onder die oppervlak veroorsaak, sluit absorpsie, presipitasie, oksidasie, reduksie en hidroliese in. Meeste van die prosesse vind in die onversadigde, sowel as in die versadigde sone plaas.

Absorpsie dui op die verwydering van 'n chemiese stof uit 'n oplossing deur vasvangende daarvan in die grond of in die waterdraer self.

Ioonvervanging is 'n ander belangrike proses waar die besoedelaar in oplossing, vervang word deur 'n ioon wat voorheen in die waterdraermateriaal teenwoordig was. In die geval van sommige swaarmetale, is oksidasie gevolg deur presipitasie, 'n belangrike vervangingsproses.

Gesamentlike presipitasie, waartydens swaarmetale saam met skadelose bestanddele soos kalsiumkarbonaat neerslaan, speel 'n belangrike rol in die verdunningsproses.

Vir die oplossing van sekere organiese besoedelaars, is **hidroliese** 'n belangrike afbrekingsproses. Hidroliese verwys na die reaksie van die bestanddeel met water.

c) **Biologiese prosesse**

Biologiese prosesse verwys na die aktiwiteite van mikro-organismes in die onversadigde sone. In die geval van meeste van die organiese besoedelaars, is bakteriologiese oksidasie in die onversadigde sone, die belangrikste proses om sodoende verdunning daarvan te verseker. Mikro-organismes speel egter ook 'n belangrike rol om reeds besoedelde water te suiwer. Soos die water die reduserende omgewing binnedring, word ione soos nitraat, sulfaat en uiteindelik karbonaat afgebreek na stikstof, sulfied en metaan onderskeidelik.

As water eers geïnfiltreer het na die ondergrond, neig chemiese en biologiese prosesse om baie stadiger plaas te vind as wat die geval op die oppervlak is. Dit hou verband met vloei van water wat 1 000 tot 100 000 keer vinniger op die oppervlak plaasvind as wat ondergronds die geval is.

4.3.2 Kwesbaarheid van karbonaatgesteentes

Noudat die prosesse wat besoedeling beheer en beïnvloed bespreek is, sal karbonaatomgewings spesifiek ondersoek word.

Karbonaatreineringsgebiede besit sekere spesifieke eienskappe, wat dit uiters sensitief maak vir besoedeling. In die algemeen kan gesê word dat die moontlikheid van besoedeling baie hoog is in karstgebiede, veral om die volgende redes (Prohic, 1989):

- a) In baie gebiede is die grondbedekking bo die rots baie dun, of selfs afwesig, wat die gevolg het dat swak filtrering, verdunning en vinnige deurvloei van oppervlaktwater na die grondwater plaasvind.
- b) Daar is prakties geen fynkorrelrige waterdraers teenwoordig nie. Dit het die gevolg dat selfsuiwering van water wat deur meganiese prosesse plaasvind, baie onwaarskynlik is.
- c) Die openinge in die waterdraers is groot, en laat toe dat water teen 'n redelike hoë snelheid daardeur vloei. Besoedelde water kan dus net so maklik en vinnig van die invloeiopunt tot by die uitvloeiopunt beweeg. Die tyd is gewoonlik nie voldoende sodat biologiese selfheling kan plaasvind nie.
- d) As gevolg van die frekwensie, hoeveelheid en alomteenwoordigheid van nate en verbindings daartussen, kan besoedeling veral vanaf die oppervlak, maklik plaasvind (Herak, 1972).

'n Bykomende faktor is dat natuurlike depressies, wat algemeen in karstterreine voorkom, handig te pas kom as afvalputte gesoek word. Daar is talle voorbeelde van dolines en sinkgate wat vir dié doel aangewend word.

4.4 Besoedeling van grondwater

4.4.1 Meganisme van grondwaterbesoedeling

Meeste insidente van grondwaterbesoedeling vind plaas as gevolg van bestanddele wat op of net onder die oppervlak vrygelaat word. Gevolglik word vlak grondwater eerste deur besoedelaars geaffekteer. Volgens Barcelona, Keely, Pettyjohn en Wehrmann (1988) vind grondwaterbesoedeling volgens een van die volgende meganismes plaas:

- Infiltrasie
- Direkte migrasie
- Vanaf 'n ander aangrensende waterdraer
- Aanvulling vanaf oppervlakwater

a) Infiltrasie

Besoedeling deur middel van infiltrasie is waarskynlik die mees algemene grondwater besoedelingsmeganisme. Grondwater wat ontstaan as gevolg van aanvulling vanaf reënval, of water wat uit damme lek, het die vermoë om materiaal waarmee dit in kontak kom, op te los. Water wat afwaarts sypel deur 'n besoedelde sone, kan besoedelaars oplos en logingstowwe vorm. As die versadigde sone bereik word, kan die besoedelaars vertikaal of horisontaal beweeg, afhangend van die grondwatervloeirigting.

b) Direkte migrasie

Besoedelaars kan direk in die grondwater inbeweeg vanaf 'n ondergrondse bron (pype of tenks) wat in die versadigde sone geleë is. Die tipe besoedeling is veral algemeen in gebiede waar afvalstortingsterreine en mynbou plaasvind.

c) Besoedeling vanaf 'n aangrensende waterdraer

Besoedelde grondwater kan maklik meng met onbesoedelde grondwater. Dit gebeur dikwels as 'n boorgat, wat meer as een waterdraende formasie penetreer, nie deeglik afgeseël word nie. Daardeur vind vertikale beweging vanaf 'n besoedelde waterdraer na 'n onbesoedelde formasie plaas.

d) Aanvulling vanaf oppervlakwater

Besoedelde oppervlakwater, veral vanaf wegsinkende strome of as gevolg van 'n hidrouliese gradiënt wat ontstaan as 'n boorgat aangrensend aan 'n stroom gepomp word, kan lei tot die besoedeling van aangrensende grondwaterbronne. Dié tipe besoedeling is die hoofmeganisme van besoedeling in die dolomietformasies, waar strome optree as lynbronne van besoedeling.

4.4.2 Grondwaterbronne

As daar in ag geneem word hoeveel chemiese komponente bekend is (meer as 3 miljoen), is die hoeveelheid chemiese stowwe wat as besoedelaars gereken word, relatief klein. Volgens Hutzinger, Tulp en Litko (1977) is die belangrikste vrae wat elke omgewingswetenskaplike moet vra, die volgende: 'Wat maak 'n chemiese komponent 'n besoedelaar; watter eienskap maak dat sommige chemiese stowwe ware of potensiële gevaar inhou vir die omgewing, en ander nie?'

Verskillende outeurs deel besoedelaars in verskillende groepe in, na aanleiding van bron, oorsaak en gevolg. Fried (1975) beskou die volgende vier groepe as hoofbesoedelaars van water:

- a) Industriële en mynbou-aktiwiteite
- b) Huishoudelik
- c) Landbou
- d) Omgewing

Industriële en mynbouafval word na die waterdraer vervoer deur middel van:

- Gebruikte water wat chemiese komponente en spoorelemente bevat en wat deur middel van infiltrasie die waterdraer bereik ('Acid Mine Drainage')
- Loging van water uit afval- of bergingshope by myne
- Sypeling wat vanaf slikdamme afkomstig is
- Ongelukke, waartydens byvoorbeeld pype breek
- 'n Groot hoeveelheid industrieë maak van verdampingsdamme gebruik om op dié wyse van oortollige vloeistof ontslae te raak. Besoedeling vanaf die damme is gewoonlik as gevolg van infiltrasie of oorloop van die damme.

Die tipe van besoedeling kan plaasvind tydens 'n eenmalige proses (eenmalige vrylating) wat 'n reaksie van die publiek uitlok, of 'n stadige aanhoudende proses waartydens besoedeling oor 'n lang tydperk plaasvind en verrykende gevolge kan hê.

Besoedeling vanaf **huishoudelike** afval geskied as gevolg van:

- Reënwater wat deur afvalterreine loog
- Ongelukke, as 'n septiese tenk breek

Die **landbousektor** is een van die hoofgebruikers van grondwater in die land (Dept van Waterwese en Bosbou en WNK, 1991). Die volgende aktiwiteit word geassosieer met Landboubedrywigheede en hou 'n gevaar in vir grondwaterbesoedeling:

- Die plaas van droë riool (slyk) op lande is 'n relatiewe laekoste-kunsmis en kan gevaar inhou vir grondwater as voordurende loging daardeur plaasvind.
- Die potensiaal vir besoedeling in die omgewing van voerkampe is baie hoog. In Suid-Afrika is die spesifieke

bron egter nog nie in detail ondersoek nie en kan slegs afleidings gemaak word deur na soortgelyke situasies in ander dele van die wêreld te kyk.

- Die toediening van kunsmisstowwe vir landbougewasse veroorsaak 'n styging in nitrate, fosfate, kalium en spoorelemente in die omgewing. Deur die jare is daar egter baie aandag geskenk aan die probleem en nuwe stowwe is op die mark beskikbaar.
- Die gebruik van gifstowwe om insekplae te beheer kan ernstige probleme veroorsaak as die afloop daarvan ná toediening nie beheer word nie.

Omgewingsbesoedeling is hoofsaaklik die gevolg van seewater wat vars kuswaterdraers binnedring.

Meeste van bogenoemde bronne kan beskou word as algemene besoedelaars van grondwater, maar die gevolg daarvan in karbonaatgebiede is gewoonlik baie meer problematies as wat die geval in ander terreine is.

Na aanleiding van die invloed en gevolg, kan besoedelaars van karbonaatgrondwater soos volg ingedeel word (Prohic, 1989):

- a) Besoedelingsbronne wat geen of baie min invloed op karbonaatgrondwater se kwaliteit het
- b) Besoedelingsbronne wat dieselfde besoedelingspotensiaal besit, vir alle waterdraers
- c) Besoedelingsbronne wat hoofsaaklik in die omgewing van karbonaatgesteentes en dus karbonaatgrondwater teenwoordig is.

Inplasing van radio-aktiewe vloeistof in diep boorgate kan onder **groep a** geplaas word, aangesien die tipe afval nie in karst geplaas word nie, as gevolg van die chemiese en fisiese eienskappe daarvan.

Meeste besoedelingsbronne behoort tot **groep b**. Dit sluit byvoorbeeld sanitêre afval of afvalstortingsterreine op land, sowel as landbou en stormwater in. Eersgenoemde is ongelukkig baie algemeen in veral karbonaatomgewings, wettig of onwettig. Volgens Freeze en Cherry (1979), word 90 persent van industriële afval wat as gevaarlik beskou word, in die grond geplaas. Die logingsprodukt vanaf dié stortingsterreine bevat groot hoeveelhede organiese sowel as anorganiese besoedelaars wat grondwater op 'n later stadium bereik.

Natuurlike depressies kom baie algemeen voor in karstterreine en word in baie gevalle vir onwettige storting gebruik. Brozicevic (1986) bespreek die probleem van onwettige storting van afval in karstdepressies in die Dinariese karst in Joego-Slawië. Smith en Atkinson (1974), sowel as ander outeurs, het reeds vroeër as 1979 gewaarsku oor die gevaar wat storting van afval in karstdepressies kan inhou, maar tot vandag toe is die belangrikste besoedelingsbron in karstgebiede die stort van huishoudelike afval in karstdepressies.

In **groep c** word die besoedelingsbronne ingesluit waarvan die moontlikheid groot is dat dit hoofsaaklik of amper uitsluitlik in karstterreine sal voorkom. In Amerika is die beste voorbeeld die intrusie van varswater deur seewater.

Die belangrikste aktiwiteite wat besoedeling kan veroorsaak is hier genoem. Daar is egter bronne wat 'n lokale invloed op die grondwaterkwaliteit kan hê en dit moet deurentyd in gedagte gehou word.

4.5 Grondwatergehaltebestuur

Die mens is van nature 'n vernietigende wese. Die stelling is veral waar as daar oor water gepraat word. Faulkner (1976) beweer, dat waar daar snelgroeiende bevolking en industrieë in karstareas voorkom, die probleem nie die kwantiteit van die water is nie, maar die kwaliteit.

Turk (1975) wys daarop dat alhoewel die mens meeste van die tyd 'n negatiewe invloed op die omgewing het, sy invloed tog ook positief kan bydra om die omgewing en veral water te beskerm. Die omgewingswetenskaplikes verval in die gewoonte om oplossing vir veral besoedelingsprobleme te probeer

vind, terwyl dit baie makliker sal wees om nou navorsing te doen en stappe te neem om probleme in die toekoms te vermy.

Aangesien toenemende stedelike ontwikkeling plaasvind het Turk (1975) voorgestel dat die volgende studiemetode gevolg moet word voordat stedelike ontwikkeling plaasvind:

- Bepaal die omvang en grootte van moontlike probleme wat kan ontstaan
- Onderzoek en maak voorstellings aangaande die lokale hidrogeologie
- Voorspel veranderinge wat in die waterkwaliteit kan voorkom

Die volgende metodes is voorgestel om die omgewingsimpak te verminder (Turk, 1975):

- Dui sensitiewe waterkwaliteitsareas aan en beperk ontwikkeling in die gebiede
- Onderneem stedelike ontwikkeling in fases en ontwikkel die nie-sensitiewe areas eerste
- Installeer moniteringsisteme vir oppervlak sowel as grondwater
- Behandel afvalwater
- Bestuur die vaste afval deur dit veilig te stoor
- Beheer toevallige vrylating van afval
- Beheer stormwaterkwaliteit ten opsigte van bakterië
- Beperk die gebruik van kunsmisstowwe en insekdoders
- Ontwikkel instandhouding- en konstruksiestandaarde

Om 'n suksesvolle grondwaterbeskermingsprogram te ontwikkel moet die volgende komponente ondersoek word:

a) Hidrogeologie

Basiese inligting moet ingesamel word om sodoende parameters soos die lewering, kwesbaarheid, bruikbaarheid en algemene kwaliteit van die waterdraer te bepaal.

b) Waterkwaliteit

Deur die kwaliteit van die waterdraer te ondersoek kan agtergrondkennis ingewin word en moontlike bronne van besoedeling, asook potensiele probleemareas geïdentifiseer word.

c) Wateronttrekking en -gebruik

Die gedeelte van die ondersoek is veral belangrik in droë dele van die land waar die aftrekking van die watertafel, verlaging in die kwaliteit kan veroorsaak.

d) Potensiële besoedelingsbronne

On die grondwaterkwaliteit te beskerm, is dit nodig om die tipe, hoeveelheid en posisie van potensiële besoedelingsbronne te indentifiseer. Aangesien sommige bestanddele 'n groter bydrae lewer om die grondwater te besoedel is dit nodig om die eienskappe van dié bestanddele deeglik te ondersoek en gebruik daarvan te reguleer.

e) Bevolkingsgetalle en watergebruik

Daling of styging in die populasie asook industrieë en landgebruik is 'n belangrike element wat ondersoek moet word as die grondwaterkwaliteit beheer moet word. Die inligting kan gebruik word om die potensiële impak op waterdraers vas te stel.

4.6 Drinkwaterspesifikasies

Tot en met 1989, is waterkwaliteit in Suid-Afrika beheer na aanleiding van eenvormige uitvloeiwatstandaarde. Ten spyte hiervan het die kwaliteit van Suid-Afrikaanse waterbronne toenemend verswak. Om hierdie verswakking teen te werk, het die Departement van Waterwese en Bosbou in 1991 'n volledige waterkwaliteitbeheerstrategie geïmplimenteer. Dit is gedoen om

besoedeling te beheer en die land se waterbronne vir toekomstige gebruik te beskerm.

Die volledige waterkwaliteitbeheerbenadering sluit die volgende aksies in (Dept van Waterwese en Bosbou, 1993):

- a) Die daarstelling van 'n duidelik uiteengesette funksionele beheerentiteit, soos 'n dam, rivier of 'n opvanggebied
- b) Die ontwikkeling van waterkwaliteitdoelstellings
- c) Toepassing en uitvoering van die beheerstrategie
- d) Beraming van die impak wat die beheerstrategie op die watergebruikers sal hê
- e) Beheer van die sisteem om te verseker dat die waterkwaliteitstandaarde nagekom word

In Tabel 4.1 word die algemeen aanvaarde standaarde en spesifikasies vir Suid-Afrikaanse toestande opgesom. Die SABS (1984) spesifikasies en die voorgestelde drinkwatergehalte kriteria van die Departement van Gesondheid en Bevolkingsontwikkeling (Aucamp en Viviers, 1990) word weergegee.

In 'n dokument pas vrygestel deur die Departement Waterwese en Bosbou (1993) word die waterkwaliteite vir huishoudelike gebruik duidelik uiteengesit. In die dokument word die voorgestelde spesifikasies van ander lande, sowel as outeurs in Suid-Afrika genoem. 'n Verdere 3 volumes is beskikbaar wat die kwaliteite spesifiseer vir water vir gebruik in:

- Rekreasie
- Nywerhede
- Landboukunde

TABEL 4.1
DRINKWATER SPESIFIKASIES IN SUID-AFRIKA

Water Kwaliteit Veranderlike	Eenheid	SABS SPESIFIKASIES (1984)		AUCAMP EN VIVIERS (1990)		
		Aanbevole grens	Maks toelaatbare grens	Maks grens vir geen risiko	Maks grens vir onbeduidende risiko	Maks grens vir lae risiko
Fisiese en Organoleptiese Veranderlikes						
Kleur	mg/l Pt	NG	NG	20	-	-
Geleiding	mS/m (20°C)	70	300	70	300	400
Opgeloste Organiese Koolstof	mg/l	NG	NG	5	10	20
Opgeloste Suurstof	% Versadiging	NG	NG	70	30	10
Reuk	TON (*)	NG	NG	1	5	10
pH	pH eenhede	6,0 - 9,0	5,5 - 9,5	6,0 - 9,0	5,5 - 9,5	>4 of <11
Smaak	TTN (*)	NG	NG	1	5	10
Temperatuur	°C	NG	NG	< 25	< 30	< 40
Troebelrigheid	NTU (*)	1	5	1	5	10
Mikrobiologies						
Standaard Plaatjie Telling	Telling/lml	100	NG	< 100	1 000	10 000
Totale Kolivorme	Telling/100ml	0	5	0	5	100
Fekale Kolivorme	Telling/100ml	0	0	0	1	10
<i>Clostridium perfringens</i>	Telling/100ml	NG	NG	0	1	10
Kolifages	Telling/100ml	NG	NG	0	10	100
Enteriese virusse	TCID ₅₀ /10l (*)	NG	NG	0	1	10
Makro Veranderlikes						
Alluminium	mg/l Al	NG	NG	0,15	0,5	1,0
Ammoniak	mg/l N	6	10	1,0	2,0	4,0
Barium	mg/l Ba	NG	NG	0,5	1,0	2,0
Broom	mg/l Br	NG	NG	1,0	3,0	6,0
Chloor	mg/l Cl	250	600	250	600	1 200
Flouried	mg/l F	1,0	5,0	1,0	1,5	3,0
Hardheid	mg/l CaCO ₃	20 - 300	650	20 - 300	650	1 300
Jodium	mg/l I	NG	NG	0,5	1,0	2,0
Kalium	mg/l K	NG	NG	200	400	800
Kalsium	mg/l Ca	NG	NG	150	200	400
Koper	mg/l Cu	0,5	1,0	0,5	1,0	2,0

Water Kwaliteit Veranderlike	Eenheid	SABS SPESIFIKASIES (1984)		AUCAMP EN VIVIERS (1990)		
		Aanbevole grens	Maks toelaatbare grens	Maks grens vir geen risiko	Maks grens vir onbeduidende risiko	Maks grens vir lae risiko
Litium	mg/l Li	NG	NG	2,5	5,0	10
Magnesium	mg/l Mg	70	100	70	100	200
Mangaan	mg/l Mn	0,05	1,0	0,05	1,0	2,0
Natrium	mg/l Na	100	450	100	400	800
Nitraat	mg/l N	6	10	6,0	10	20
Sink	mg/l Zn	1	5	1	5	10
Sulfaat	mg/l SO ₄ ²⁻	200	600	200	600	1 200
Uraan	mg/l U	NG	NG	1	4	8
Yster	mg/l Fe	0,1	1,0	0,1	1,0	2,0
Mikro Veranderlikes						
Antimoon	µg/l Sb	NG	NG	50	100	200
Arseen	µg/l As	100	300	100	300	600
Berillium	µg/l Be	NG	NG	2	5	10
Bismut	µg/l Bi	NG	NG	250	500	1 000
Chroom	µg/l Cr	NG	NG	100	200	400
Goud	µg/l Au	NG	NG	2	5	10
Kadmium	µg/l Cd	NG	NG	10	20	40
Kwik	µg/l Hg	5	10	5	10	20
Lood	µg/l Pb	50	100	50	100	200
Molibdeen	µg/l Mo	NG	NG	50	100	200
Nikkel	µg/l Ni	NG	NG	250	500	1 000
Seleen	µg/l Se	20	50	20	50	100
Silver	µg/l Ag	NG	NG	20	50	100
Sianied	µg/l CN ⁻	200	300	200	300	600
Tin	µg/l Sn	NG	NG	100	200	400
Titaan	µg/l Ti	NG	NG	100	500	1 000
Vanadium	µg/l V	NG	NG	250	500	1 000
Wolfram	µg/l W	NG	NG	100	500	1 000

TON: 'Threshold Odour Number'
 TTN: 'Threshold Taste Number'
 NTU: Nephelouretic Turbidity Units
 TCID₅₀/10l: 'Dose of Virus Required to cause 50% Infection in Tissue Culture'
 mg/l: Milligram per liter
 µg/l: Mikrogram per liter
 NG: Nie Gespesifiseer

4.7 Kwaliteit en besoedeling van karstgrondwater in Suid-Afrika

Afdeling 4.2 het gehandel oor die chemiese eienskappe van karstgrondwater as geen besoedeling plaasgevind het nie. Ongelukkig is daar min sulke areas en meeste gebiede is deur een of ander eksterne faktor beïnvloed en die waterkwaliteit het verswak.

Twee analyses van onbesoedelde PWV dolomitiese water word in Tabel 4.2 weergegee. Die monsters is tiperend van ou en jong water. Baie van die ouer onbesoedelde monsters in die PWV gebied bevat Ca en Mg vlakke hoër as 20 mg/l, wat aandui dat dit afkomstig is vanaf 'n CO₂ verrykte oop sisteem.

Onder leiding van Levin, van der Merwe en Walton (1993) is 'n aantal ontledings van die grondwater in die PWV gebied uitgevoer, om sodoende vas te stel in hoe verre besoedeling reeds in die dolomiet plaasgevind het. Tydens die aanvanklike statistiese ondersoek (verslag No GEA 947) is daar hoofsaaklik gekyk na die geleiding, nitraat-, sulfaat- en chloriedverandering wat reeds in die dolomiet waargeneem is. Uit die studie kon afgelei word dat uitgebreide nitraat- en sulfaatbesoedeling in die PWV gebied voorkom.

Vier verskillende populasies van sulfaatwaardes is onderskei en die verskillende gemiddelde waardes dui daarop dat sulfaatbesoedeling wydverspreid voorkom en dat dit vanaf 'n verskeidenheid bronne afkomstig is. In die geval van nitraat, dui die waardes ook op besoedeling vanaf 'n verskeidenheid van bronne, wat landbou-aktiwiteite of rioolwerke kan insluit.

Uit die studie kon afgelei word dat 'n verskeidenheid van potensieel hoë-lewerings-waterkompartemente in die dolomietgebied besoedel word. Die areas wat definitiewe tekens van besoedeling getoon het, sluit die volgende in:

Kompartement	Ligging
• Fonteine Oos	
• Alwynskop/Laudium	Naby Pretoria
• Wes Doornkloof	
• Midrand - Kempton Park	
• Rietvlei	Natalspruit
• Bapsfontein	Oos Rand - Daveyton
• Zwartkrans	Krugersdorp
• Zuurbekom	Zuurbekom area
• Dele van die Kliprivier gebied	

Voorafgaande sowel as latere werk is deur die personeel van die Departement Waterwese en Bosbou uitgevoer om die probleem te ondersoek. Monsters van omtrent elke bestaande kompartement is oor die jare ontleed en in elkeen van die kompartemente is tekens van besoedeling aangetref.

TABEL 4.2
OU EN JONG DOLOMITIESE-WATERONTLEDINGS
 (Volgens Geldenhuis en Howard 1988)

Parameter: (In mg/l behalwe pH)	Jong dol water	Ou dol water
pH:	6,9	7,4
TDS:	85	221
Totale CaCO ₃ :	52	131
Ca:	10	27
Mg:	6	17
Na:	2	3
SO ₄ :	0	1,2
Cl:	0,4	4
NO ₃ :	0,3	1,8

Tabel 4.3 dui die gemiddelde van 'n aantal grondwaterontledings aan.

TABEL 4.3
TDS BESOEDILING IN KARSTGRONDWATER

Kompartement	Totale Opgeloste Stowwe (mg/l)			Aantal Resultate	Verwysing
	Gemiddeld	Minimum	Maksimum		
Tarlton	459	157	779	19	Kühn, 1988
Oberholzer	540	430	629	7	Fleisher, 1981
Pretoria	212	110	288	6	Hobbs, 1988
Gemsbokfontein	460	76	2265	35	SRK, CI 4043
Steenkoppie	470	38	992	11	Fleisher, 1981
Zuurbekom	200	19	644	63	SRK, CI 4043
Turffontein	1605	45	4890	67	Fleisher, 1981

Alhoewel Tabel 4.3 slegs die TDS waardes weergee, kan besoedeling ook waargeneem word in die NO₃, SO₄ en bakteriologiese waardes van die water.

Vir toekomstige gebruik moet daar gekyk word na die opstelling van kwaliteitstandaarde wat gebaseer is op die resulterende waterkwaliteit van die waterdraer wat die water ontvang. Die standaard moet die volume en hoeveelheid van die besoedelaar sowel as die hidrogeologiese eienskappe van die waterdraer in ag neem (Geldenhuis en Howard, 1988).

Vanuit 'n besoedelingsoogpunt is dit jammer dat die grootste gedeelte van die PWV gebied se industrieë op, of naby dolomietgebiede geleë is. Om hierdie rede is dit onvermydelik dat besoedeling van die kompartemente sal plaasvind. Myne, geleë in die Wes-Rand, veroorsaak 'n groot hoeveelheid afvalprodukte wat 'n negatiewe invloed het op die karstgrondwater in die gebied. Net so veroorsaak die onbeheerde vrylaat van riool in die Oos-Rand dat dolomietgrondwaterkompartemente besoedel word.

Die invloed wat die besoedeling het, moet noukeurig gemonitor word. Met die bestaande kennis van die probleem, is dit duidelik dat spesiale aandag geskenk moet word aan die plasing van nuwe industriële gebiede, mynaktiwiteite en stedelike behuising, om sodoede besoedeling tot 'n minimum te beperk.

As gevolg van die moeilikheidsgraad, onsekerheid van sukses en kostes verbonde aan die behandeling van besoedelde dolomietwaterdraers, moet aanvaar word dat voorkoming van die besoedelingsprobleem die mees effektiewe benadering is.

Sommige van die kompartemente is egter tot so 'n mate besoedel, dat onomkeerbare skade reeds aangerig is en dat helende maatreëls nie ekonomies regverdig kan word nie. Waar herstellende aksies egter wel kan plaasvind, is die eerste stap om die besoedelingsbron te verwyder, gevolg deur die plasing van onderskeppende boorgate, aanvullingsisteme en Bentoniet afsluitslote tesame met verdunning deur bestaande, of ander bronne van goeie kwaliteit grondwater (Geldenhuis en Howard, 1988).

4.8 Gevolgtrekkings

- Met karstgrondwater word verwys na water waarvan die samestelling, chemiese en fisiese eienskappe en toestand as gevolg van interaksie met karbonaatgesteentes ontstaan het.
- Waterbesoedeling in karst, sowel as in nie-karstgebiede is 'n baie komplekse probleem.
- Die toeganklikheid van besoedelaars tot die versadigde sone en die verdunningskapasiteit van die onversadigde sone is die twee belangrikste eienskappe wat grondwaterbesoedeling beheer.
- Infiltrasie, direkte migrasie, aanvulling vanaf 'n aangrensende waterdraer of vanaf oppervlakwater, is die vier meganismes waarvolgens besoedelaars na die grondwater vervoer word.
- Prohic (1989) asook ander outeurs beweer dat die karstgesteentes aansienlik meer kwesbaar vir besoedeling is as wat die geval in ander geologiese omgewings is.

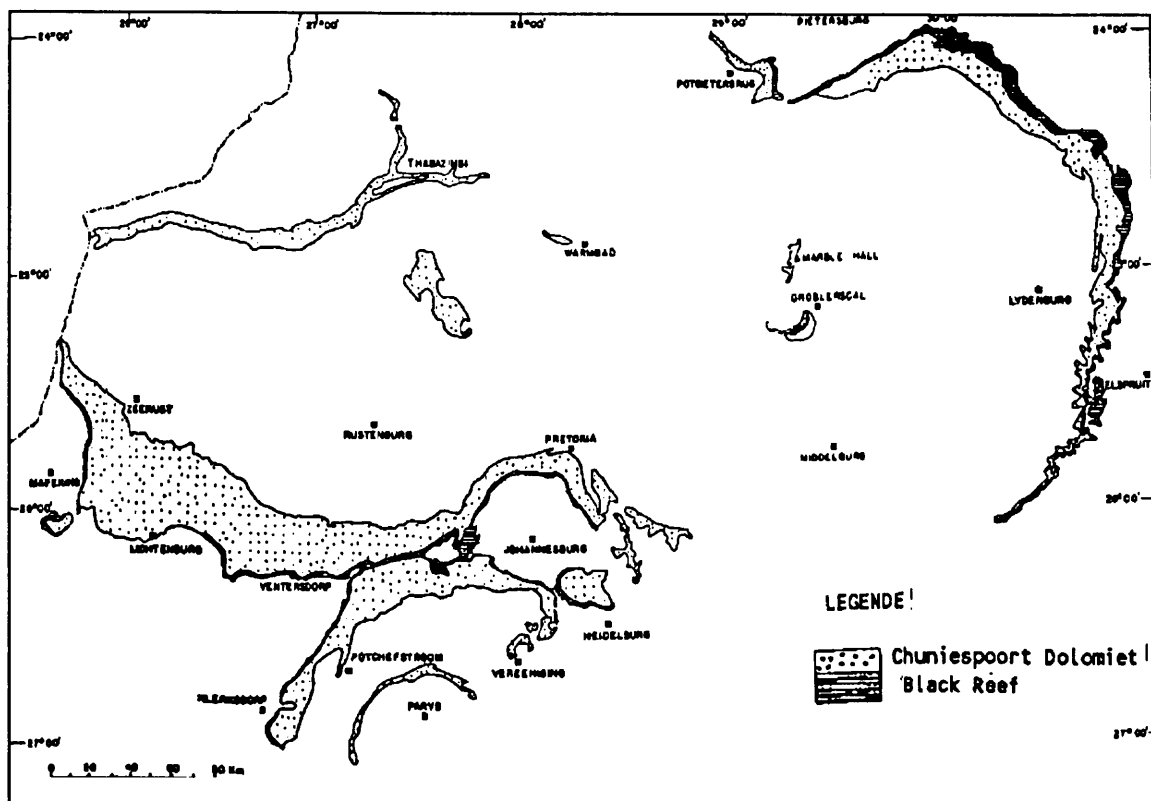
- 'n Groot verskeidenheid besoedelingsbronne is geïdentifiseer wat insluit myne, industrieë, vaste afvalstortingsterreine, sowel as indringings deur soutwater by die kus.
- Water uit meeste van die bekende dolomietwaterdraers is ontleed en dit het aan die lig gekom dat besoedeling in almal teenwoordig is. Dit wil verder voorkom asof industrieë in die PWV gebied, myne aan die Verre Wes-Rand en onbeheerde dorpsgebiede in die Oos-Rand 'n bydrae hiertoe lewer.
- Die feit dat die grondbedekking so dun, soms totaal afwesig, en grofkorrelrig is, voorkom dat filtrering en selfheling kan plaasvind.
- Oplossingskrake en -nate wat ontstaan as gevolg van karstifikasie, laat toe dat besoedelde water die waterdraer vinnig kan binnedring en onomkeerbare skade kan aanrig.
- Spesifikasies wat die kwaliteit van drinkwater, asook water vir ander gebruike spesifiseer, is belangrik om sodoende kwaliteitbeheer toe te kan pas.
- As die prosesse wat die chemie van die water beïnvloed egter ondersoek word, kan besoedeling tot 'n groot mate verminder word.
- In Suid-Afrika het die SABS aanvanklik die eerste riglyne daargestel, maar die Departement van Waterwese is tans besig met 'n uitgebreide opstelling van riglyne vir die kwaliteit van drinkwater, asook vir ander gebruike.
- Die mens se invloed op grondwater en die omgewing in die algemeen, is oorwegend negatief. 'n Meer positiewe tendens is egter besig om te ontwikkel waarin die mens meer betrokke en bewus raak van die omgewing en die bewaring daarvan. Deur grondwatergehaltebeheer toe te pas, kan grondwaterbronne bewaar word vir die toekoms.

5 DOLOMIETGEBIEDE IN TRANSVAAL

5.1 Geologie

5.1.1 Verspreiding en litostratigrafie

Die dolomietstrata van prekambriese ouderdom (2200 - 2500 miljoen jaar oud) beslaan 'n gebied van oor die 29 000 km² in Transvaal en die Noord-Kaap (Figuur 5.1). 'n Gebied van 14 000 km² of 5 persent van die Transvaal word deur dolomitiese gesteentes bedek (Vegter, 1984). Die gesteentes staan bekend as die Malmani Subgroep van die Chuniespoort Groep, Transvaal Opeenvolging.



Figuur 5.1
Ligging van karstgesteentes in Transvaal
(Volgens: Buttrick, 1992)

In die Pretoria-Witwatersrand-Vereeniging (PWV) gebied word slegs vier formasies van die Chuniespoort Groep aangetref, naamlik die Oaktree, Monte Christo, Lyttelton en Eccles. Die Frisco Formasie is afwesig in die PWV area en die Pretoria Groep sedimente rus

konkordant op die dolomiet van die Eccles Formasie. Volgens Van Schalkwyk (1981) bestaan sowat 20 persent van die grondoppervlak van die PWV gebied uit dagsome van die Chuniespoort Groep. Die struktuur van die gesteentes is grootliks beïnvloed deur die aangrensende Bosveld Stollingskompleks en die Potchefstroom Sinklinorium.

Die vier formasies is gesamentlik sowat 1430 meter dik en word geïdentifiseer op grond van die teenwoordigheid of afwesigheid van tussengelaagde chert wat voorkom. Die Oaktree en Lyttelton Formasies is chertarm, terwyl die Eccles en Monte Christo Formasies chertryk is. Die litostratigrafiese indeling van die gesteentes verskyn in Figuur 5.2.

Die **Oaktree** Formasie vorm die onderste deel van die vier formasies wat in die PWV gebied aangetref word. Dit is ongeveer 200 meter dik en bestaan uit donkerkleurige chertvrye dolomiet met 'n skalielaag van 16 tot 30 meter dik, bokant die basis (SACS, 1980). Die formasie hel teen ongeveer 5 - 10 grade na die noorde en word onderlê deur die Swartrif Formasie (Schöning, 1990).

Die **Monte Christo** Formasie bedek die Oaktree Formasie konkordant en bevat hoofsaaklik chertryke dolomiet. Die formasie is lig van kleur en bevat oöliete aan die basis. Die gemiddelde dikte word as 700 meter geskat, wat dit die dikste van die formasies maak. Herkristallasie word op verskillende plekke aangetref wat gewoonlik met siënetintrusies verband hou.

Die **Lyttelton** Formasie is ongeveer 150 meter dik en bestaan uit buitengewone suiwer, donkerkleurige dolomiet. Tot 30 meter lange stromatoliete word in die formasie aangetref (Schöning, 1990).

Die dolomiet van die **Eccles** Formasie is chertryk met groot en klein stromatoliete onder en riffelmerke wat hoërliggend in die formasie voorkom. Die chertinhoud neem toe hoe hoër daar op in die formasie van 400 meter beweeg word. Die chert kom dikwels voor as afsonderlike lae wat meer bestand is teen vertering en kan lei tot die ontstaan van grotte.

GROEP	FORMASIE	LITOLOGIE	DIKTE (m)
PRETORIA	↑		
CHUNIESPOORT	ECCLES	Chert-ryke dolomiet met groot en klein stromatoliete	380
	LYTTELTON	Donker chertvrye dolomiet met groot verlengde stromatoliete	150
	MONTE CRISTO	Ligte her-gekrystaliseerde dolomiet met volop chert; stromatoliete; oölities aan die onderkant	700
	OAKTREE	Dolomiet, word donkerderopwaards; sjokolade kleurige verwerking	200
	SWARTRIF KWARTSIET	Skalle Kwartsiet Grintsteen	25-30

Figuur 5.2
Litostratigrafiese indeling

5.1.2 Tektoniese verskynsels

Duidelike **plooiing en verskuiwings** kom regdeur die Transvaal dolomiet voor. Van Eeden (1972), het die gebeurtenisse wat aanleiding gegee het tot die strukture in drie siklusse ingedeel. Die tektoniese gebeurtenisse word gekenmerk deurdat dit plooiing, skeuring, verskuiwing en glyding van die gesteentes veroorsaak het. Die drie gebeurtenisse kan soos volg ingedeel word:

- (i) Plooiing en verskuiwing het gepaard gegaan met inplasing van die Bosveld Kompleks \pm 2000 mj gelede.
- (ii) Plooiing en verskuiwing gedurende die Pilansberg fase, 1300 - 1400 mj gelede.
- (iii) Latere beweging wat geassosieer word met opheffing.

Twee **strukturele elemente**, die Vredefort koepel en die Ottosdal-Bethallyn het, voordat dit opgehef is, die samedrukking van die Transvaal Opeenvolging daartussen veroorsaak.

Gange van verskillende ouderdomme kom deurgaans in die Malmani gesteentes voor. Baie werk is deur verskillende outeurs gedoen om 'n aanvaarbare indeling te bewerkstellig. Werk wat in die PWV gebied deur Day (1980) gedoen is, het die volgende aan die lig gebring. Drie gangstelsels is geïdentifiseer:

- (i) Magneties negatief: Pilansberg stel, \pm 1300 mj oud - strek Noord.
- (ii) Magneties positief: Oos Rand stel, \pm 1100 mj oud - strek Noord.
- (iii) Magneties positief: Oos-Wes stel, \pm 345 mj oud moontlik Karoo ouderdom.

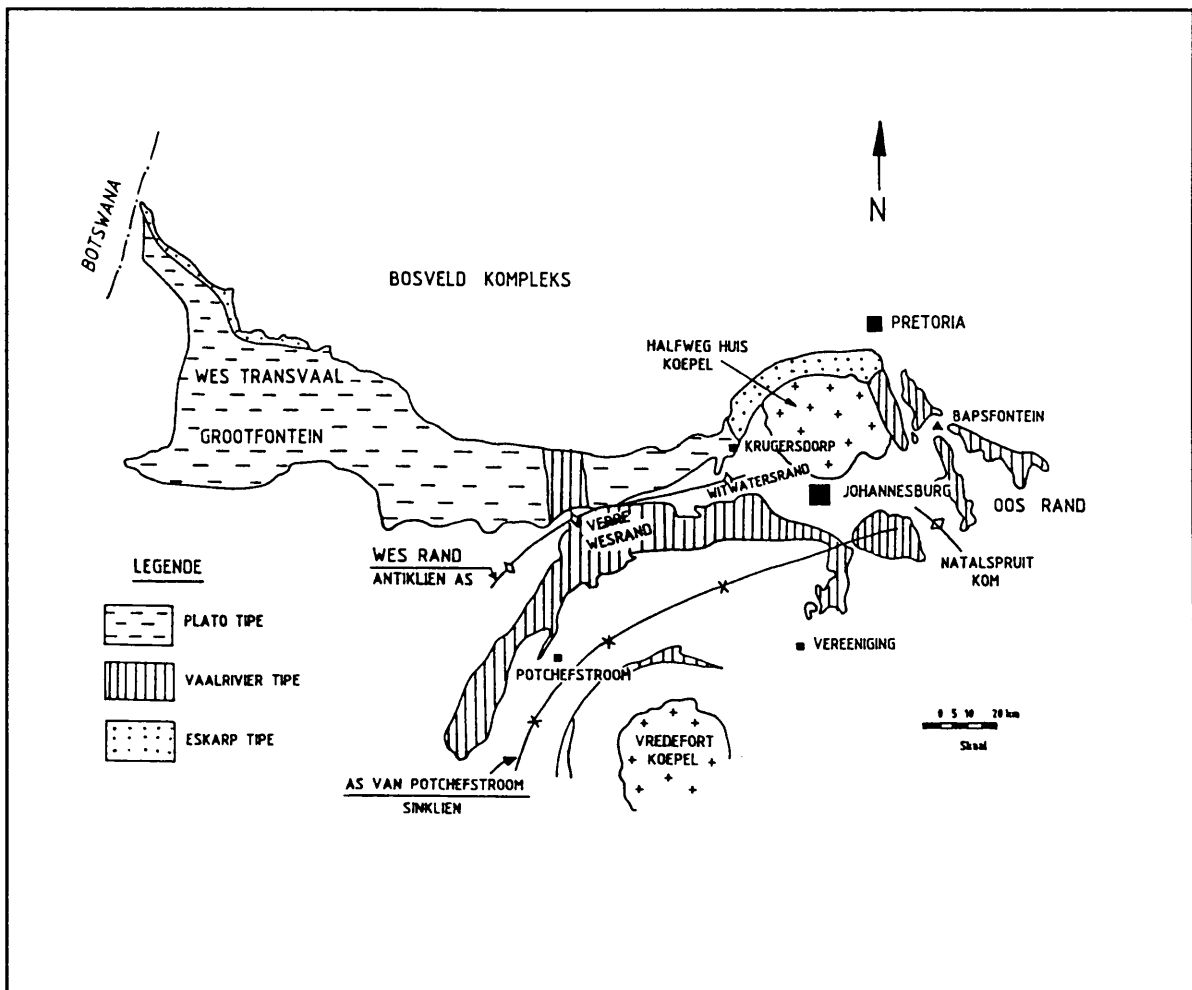
Ander gange kom egter tussenin voor, 'n Oos-Noord-Oos strekkende negatiewe stel en 'n magneties positiewe stel wat Noord-Wes strek.

Plate van verskillende samestelling kom op verskillende dieptes in die dolomietgebied voor. In die Oos-Rand word daar drie ekstensiewe plate geïdentifiseer (Foster, 1982):

- (i) Boonste doleritiese plaat van Karoo ouderdom (10 - 30m in dikte)
- (ii) Middelste diabaasplaat (30m)
- (iii) Onderste plaat van siënitiese samestelling (40m)

(ii) en (iii) word met die Bosveld Stollingskompleks se binnedringing geassosieer.

'n Groot verskeidenheid nate kom in die dolomitiese gesteentes voor. Die strekking en helling hang van terrein tot terrein af en elkeen moet afsonderlik ondersoek word. Nate speel 'n belangrike rol in die vervoer van ondergrondse water. Gange, verskuiwings en plate daarteen tree meeste van die tyd op as skanse om sodoende watervloei te verhinder. Die voorkoms van die verskynsels gee aanleiding tot die vorming van waterkompartemente wat later in die hoofstuk bespreek sal word.



Figuur 5.3
Indeling van karst in die Transvaal
 (Volgens: Martini en Kavalieris, 1976)

5.1.3 Geomorfologie

Gedurende die geologiese gekiedenis van $\pm 2\ 000$ mj, is die dolomitiese strata in die Suid-, Sentraal- en Wes-Transvaal aan ten minste drie periodes van karstifikasie en erosie onderwerp. Dit is deur Martini en Kavalieris (1976) beskryf en die verspreiding van die verskillende tipes kan op Figuur 5.3 gesien word.

(i) Plato tipe

Dit is die mees uitgebreide morfologiese tipe en beslaan die plato tussen Krugersdorp en die Botswana grens. Die Plato tipe het min oppervlakstrome en die wat vanaf aangrensende gebiede die area binnevloei verdwyn in die dolomitiese terrein. As gevolg hiervan kan droë strome vir verskeie kilometers verder voorkom. Fonteine wat vanaf die dolomiet ontspring, verdwyn weer vinnig ondergronds. In die Wes-Transvaal kom verskeie groot polje-tipe depressies voor. Dit word nie met watergrotte geassosieer, soos in Joego-Slawië nie, maar dreineer weg in sedimentverstoppte oplossingsholtes aan die kante daarvan.

(ii) Vaalrivier tipe

Dié tipe bestaan uit wyd, swak ontwikkelde ingekerfde valleie, soos suid-oos van Pretoria gesien kan word. Afwisselende riviere kom in die valleie, in areas waar die waterdraers nie deur goudmynbedrywigheede ontwater is nie, voor. Die karsttopografie is in die algemeen minder opvallend as in die vorige tipe. Toeganklike grotte van die groter sisteme in Suid-Afrika kom in dié dolomiet tipe voor.

(iii) Eskarp tipe

Die gebied tussen Pretoria en Krugersdorp het die naam ontvang as gevolg van die posisie waar dit geleë is, aan die kant van die interne plato. Die topografie is ongelyk met valleivloere van 150 - 200 meter diep. Grotte kom algemeen voor en behoort waarskynlik aan die erosiesiklus, waaraan die plato tipe sy ontstaan te danke het. Grotte is nou hoog bo die valleivloere op die flanke daarvan geleë (Vegter en Foster, 1989).

5.2 Kompartemente

Dolomietgebiede word deurkruis deur 'n groot aantal ondeurlatende en semi-deurlatende siënet- en dolerietgange. Dit verdeel die formasie, spesifiek die dolomiet, in grondwaterkompartemente. Die Verre Wes-Rand kan ingedeel word in 'n verskeidenheid kompartemente wat deur die jare ontwater is om die myn van goud moontlik te maak (Figuur 5.4).

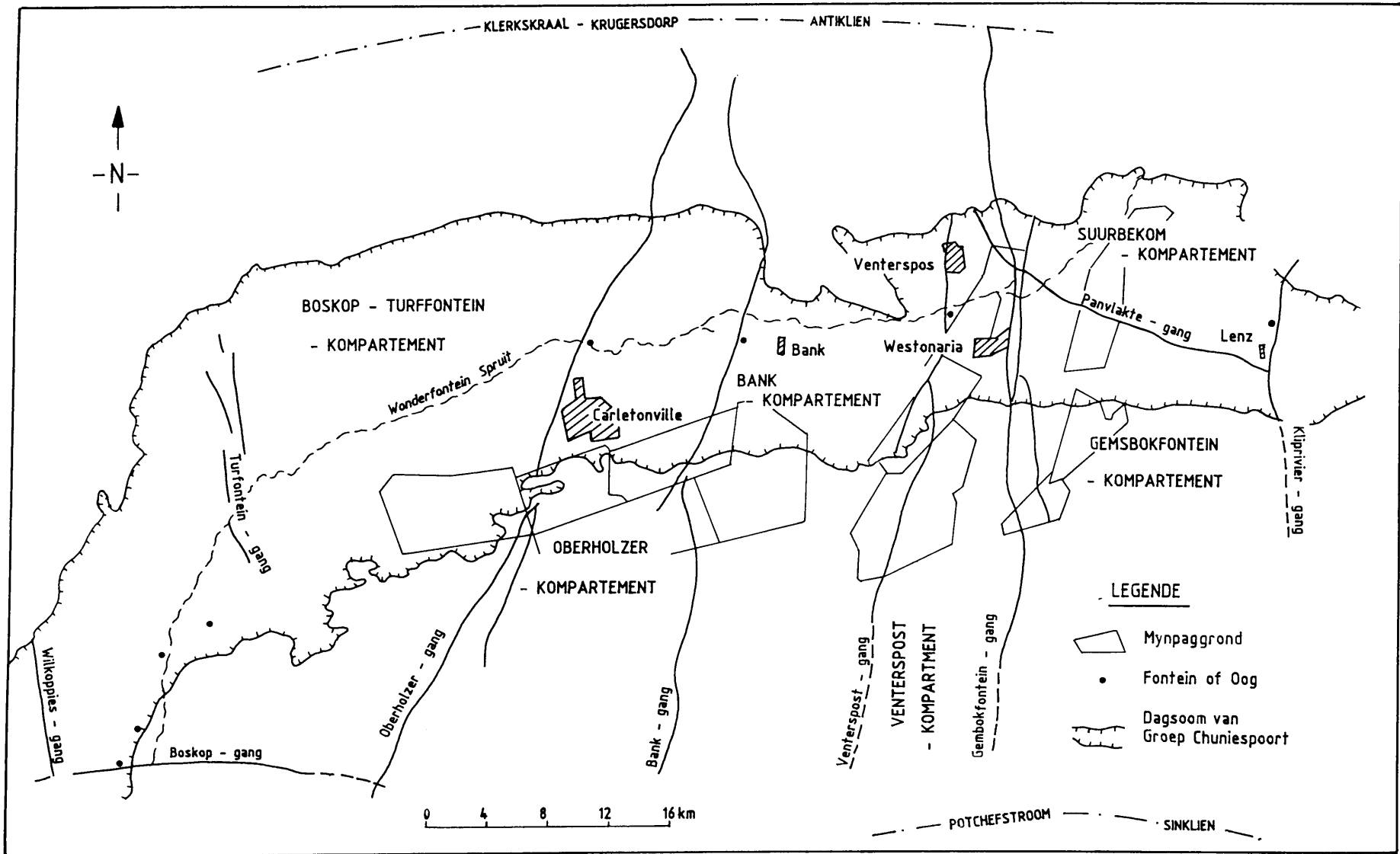
Meeste van die gange wat in die dolomietstrata ingedring het, is nie heeltemal ondeurlatend nie. Die boonste gedeeltes is gewoonlik verweer en genaat en gevolglik is die koëffisiënt van deurlaatvermoë (T) baie hoër as vir onverweerde rots. Die ontwatering van goudmyne het 'n verskil van honderde meters in die watervlakke van aangrensende kompartemente tot gevolg gehad. Figuur 5.5 dui die verandering van die watervlakke aan, nadat ontwatering plaasgevind het.

Die verlaging van die watervlak in die verskillende kompartemente het ernstige probleme tot gevolg gehad. Privaat boorgate in die omgewing het begin opdroog, versakking het begin plaasvind en talle sinkgate het ontstaan. In Desember 1962 het 'n vergruiser op die Wes-Driefontein myn in 'n sinkgat verdwyn en 29 mense het gesterf. Na die tragiese gebeurtenis is daar besluit om voorsorgmaatreëls te tref alvorens enige verdere ontwatering plaasvind. Alhoewel insidente nog sporadies voorkom, is dit drasties verminder deur navorsing wat gedoen is deur die jare.

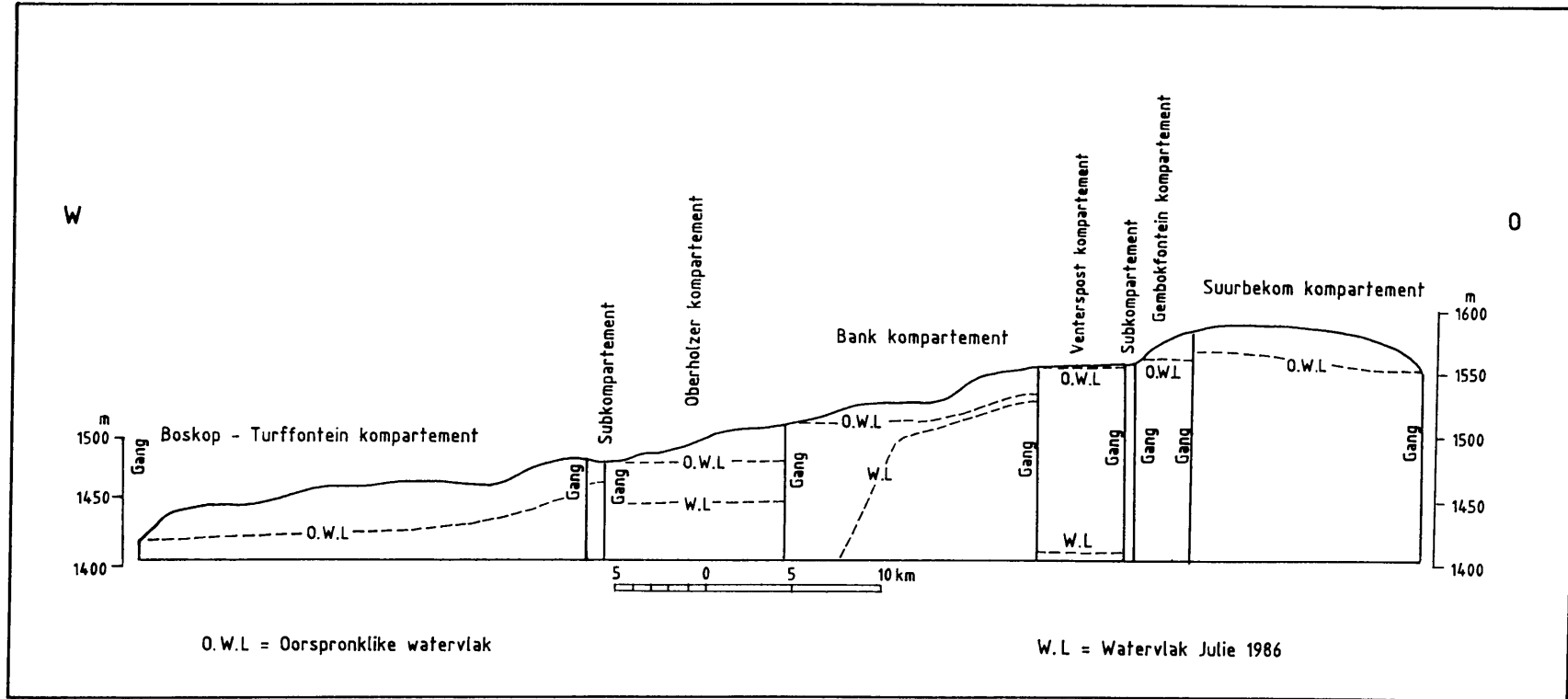
5.3 Waterdraereienskappe

Die Malmani karbonaatgesteente het feitlik geen primêre poreusheid of deurlatendheid nie. Dit is waterdraend as gevolg van verweringsprosesse, spesifiek as gevolg van oplossing. Slegs die dele van die karbonaatgesteentes wat dus genaat en uitgeloog is, dien as waterdraer. Die uitloging van vervoerde materiaal en oplossingsresidu, tesame met die onderliggende holtes en genate bodemrots, dra daartoe by dat dolomietwaterdraers groot hoeveelhede water kan stoor en lewer.

Paleokarststrukture kom voor in die dolomietstrata en word deur gravitasie-anomalië aangedui. Die diep verweerde sones kan ook goeie waterdraers wees, afhangend van die materiaal wat daarmee saam voorkom. As grofkorrelrige poreuse materiaal, soos chert voorkom en keer dat klei of wad



FIGUUR 5.4 Verre Wes-Rand Dolomitiese gebied met Bank-en Venterspos kompartemente wat ontwater word. (Volgens: Enslin et. al, 1976).



FIGUUR 5.5 : Grondwatersnit langs die Wonderfonteinspruit, Verre Wes-Rand. (Volgens: Enslin et al,1976)

die boorgate verstop, is hoë lewering uit die waterdraers moontlik (Vegter en Foster, 1989).

Verskeie metodes is aangewend om die waterdraers se bergingskoëffisiënt (S) en koëffisiënt van deurlaatvermoë (T) te bepaal. Die waardes wissel dramaties, as gevolg van die graad van karstifikasie en die eienskappe en dikte van die versadigde deklaag. Tabel 5.1 toon verskillende T en S waardes aan uit verskillende dolomitiese waterdraers.

TABEL 5.1
T EN S WAARDES IN VERSKILLENDEN DELE VAN DIE PWV GEBIED

Lokaliteit	T (m ² /d)	S	Bron
W-Driefontein	10 - 30 000	0,0005 - 0,069	Vegter en Foster (1989)
Krugersdorp	10 - 29 000	0,0005 - 0,1	Bredenkamp et al (1986)
Gemsbokfontein	20 - 29 000		SRK CI 4043
Zuurbekom : Ingeperk Freaties		0,001 - 0,0001 0,01	Fleisher (1981)
Bank	7 000	0,015	Fleisher (1981)
Pretoria	1000 - 5000	0,015 - 0,097	Hobbs (1988)
Tarlton	1 - 25 065		Kühn (1988)
Verwoerdburg	0,2 - 73		Hobbs (1988)

Dolomiet wat vars en sonder enige nate is, is vir alle praktiese doeleindes ondeurlatend en die poreusheid wissel van 0 - 0,3 persent. Ontledings wat gedurende ontwatering gedoen is, sowel as skag- en boorgatstate het aangedui dat in goeie waterdraersones die effektiewe poreusheid kan wissel van 14 persent by die watervlak waar nate voorkom, tot so laag as 2 persent, 150 meter onder die oppervlak (Enslin en Kriel, 1959 en Foster, 1987).

Foster het die gradiënt van die grondwatevlak in die Gemsbokfontein kompartement bepaal. Binne die kompartement vorm die grondwatevlak 'n aaneenlopende gradiënt wat selde 1:250 oorskry en tot so laag as 1:5 000 daal. Waardes van 1:1 000 is deur Bredenkamp, van der Westhuizen, Wiegmans en Kuhn (1986) in die Krugersdorp omgewing gemeet.

Die wisselende waardes wat vir T, S en die gradiënt verkry is, dui net weereens daarop dat die dolomitiese waterdraes uiters heterogeen en anisotropies is. Die aanvulling en lewering van waterdraers hang van die T, S en k waardes, sowel as die hoeveelheid reënval per jaar af. Hoe hoër die T en S waardes is, hoe hoër is die lewering van die boorgate en fonteine. Dit het die gevolg dat aanvulling en lewering net so onvoorspelbaar en wisselend is as die ander parameters.

Vegter (1984) beweer dat die aanvulling van 'n dolomietwaterdraer ongeveer 12,5 persent van die reënval is. In die PWV gebied is dit ongeveer 80 - 100 mm/jaar. Vegter en Foster (1989) het gevind dat die gemiddelde jaarlikse aanvulling wissel van 60 mm/jaar in die weste tot 110 mm/j in die ooste.

Tabel 5.2 gee 'n aanduiding van die lewering van boorgate en fonteine in die Transvaal.

TABEL 5.2
LEWERING VAN BOORGATE EN FONTEINE IN DIE TRANSVAAL

Lokaliteit	Lewering (l/s)	Bron
Tarlton	> 25	Kühn (1982)
Wes van Krugersdorp	> 40	Bredenkamp et al (1986)
Verwoerdburg	0,3 - 12,2	Hobbs (1988)
Pretoria	0,14 - 25,28	Hobbs (1988)
Gemsbokfontein oog	0,1	Kleywegt en Pike (1982)
Oberholzer oog	0,625	Kleywegt en Pike (1982)

Meeste fonteine vloei uit op, of naby die kontak met 'n gang. Die belangrikste fonteine het redelike konstante vloeitempo's wat nie met meer as 40 - 65 persent vanaf die gemiddeld afwyk nie. Fleisher (1981) beskryf die aanvulling van 'n fontein as 'n tweeledige proses, waartydens elke reënvalperiode die waterdraer twee maal sal affekteer. Eerstens deur middel van vinnige afwaartse vloei langs nate en openinge waar dun, of geen deklaag voorkom nie en later, deur middel van stadige diffusievloei deur lae-deurlatende materiale. Dit word geïllustreer deur figuur 5.6, waar 'n tweeledige fluktuasie in die piësiometriese vlak waargeneem kan word in die Wondergat sinkgat in die Wes-Transvaal.

5.4 Beraamde gestoorde dolomietgrondwater

Omvattende uitloping van dolomiet tot op dieptes van 150m vind veral in dolomiet in die Suid- en Wes-Transvaal plaas. Oordeelkundige plasing van boorgate op die strata kan boorgate met hoë lewerings tot gevolg hê. Soos reeds uit Afdeling 5.3 duidelik geword het, is die opgaarvermoë en deurlatendheid van dolomiet baie hoog in vergelyking met ander waterdraers wat in Suid-Afrika aangetref word.

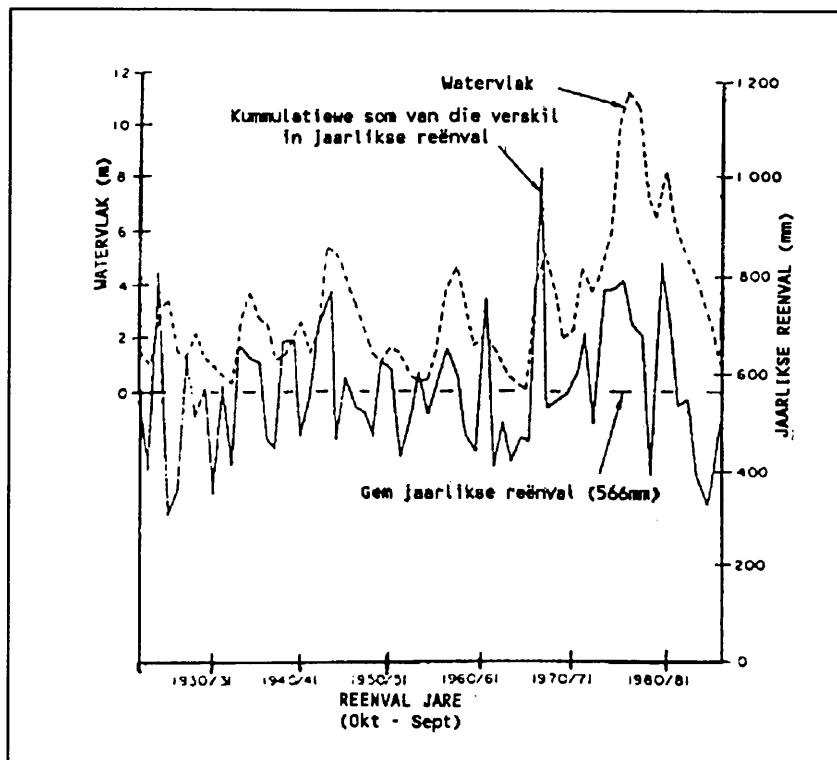
Die opgaarvermoë van die Oberholzer- en Ventersposkompartement word byvoorbeeld onderskeidelik as 730 miljoen m³ en 450 miljoen m³ bereken (Dept van Waterwese, 1986). Die dolomiet is nie oral aan dieselfde mate van karstifikasieprosesse onderwerp nie en stoorkapasiteit wissel dus aansienlik.

Tabel 5.3 dui die grondwater in Suid-Afrikaanse formasies, uitgedruk as die ekwivalente diepte van grondwater, aan.

TABEL 5.3
GRONDWATER IN SUID-AFRIKAANSE GEOLOGIESE FORMASIES
(Volgens: Dept van Waterwese, 1986)

FORMASIE	EKWIVALENTE DIEPTE VAN WATER (m)
Dolomiet, Verre Wes Rand (voor ontwatering)	4,9 - 8,3
Grrotfonteinkompartement (Lichtenburg)	1,9
Kussandafsetting, Atlantis, Wes-Kaapland	2,5 - 5,0
Tipiese alluviale afsettings langs riviere	2,0
Verweerde graniet	0,5 - 1,0
Karoo Sedimentêre afsettings	0,1 - 0,5

Verdere berekenings dui daarop dat ongeveer 820 - 1 000 miljoen m³ uit die uitgeloopte dolomiet in die PWV gebied onttrek kan word (Dept van Waterwese, 1986). Die Randwaterraad en die Munisipaliteit van Pretoria het ongeveer 26 miljoen m³ water in 1986 uit dolomitiese grondwater onttrek.



Figuur 5.6
Fluktuasie van watervlak
 (Volgens: Vegter en Foster, 1989)

5.5 Toekomstige rol van dolomitiese grondwater

Soos reeds uit afdeling 5.4 gesien, is water afkomstig van dolomietwaterdraers deur die jare 'n baie belangrike bron vir water voorsiening in dorpe, stede en plase. Dorpe soos Potchefstroom, Pretoria, Lichtenburg, Ventersdorp en ander is in die begin van die eeu grotendeels deur water vanuit dolomietwaterdraers voorsien. Meeste van hulle is vandag nog gedeeltelik daarvan afhanklik. Selfs 'n stad soos Pretoria gebruik nog water uit die Fonteine oog. In groot gebiede in die Koster-Lichtenburg streek word grondwater aangewend vir besproeiing van landbougewasse. In gebiede wes van Krugersdorp en in die Delmas-Springs omgewing word groot hoeveelhede water om dieselfde rede onttrek.

Die vermindering van vloei uit die Kliprivier oog, ander dolomitiese fonteine in die Kliprivier vallei en die rivier self, het aan die begin van die eeu baie navrae laat ontstaan en die staat het kommissies aangestel om die probleem te ondersoek. Vandag, amper 100 jaar later, vloei daar steeds water in die Kliprivier, maar dit is so besoedel dat dit nie vir menslike gebruik geskik is nie.

Vegter (1984) het navorsing gedoen na die moontlikheid van verdere uitbreiding van dolomietwater vir gebruik in die PWV area moontlik sal wees. Hy het tot die gevolgtrekking gekom dat die water op drie maniere aangewend kan word:

- (1) **Aaneenlopende gebruik, waartydens aanvulling toegelaat word:** Hierdie moontlikheid is oorweeg nadat daar vasgestel is dat die aanvulling redelik vinnig in dolomietwaterdraers plaasvind. Die rede hiervoor is die hoogs deurlopende sones wat teenwoordig is as gevolg van oplossing. Berekeninge het aangetoon dat sowat 270 miljoen m³ per jaar só verkry sal kan word, wat 'n derde van die water was wat die Rand Waterraad in 1982 uit die Vaalrivier onttrek het.
- (2) **Periodiese onttrekking gedurende noodtoestande:** Groot hoeveelhede water kan op die wyse onttrek word: die probleem van sinkgatvorming moet egter in gedagte gehou word. Die gevaar van sinkgatvorming ontstaan as die watervlak ongeveer 20 meter vanaf die oppervlak geleë is. As die watertafel egter nie meer as 6 meter vanaf die oorspronklike watervlak afgetrek word nie, kan tot 1 000 miljoen m³ water per jaar onttrek word, sonder dat die gevaar vir sinkgatontwikkeling ontstaan. Om egter so 'n hoeveelheid water te onttrek, sal 750 - 1 500 produksieboorgate gesink moet word, wat verdere praktiese probleme inhou.
- (3) **Gesamentlike gebruik van dolomitiese grondwater, ondergrondse storting en oppervlakwater:** Daar is nog nie voorheen so 'n ondersoek op dolomiet uitgevoer nie, maar volgens Vegter (1984) is die moontlikheid hiervoor nie uitgesluit nie.

Die probleem in hierdie geval is weereens nie 'n geval van water tekort nie, maar die manier van ontginning en ekonomiese gebruik, van wat wel beskikbaar is. Daar is al male sonder tal gesien dat as water volop is, niemand daarvoor bekommerd is nie, maar as droogte dreig moet vinnige, kitsnoodmaatreëls getref word. Dit is dan egter reeds te laat.

5.6 Gevolgtrekkings

- In die Transvaal bestaan ongeveer 5 persent van die gesteentes uit dolomiet, terwyl tot 20 persent van die PWV area, deur dolomiet beslaan word.
- Die dolomiet onder bespreking behoort tot die Chuniespoort Groep en vier formasies word daaronder verdeel na aanleiding van chertinhoud.
- Plooiing, nate, verskuiwings en gange en plaatindringings het elkeen 'n spesifieke geohidrologiese invloed op die dolomiet in die gebied.
- Na aanleiding van die karstifikasie en erosie kan die dolomiet geomorfologies in drie groepe verdeel word naamlik: Plato tipe, Vaalrivier tipe en Eskarp tipe.
- Onverweerde doleriet en siënetgange deurkruis die dolomiet en deel die strata in waterkompartemente met verskillende watervlakke in.
- T, S en k waardes verskil drasties van waterdraer tot waterdraer en word beïnvloed deur die hoeveelheid karstifikasie, terwyl aanvulling en lewering weer deur die T, S, k waardes en die hoeveelheid reënval beïnvloed word.
- Daar moet reeds nou aan maniere gedink word om watervoorsiening te bewerkstellig gedurende droogte tye. Dolomietgrondwater blyk 'n baie goeie oplossing te wees.
- Dolomiet is Suid-Afrika se beste grondwaterdraer in terme van leweringsvermoë van boorgate en die totale stoorkapasiteit. In terme van sy moontlikhede word die waterdraer nog heeltemal onderbenut.
- Voordat intensiewe wateronttrekking in die formasie egter plaasvind, moet die moontlikheid vir sinkgatvorming egter eers deeglik ondersoek word.
- Hierdie onderbenutting is ook een van die hoofredes vir wydverspreide besoedeling van die dolomietgrondwater. Die slagspreuk: 'Groundwater use is the best protection' is sonder twyfel ook in Suid-Afrika geldig.

6 STUDIEGEBIED NOORD VAN OLIFANTSFONTEIN

6.1 Keuse van 'n terrein

Die doelstellings van hierdie navorsingsprojek vereis die identifisering van 'n studiegebied waar die invloed van besoedelde oppervlakwater op die grondwaterkwaliteit bestudeer kan word. Die ideale gebied vir hierdie doel, is 'n dolomietgebied met 'n potensiële besoedelingsbron en nabygeleë boorgate vir pomptoetsing en neem van watermonsters.

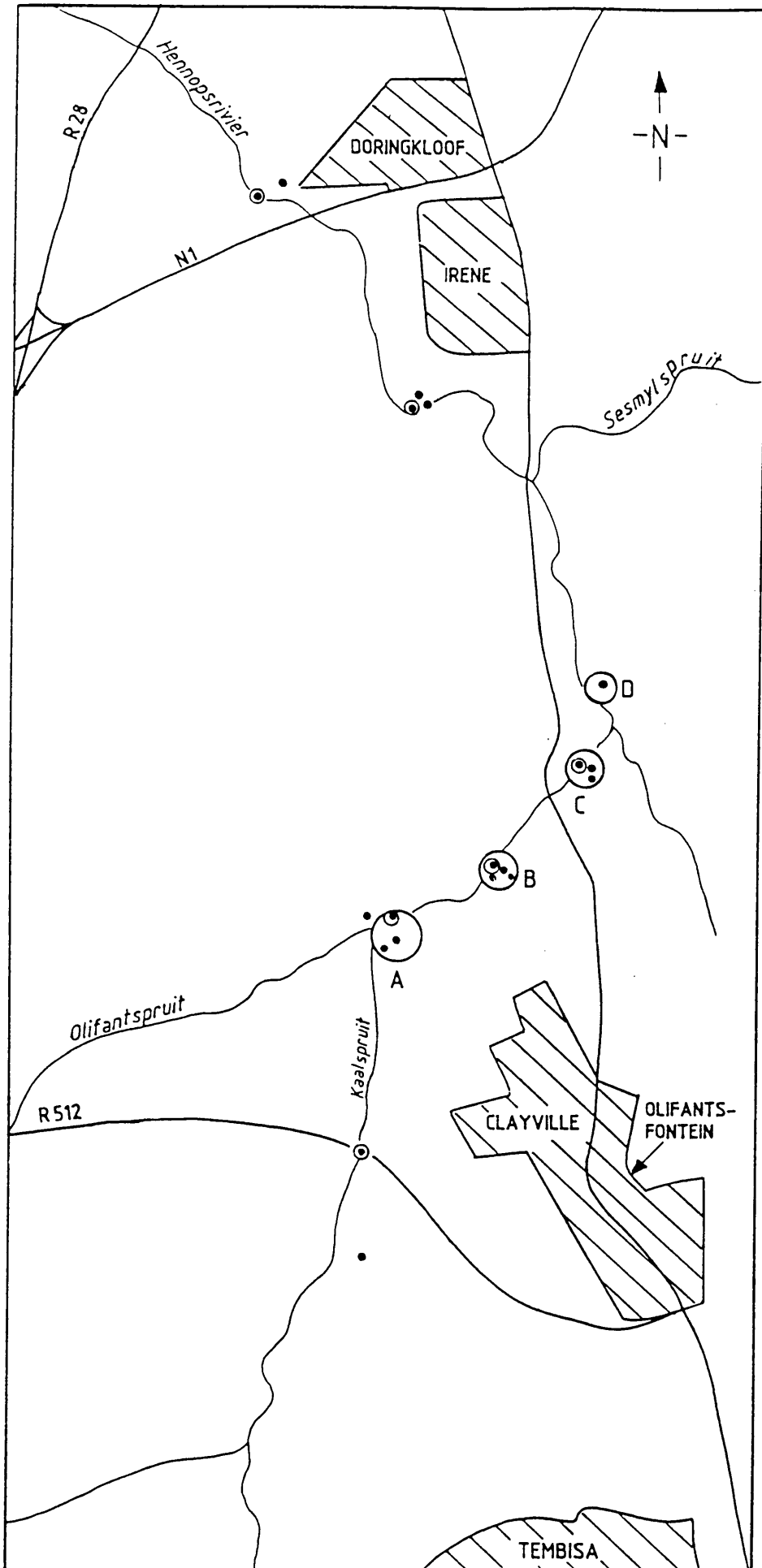
Op grond van werk deur Hobbs (1988) en mediaberigte oor besoedeling van die Kaal, Olifants en Hennops riviere, is 'n geskikte studiegebied langs die Kaalspruit geïdentifiseer. Binne hierdie gebied is vier toetsterreine gekies.

Die vier terreine, A, B, C, en D is suid van Pretoria, tussen Irene in die noorde en Olifantsfontein in die suide, aangrensend aan die Kaalspruit geleë. Dit word begrens deur breedtegrade $25^{\circ}54'$ en $25^{\circ}57'$ en lengtegrade $28^{\circ}13'$ en $28^{\circ}15'$. Figuur 6.1 dui die posisies van die verskillende terreine aan.

Terrein A, die Olifantsfontein rioolsuiweringswerke, het 'n geleentheid gebied om die kwesbaarheid, sowel as moontlike beskerming wat dolomiet geassosieëde materiale teen besoedeling verskaf, te ondersoek. Aangesien die Kaalspruit noord van die terrein verby vloei en bestaande boorgate as pompgate gebruik kon word, was die gebied ideaal vir die doel van die ondersoek. Daar is ook verneem dat rioolwater ondergronds oor 'n afstand van 500 meter van 'n lekkende pyp by die rioolwerke, tot in die Kaalspruit gevloei het.

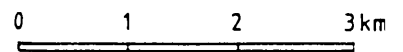
Terrein B is geleë op Bikielaas (een van die Sanlawns landbouhoewes) van G.J.O. Basson. Terrein C behoort aan A. Cullinan van Avenue Farm en is aan die oostekant van die pad tussen Irene en Olifantsfontein geleë.

Aangesien afvalstortingsterreine so algemeen in dolomietgebiede voorkom, is daar in alle erns begin soek na 'n terrein waar storting, hetsy georganiseerd of onwettig voorgekom het. 'n Opname wat deur Hobbs (1988) uitgevoer is, het verskillende stortingsterreine uitgewys en daar is op een besluit wat naby aan die Kaalspruit geleë is. Terrein D behoort aan SAMANCOR. Die terrein is eers as dolomietgroef ontwikkel en nadat die werk daar gestaak is, is dit as georganiseerde stortingsterrein van vaste afval gebruik. Daar is 'n produksieboorgat binne 300 meter vanaf die area geleë wat die keuse van hierdie terrein verder vergemaklik het.



LEGENDE

- A Onderzoekterrein
- Watermonster uit boorgat
- ⊙ Watermonster uit rivier



FIGUUR 6.1. LIGGINGSPLAN VAN STUDIEGEBIED EN ONDERSOEKTERREINE.

6.2 Literatuurstudie

Gedurende die aanvanklike literatuurstudie is daar gepoog om so veel as moontlik inligting oor die dolomietgebiede in Transvaal te bekom. Verslae deur Steffen, Robertson en Kirsten Ing, Departement van Waterwese en Bosbou asook ander privaat instansies is deurgewerk as agtergrondstudie en om die tipiese eienkappe van die gebiede te ondersoek. Bestaande literatuur oor karstgebiede regoor die wêreld is ook bestudeer.

Die topografiese en geologiese kaarte van die dolomietgebiede in die Transvaal is in detail ondersoek en baie tyd is bestee om die vier studieterreine te identifiseer. Waterontledings van reservoirs, produksieboorgate en oppervlakwater wat deur die Pretoria Stadsraad, die Departement van Landbou Ontwikkeling en Departement van Waterwese en Bosbou uitgevoer is, is bekom. Die inligting het baie gehelp om die finale keuse van terreine te maak.

Nadat die studiegebied vasgestel is, is lugfoto's van die area stereoskopies ondersoek om moontlike tektoniese verskuiwings en gange te identifiseer. Die studie-area se foto is vergroot tot 1:10 000 om moontlike verdere geologiese verskynsels en plantegroei waar te neem en die bestaande geologiese kaarte te verbeter.

6.2.1 Klimaat, reënval en oppervlakdreinerig

Die gebied kan geklassifiseer word as 'n sub-humiede area wat gekenmerk word deur somerreënval en droë winters. Die reënval geskied hoofsaaklik in die vorm van laatmiddag-donderstorms. Reënval is die hoogste in November tot Februarie met 'n gemiddeld van ongeveer 689 mm/jaar. Die gemiddelde daaglikse maksimum temperatuur wat by stasie 513/382 (Irene) gemeet is, is 24,1°C en die gemiddelde daaglikse minimum 7,6°C.

As gevolg van die hoë gemiddelde temperature dwarsdeur die jaar, het die studiegebied 'n hoë potensiaal vir evaporasie. Hobbs (1988) het die gemiddelde jaarlikse potensiële evapotranspirasie as 741mm bereken wat effens hoër is as die gemiddelde reënval (675mm) in die gebied.

Oppervlakdreinerig geskied deur middel van die Kaalspruit wat van suidwes na noordoos deur terreine A, B en C vloei en van suidoos na noordwes deur terrein D. Ten noorde van die area sluit dit aan by die Sesmylspruit wat op sy beurt later by die Rietspruit aansluit en die Hennopsrivier vorm wat in die Verwoerdburgmeer dreineer.

6.2.2 Geografie en plantegroei

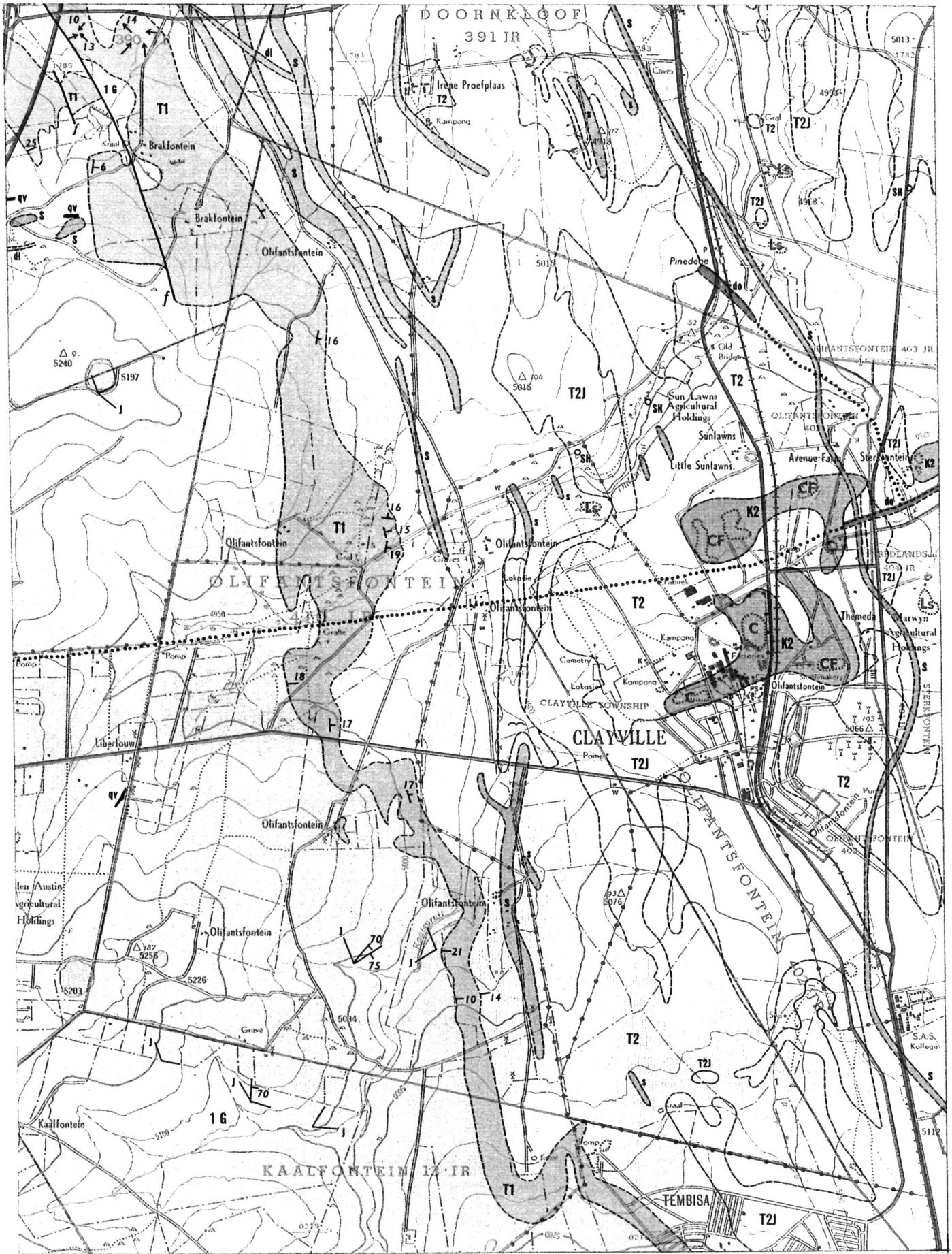
Die studiegebied word gekenmerk deur 'n redelike gelyk gradiënt met min uitstaande landmerke. Die laagste deel van elke terrein is riviervlak. Die studiegebied se hoogte in die weste is gemiddeld 1470 meter bo seevlak wat dit as oorgangsones tussen die hoëveldgebied ten suide daarvan en die laerliggende areas ten noorde daarvan klassifiseer. In die ooste van die studiegebied daal die grondvlak tot 1450 meter bo seevlak waar sytakke by die Olifantspruit aansluit. Styging in grondoppervlak vind plaas as daar verder na die ooste beweeg word en 'n hoogte van 1472 meter bo seevlak is gemeet.

Die area word grootendeels deur grasvelde beslaan met Bloekom, Wilger en Akasiabome langs die riviere waar dit nog nie verwyder is nie.

6.2.3 Algemene geologie

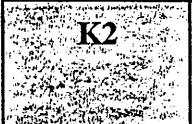


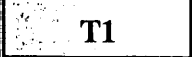
Die studiegebied is op dolomiet geleë, wat tot die Malmani Subgroep, Chuniespoort Groep, Transvaal Opeenvolging behoort. Die samestelling van die dolomiet in die studiegebied wissel in chertinhoud, aangesien terreine A, B en C op die Monte Cristo Formasie en terrein D op die Lyttelton Formasie (Figuur 6.2) geleë is.

Die **Monte Cristo** Formasie is ligkleurige, her-gekrystalliseerde dolomiet met chertbande daarin. Dit is veral op terreine A en B deur siëniëplate binnegedring. Die **Lyttelton** Formasie is donkerder as die Monte Cristo Formasie en op terrein D is tekens van die sjokolade-bruin dolomiet, waarna daar in die literatuur verwys word, gevind.

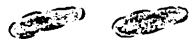
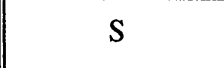
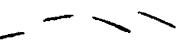
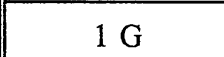


Figur 6.2
Algemene geologiese kaart Skaal: 1:50 000

LEGENDE

	Beskrywing	Groep/Formasie	Opeenvolging
	Alluvium		Resente Afsetting
	K2 Sandsteen, grintsteen, konglomeraat, skalie, klei, steenkoollae	Ecca	Karoo
	T2J Chert, chertpuin, chertbreksie	Chuniespoort	Transvaal
	T2 Dolomiet, plek-plek met skaliebande	Chuniespoort	Transvaal
	T1 Kwartsiet, konglomeraat, skalie	Swartrif	Transvaal

STOLLINGSGESTEENTES

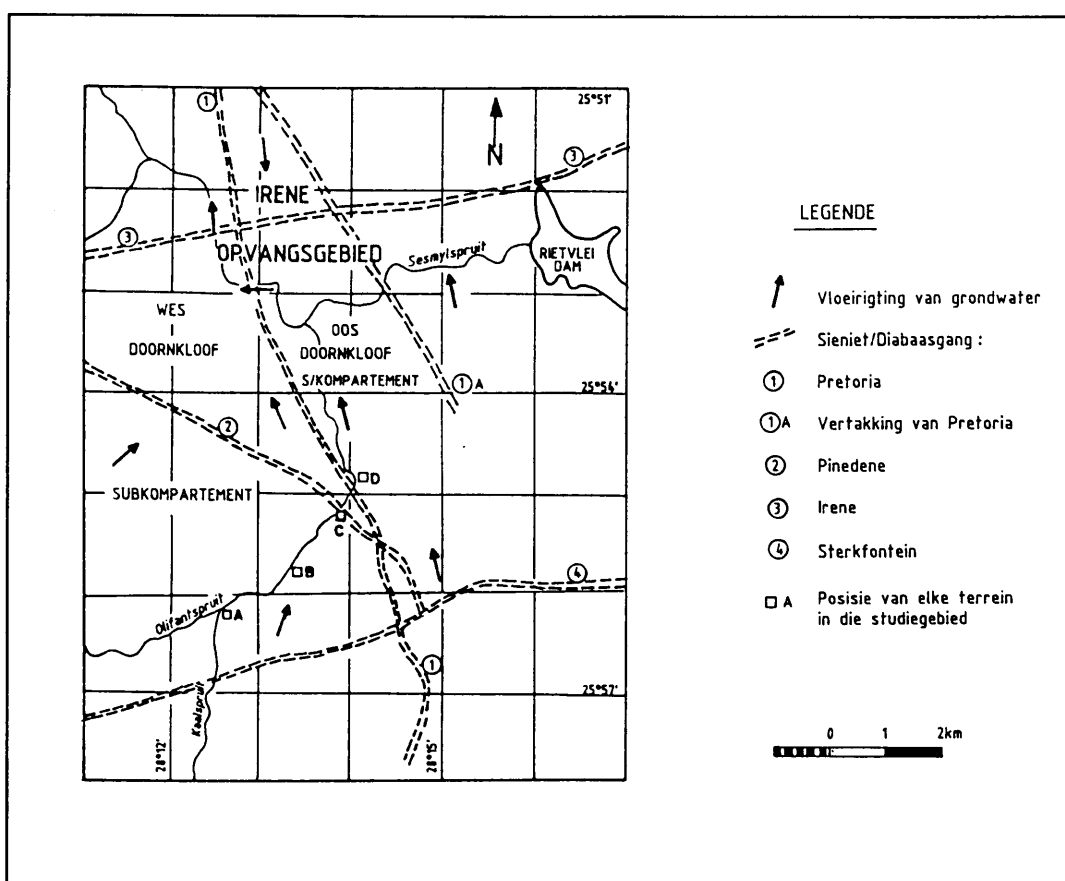
	Beskrywing	Ouderdom
	Doleriet	Na Karoo
	S Siënië, dioriet, gabbro, diabaas van Na-Tvl ouderdom	Ongedifferensieër
	Gang van siënië, diabaas	Na Waterberg
	1 G Granië, gneis, granodioriet	

EKONOMIESE GEGEWENS

C:	Klei	Do:	Dolomiet
CF:	Vuurvaste klei en Flintklei	Ls:	Kalk
CS:	Baksteenklei en Skalie		

Daar is redelik min dagsome op terreine A, B en C, maar terrein D word gekenmerk deur dagsome wat afwisselend voorkom met twee duidelike naatstelle, naamlik 'n noord-suid stel en 'n oos-wes stel. Die dolomiet is medium- tot fynkorrelrig en verwering wissel van onverweer in diepte tot totaal verweer in sommige dele naby aan die oppervlak.

Die **intrusiewe** gesteentes wat in die studiegebied aangetref word, bestaan uit gange sowel as plate met verskillende ouderdomme, samestelling en strekking (Figuur 6.3). Die oos-wes strekkende Sterkfontein gang is suid van die studiegebied geleë en tree op as 'n waterskeiding tussen die Wes-Doornkloof grondwaterkompartement en die grondwaterkompartement ten suide daarvan.



Figuur 6.3
Die posies van die terreine ten opsigte van grondwaterkompartemente
 (Volgens: Hobbs, 1988)

Die twee meer prominente gange in die studiegebied is die Pretoria en die Pinedene gange. Eersgenoemde is ongeveer 100 tot 130 meter wyd, noord-suid strekkend en in die algemeen vertikaal tot sub-vertikaal. Die gang se samestelling word as 'n granofiriese gabbro beskryf en Jansen (1977) klassifiseer dit as deel van die

Pilansberg gangstelsel, terwyl die feit dat dit magneties positief is, daarop dui dat dit verwant is aan die geofisiese Oos-Rand gangstelsel van Day (1980).

Die noordwes-suidoos strekkende Pinedene gang kruis die Pretoria gang in die studiegebied. Dagsome wat in die studiegebied voorkom dui daarop dat dit van medium korrelrige doleritiese samestelling is (Hobbs, 1988).

Siëniëplate wat op terrein A langs die rivier dagsom, strek min of meer noordwes-suidoos. Dieselfde plate, nou totaal verweer, is in boorgate gevind. Op terrein A is verweerde siënië in twee van die drie boorgate gevind.

Heuwelsoepel en deklaagmateriale wat die gesteentes bedek, is uitsluitlik sanderige klei met chert-rolstene en brokstukke in die boonste twee meter.

6.2.4 Algemene geohidrologie

Die studiegebied is oorwegend in die Wes-Doornkloof grondwaterkompartement geleë. Terreine A, B en C lê in dié kompartement, waar die algemene grondwater vloei rigting noord-noordoos is. Aanvulling van $0,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$ is gemeet en daar word bereken dat daar 'n potensiële noodgrondwatervoorraad van $27 \times 10^6 \text{ m}^3$ beskikbaar is (Levin, v d Merwe en Walton, 1991). Terrein D, by die ou afvalterrein, is in die Oos-Doornkloof kompartement geleë. Die vloei rigting van die grondwater is NNW en aanvulling van $2,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$ word beraam. Nadat verdere berekenings gemaak is, is daar beraam dat 'n noodvoorraad van $2,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ beskikbaar is (Levin et al, 1991). Die ligging van die verskillende terreine in die twee kompartemente kan in Figuur 6.3 gesien word.

Nadat watervlakke en riviervlakke op elke terrein gemeet is, is gevind dat aanvulling op hierdie stadium vanaf die spruit na die grondwater plaasvind. Die verskynsel verhoog dus die moontlikheid van grondwaterbesoedeling.

6.2.5 Ontwikkeling

In die area suid-oos van die rioolwerke, vind onbeheerde ontwikkeling plaas (Tembisa). Die rioolwerke en lekkasies wat daar voorkom kan die kwaliteit van die rivierwater nadelig beïnvloed. Vanaf terrein A langs die spruit, stroom-af tot en met terrein D, vind landbou-ontwikkeling plaas. Die bemesting van gewasse kan 'n nadelige invloed hê op die grondwaterkwaliteit. Verder stroomaf kom 'n golfbaan, melkboerdery en ander kleiner nywerhede voor wat, as elkeen slegs 'n klein bydrae lewer, 'n verdere negatiewe invloed op die water wat in die Verwoerdburgmeer vloei, kan hê.

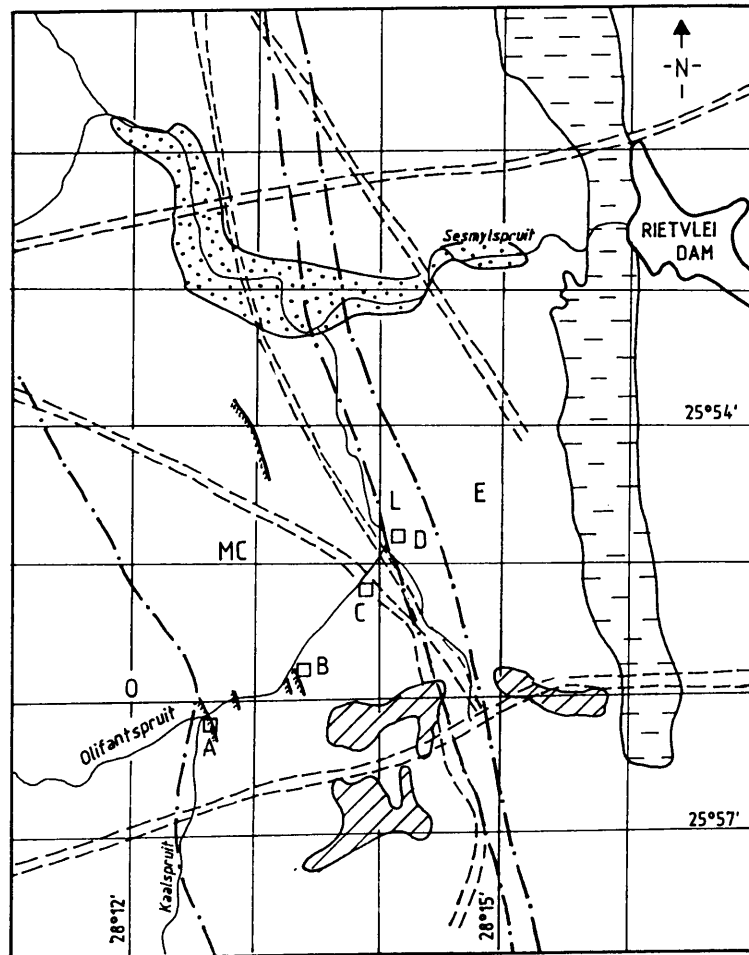
6.3 Geologiese en geofisiese ondersoeke

Nadat al die moontlike inligting omtrent die gebied uit literatuur bekom is, is veldondersoeke uitgevoer om meer volledige en toepaslike data in te win.

Die volgende geotegniese ondersoekmetodes is gebruik om uit te vind wat die eienskappe van die onversadigde sone, geleë bo die watertafel, is. Tipiese ingenieursgeologiese ondersoeke kan gebruik word om die verskillende eienskappe te bepaal








6.3.1 Kartering



Volledige geologiese kartering van die area is gedoen om die verspreiding van geologiese materiale akkuraat te bepaal. Tydens die kartering is weer van die oorspronklike literatuur gebruik gemaak. Daar is met grondeienaars in die area gepraat, grondmonsters is geneem, awegaarboorgate is geboor en laastens is al die geologiese data saamgevoeg en in die vorm van 'n kaart beskikbaar gestel (Figuur 6.4). Die kartering was nodig aangesien daar geen detail geologiese inligting oor die area beskikbaar was nie.




LEGENDE

GEOLOGIE

-  Alluvium
-  Skalie
-  Kwartziet en skalie
-  Eccles Fm
-  Lyttelton Fm
-  Monte Cristo Fm
-  Oaktree Fm

-  Siëniet, diabaas plaat
-  Siëniet, diabaas gang

-  Posisie van elke terrein in die studiegebied

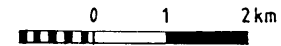
RESENTE AFSETTING

- ECCA GROEP
- PRETORIA GROEP

- CHUNIESPOORT GROEP

KAROO
T
R
A
N
S
V
A
A
L

O
P
E
N
V
O
L
G
I
N
G



FIGUUR 6.4 : Geologiese Formasies teenwoordig in die studiegebied (Volgens: Hobbs, 1988)

6.3.2 Boorwerk

Die Departement van Waterwese en Bosbou het diamantboortoerusting en personeel beskikbaar gestel om behulpsaam te wees met die ondersoek. Daar is op diamantboorwerk besluit aangesien die deklaagmateriale 'n belangrike rol speel in die ondersoek en lugdrukboorwerk nie 'n akkurate aanduiding gee van die presiese diepte en aard daarvan nie. Die materiaal se samestelling was baie belangrik en onbesoedelde monsters moes vir die beskrywing daarvan bekom word. Monsters, vir die bepaling van deurlatendheid in die laboratorium, moes bekom word en redelik onversteurde monsters kon op dié wyse verkry word.

Op al vier terreine is daar gepoog om die boorgate so te kies en te spasieër dat dit later bruikbaar sal wees as daar pomptoeuse gedoen moet word. Daar is in totaal 11 gate geboor en die besonderhede daarvan verskyn in Tabel 6.1.

**TABEL 6.1
BESONDERHEDE AANGAANDE BOORWERK**

Boorgat nr	Diepte (m)	Helling (°)	Rigting	Grootte	Herwin (%)
B1	29,92	90	-	NX	92
B2	23,31	90	-	NX	72
B3	15,00	90	-	NX	69
C1	20,60	90	-	NX	60
C2	20,00	90	-	NX	63
S1	22,53	60	SW	NX	96
S2	22,35	60	SW	NX	83
S3	18,43	70	SW	4" 9/16	92
R1	20,58	90	-	NX	91
R2	19,91	90	-	4" 9/16	95
R3	20,73	90	-	NX	98
	233,36				83 %

Die posisies van die verskillende gate verskyn in Figure 6.5 - 6.7. Die bek-hoogtes word aangegee ten opsigte van lokale vaste punte vir elke terrein met 'n arbitrêre hoogte van 100 meter .

6.3.3 Geofisiese boorgatsondering

Boorgatsondering is in 3 van die 11 boorgate uitgevoer. In die eerste gat wat getoets is (B2 op terrein B) is verskeie sondes gebruik om te sien wat die nuttigste inligting sal oplewer. Daarvolgens is besluit om die boorgatpasser, absolute en differensiële temperatuur, gamma en neutron sonderings in die ander gate uit te voer. Gamma-gamma en seismiese sonderings is slegs in die eerste boorgat gedoen. Geen toetse is op terrein D uitgevoer nie, aangesien die skuins boorgate praktiese probleme skep.

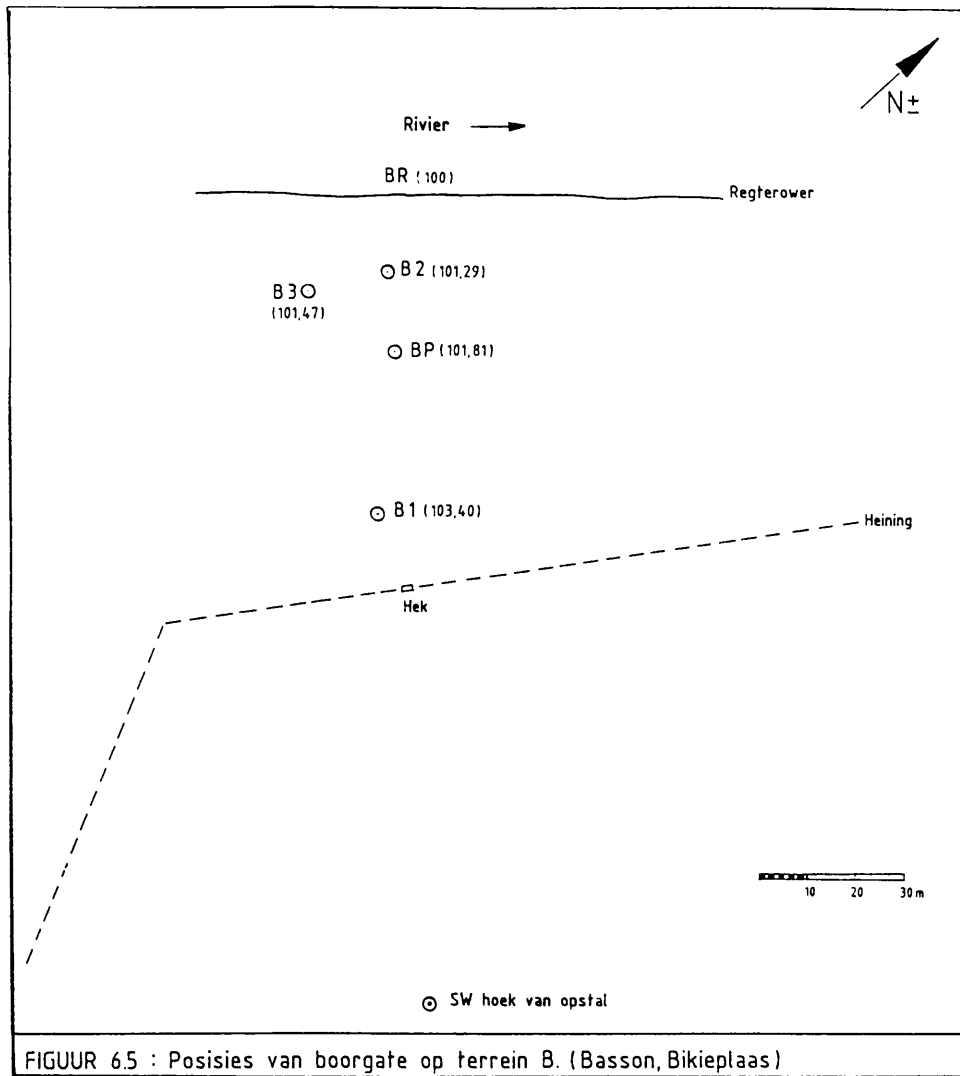
Die bepaling van die diameter van die gate is gedoen om met meer sekerheid te kan bepaal waar swak materiale of openinge voorkom waar wateraanvulling of -verliese plaasvind. Die watertemperatuur is gemeet om skielike veranderings vanweë eksterne bronne waar te neem. Die differensiële temperatuurskommeling gee 'n aanduiding van die aanvulling deur kleiner krake, openinge en nate.

Die gamma- en neutrontoetsmetodes gee 'n aanduiding van wisseling in digtheid van materiale op spesifieke dieptes.

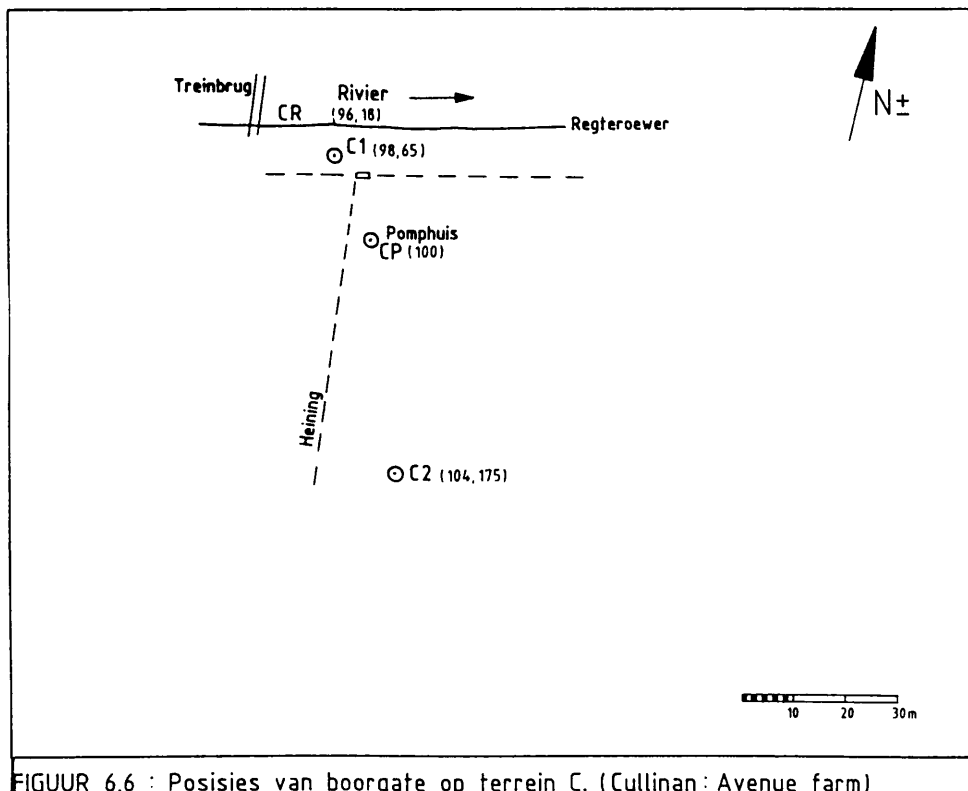
6.3.4 Oppervlak-geofisika

'n EM 31 apparaat is gebruik in die ondersoek. Dié apparaat is gekies aangesien daar slegs in die boonste 4 meter van die grondprofiel belang gestel is.

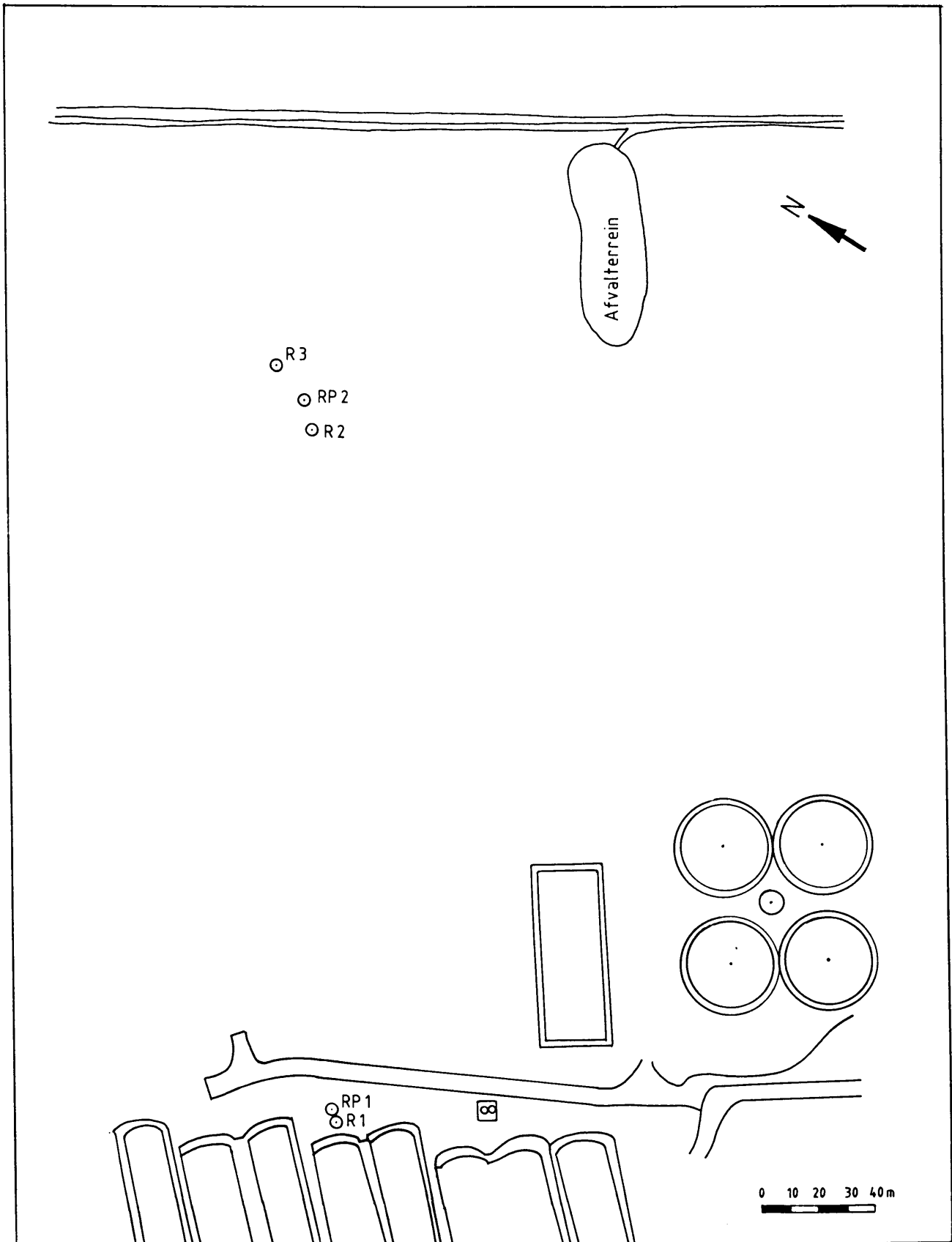
Terrein B is volledig ondersoek met 10 meter-stasie-intervalle en ongeveer 10 meter van ry tot ry (Figuur 6.8). As gevolg van praktiese probleme is terrein C deur middel van drie traverse deurkruis met 'n 5 meter stasie spasiëring (Figuur 6.9). Die westelike gedeelte van terrein A is deur middel van twee traverse gedek en die oostelike deel by boorgate R2 en R3, deur middel van van een lyn met 10 meter stasie intervalle (Figuur 6.10).



FIGUUR 6.5 : Posities van boorgate op terrein B. (Basson, Biekeplaas)



FIGUUR 6.6 : Posities van boorgate op terrein C. (Cullinan: Avenue farm)



FIGUUR 6.7 : Posities van boorgate op terrein A (Olifantsfontein Riaalwerke)

Daar is gehoop dat die inligting, tesame met die boorgatstate en die geofisiese boorgatlogstate 'n aanduiding sal gee van die bogrond se dikte oor groter dele van die studiegebied. Die boorgate alleen gee slegs 'n idee van die materiaal en deklaagmateriale se eienskappe in die onmiddellike omgewing van die spesifieke boorgat.

6.4 Hidrogeologiese ondersoeke

Hierdie ondersoeke is uitgevoer om meer omtrent die hidrologiese eienskappe van die deklaag en versadigde sone onder die watertafel uit te vind.

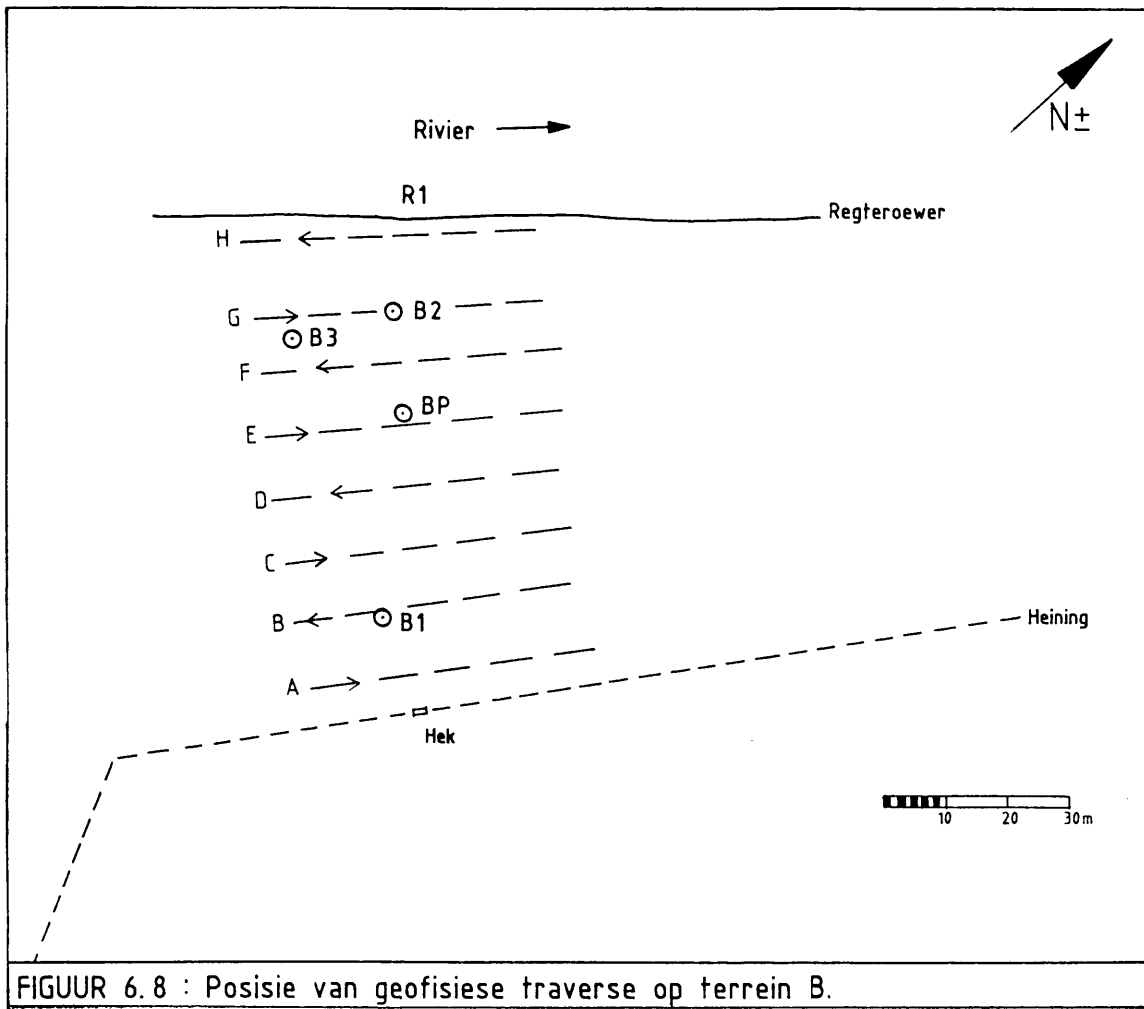
6.4.1 Monitering van watervlakke

Die monitering van watervlakke in boorgate, sowel as in riviere is 'n elementêre ondersoek, maar gee tog baie waardevolle inligting omtrent die vloeirigting van die grondwater, deurlatendheid van die waterdraer, aaneengeskakeldheid van riviere en ondergrondse waterkompartemente en aanvulling vanaf ander bronne. Die inligting is gebruik om bogenoemde eienskappe te bepaal en gevolglik is die onverwerkte data nie ingesluit in die verhandeling nie.

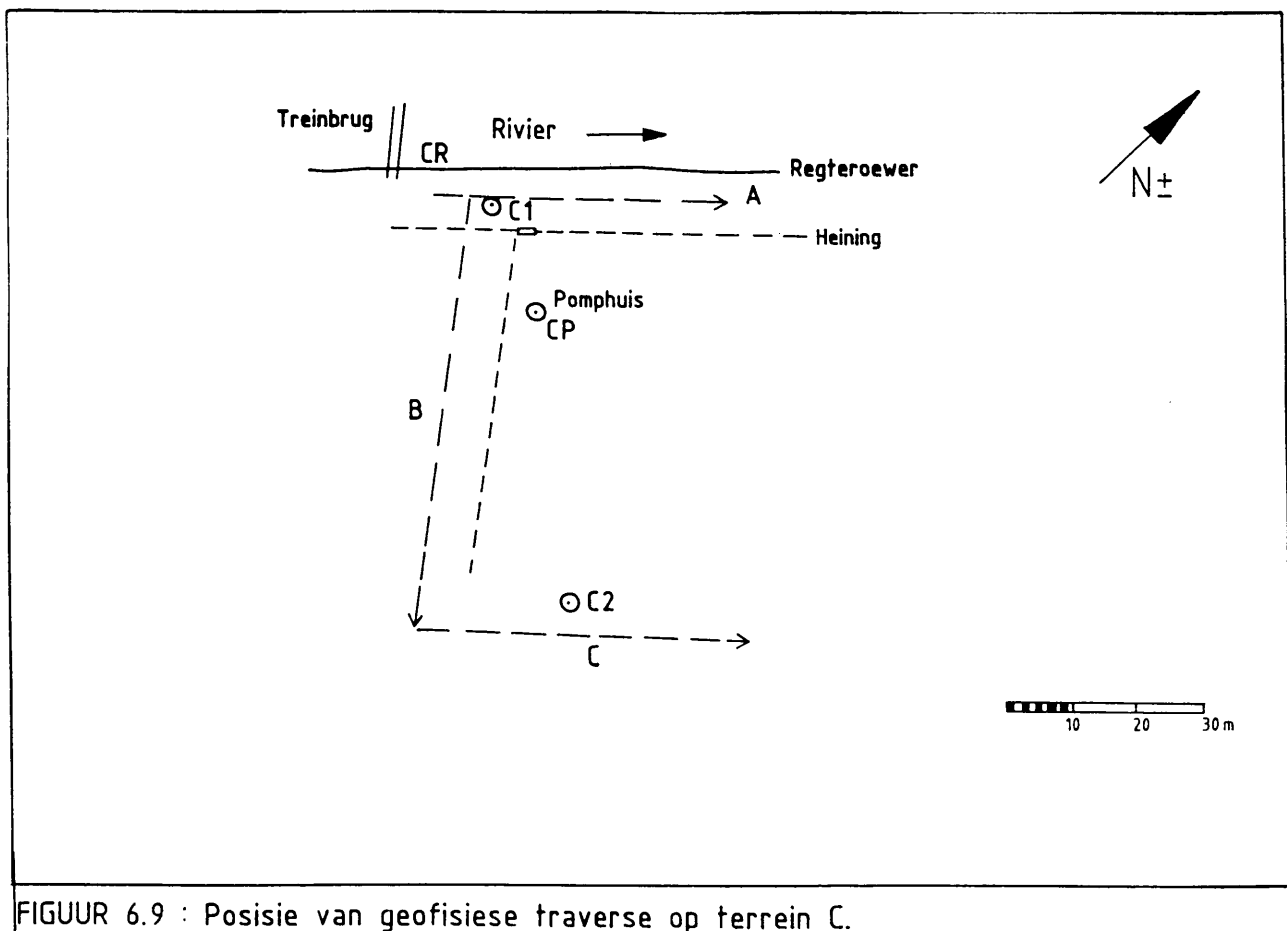
Gedurende die toets van boorgate, hetsy deur middel van pomptoetse of wegsyferingstoetse, speel die posisie van die watervlak die belangrikste rol om die eienskappe en gedrag van die waterdraer te bepaal.

6.4.2 Pomp- en wegsyferingstoetse

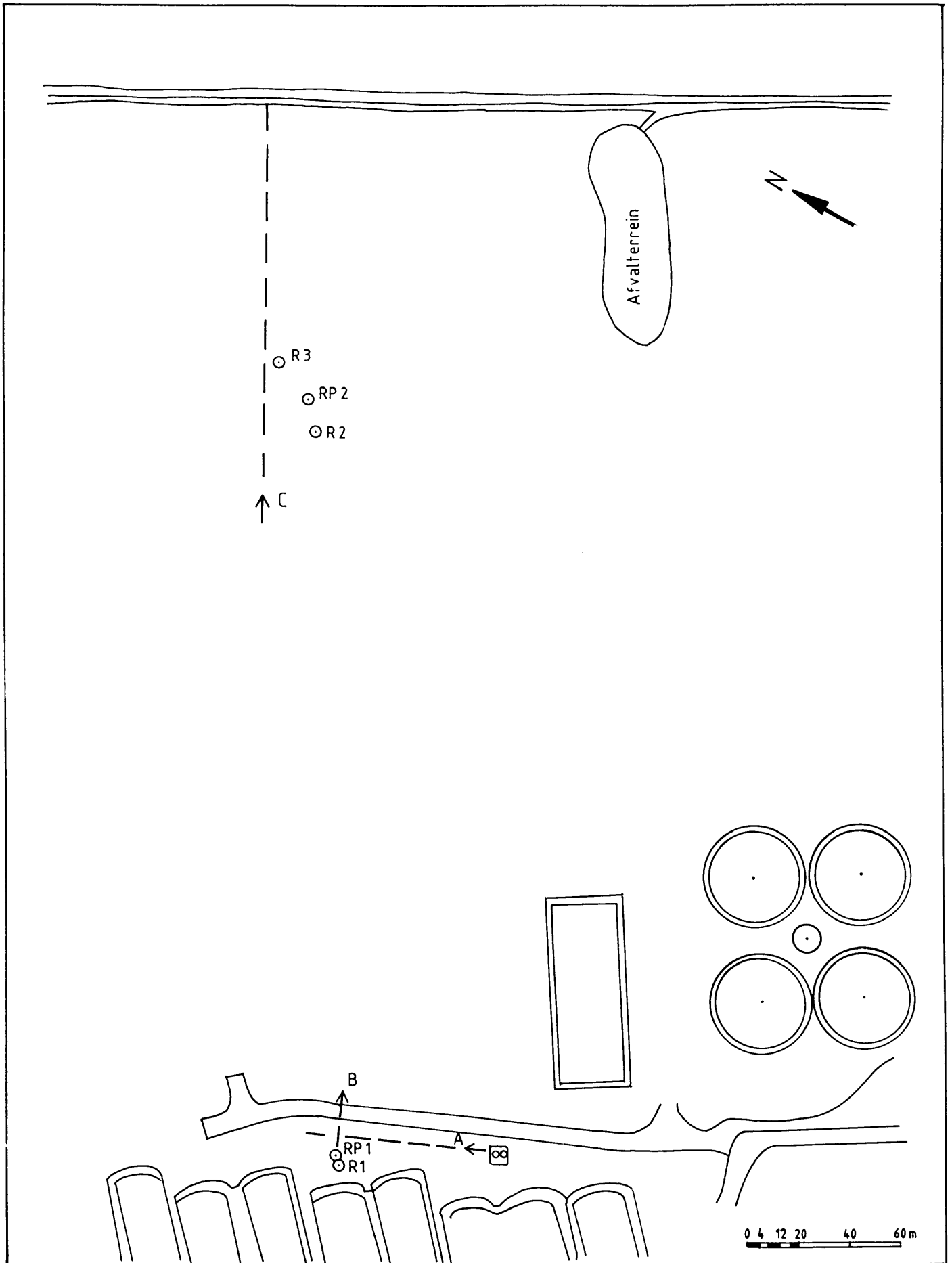
Twee verskillende soorte pomptoetse is uitgevoer. Op terreine B en C is van die produksieboorgate van die boere gebruik gemaak om water te onttrek en die diamantboorgate is as waarnemingsgate gebruik. Dit was nie moontlik om watervlakke in die produksieboorgate te meet nie, aangesien die pompe geen toegangspoorte besit nie. Aangesien daar geen pompe in die boorgate by die rioolwerke (Terrein A) geïnstalleer is nie, is daar van 'n kontrakteur gebruik



FIGUUR 6.8 : Posisie van geofisiese traverse op terrein B.



FIGUUR 6.9 : Posisie van geofisiese traverse op terrein C.



FIGUUR 6.10 : Posisie van geofisiese traverse op terrein A.

gemaak. Pompe is in die bestaande groot-diameterboorgate geplaas en R1, R2 en R3 is onderskeidelik as waarnemingsgate gebruik.

Deur van Theis se kurwe en Thiem metode gebruik te maak, is die koëffisiënt van deurlaatvermoë (T), die deurlatendheid (k) en die bergingskoëffisiënt (S) vir die terreine bepaal.

Die wegsyferingstoetse is op twee maniere uitgevoer. Daar is van die konstantehoogte-wegsyferingstoets gebruik gemaak om eerstens die totale boorgat se deurlatendheid te toets en tweedens die gedeelte bo die watertafel. Tabel 6.2 gee 'n aanduiding van die tipe toetse wat in die verskillende boorgate uitgevoer is.

TABEL 6.2
TOETSE WAT IN DIE VERSKILLENDE BOORGATE UITGEVOER IS

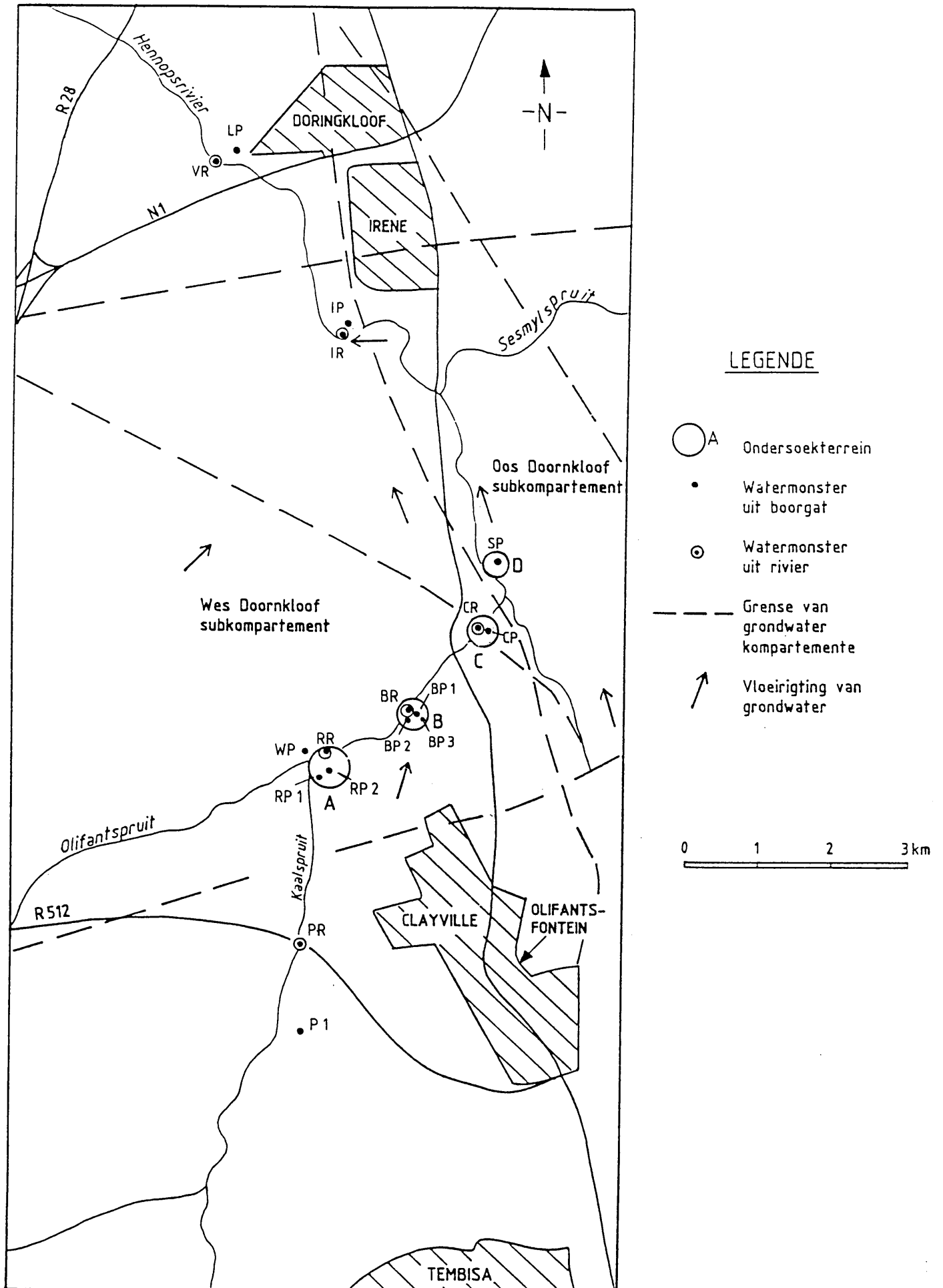
Tipe toets	Boorgat nommer
Pomptoets in produksieboorgat	B2, C1, C2
Pomptoets deur kontrakteur	R1, R2, R3
Wegsyfertoets - Totale boorgat	B2, B3, C1, C2, R1, R2, R3
Wegsyfertoets - bo watervlak	B2, C2

6.4.3 Ontledings van watermonsters

Ontledings van rivierwater is gedoen om die kwaliteit van die belangrikste potensiële besoedelingsbron, die Kaalspruit, te bepaal. Die neem van monsters vanaf net suid van Tembisa tot so ver as die brug oor die Hennopsrivier by Centurionpark, is uitgevoer om die bydrae van ander ontwikkeling langs die rivier te evalueer. Die posisies van die monsterpunte kan op Figuur 6.11 gesien word.

6.5 Laboratoriumtoetse

Deurlatendheidstoetse op verskillende soorte materiale wat in die studiegebied voorkom is in die laboratorium gedoen. 'n Selfontwikkelde permeameter is gebruik, aangesien die beskikbare monsters nie van die regte grootte was om in 'n standaardapparaat getoets te word nie. Die 54mm diameter monsters is



FIGUUR 6.11 : POSISIES EN NOMMERS VAN MONSTERPUNTE

met 'n dubbelwand kernbuis herwin en met was in 'n 60mm PVC pyp verseël. Voor toetsing is die kernstukke afgesaag en die monsters in water versadig. Die permeameter bestaan uit 'n 1,0 meter lang buis met 'n skroefdraad aan die onderkant waaraan elke monsterbuis vasgekroef word om dit te toets. 'n Oorloop aan die bokant verseker dat die waterkolom te alle tye konstant bly in die geval waar geen addisionele druk op die waterkolom geplaas is nie (Foto 6.1). In die gevalle waar die deurlatendheid baie laag was, is daar deur middel van 'n kompressor 'n konstante druk op die monster geplaas (Foto 6.2). Die onderkant van die monster wat getoets is, is met geotekstiel bedek en in water geplaas om te verhoed dat suigspannings die deurlatendheid beïnvloed.

Die hoeveelheid water wat deur die monster in 'n sekere tyd beweeg het, is gemeet. Nege monsters is geneem en sommige toetse is gedupliseer. Tabel 6.3 gee 'n aanduiding van die tipe materiaal wat getoets is, sowel as die boorgat en diepte waar dit geneem is.

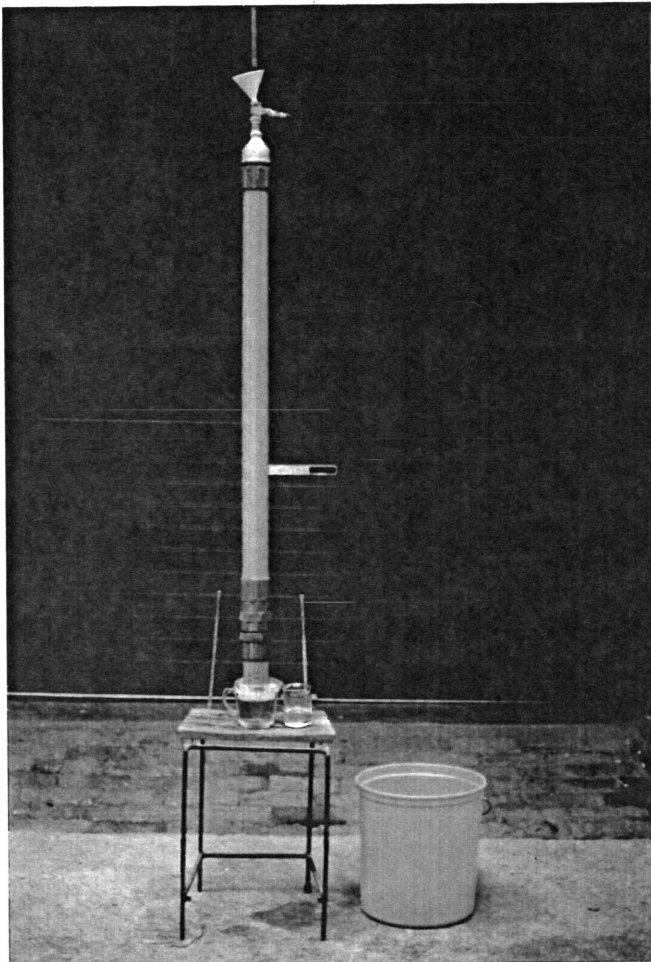


FOTO 6.1
PERMEAMETER SONDER DRUKLUG

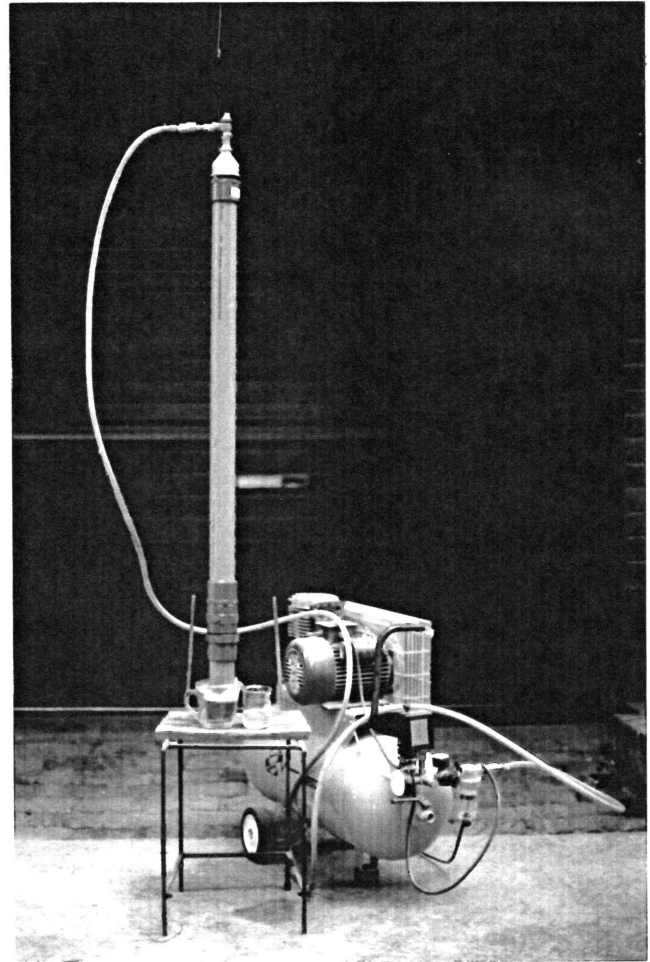


FOTO 6.2
PERMEAMETER MET KOMPRESSOR

TABEL 6.3
MONSTERS GENEEM VIR TOETSING IN DIE LABORATORIUM

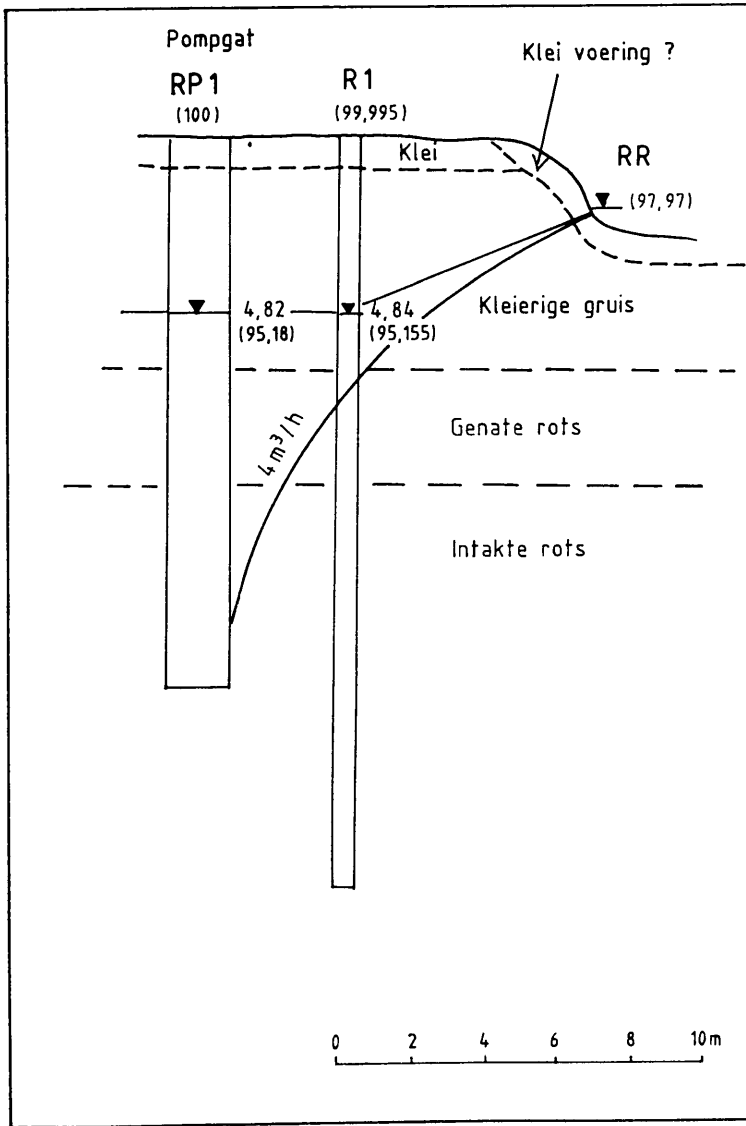
Boorgatnr	Diepte (m)	Materiaal
B2	1,55	Heuwelspoelsel
B2	7,70	Siënië-totaal verweer
B2	8,52	Siënië - totaal verweer (geel)
B3	3,53	Chert en sand
B3	4,36	Chert en growwe sand
B3	5,19	Chert en sand
R1	0,70	Deklaagmateriaal: kleierige sand
(2x) R3	4,00	Siënië - totaal verweer

6.6 Resultate van die ondersoek

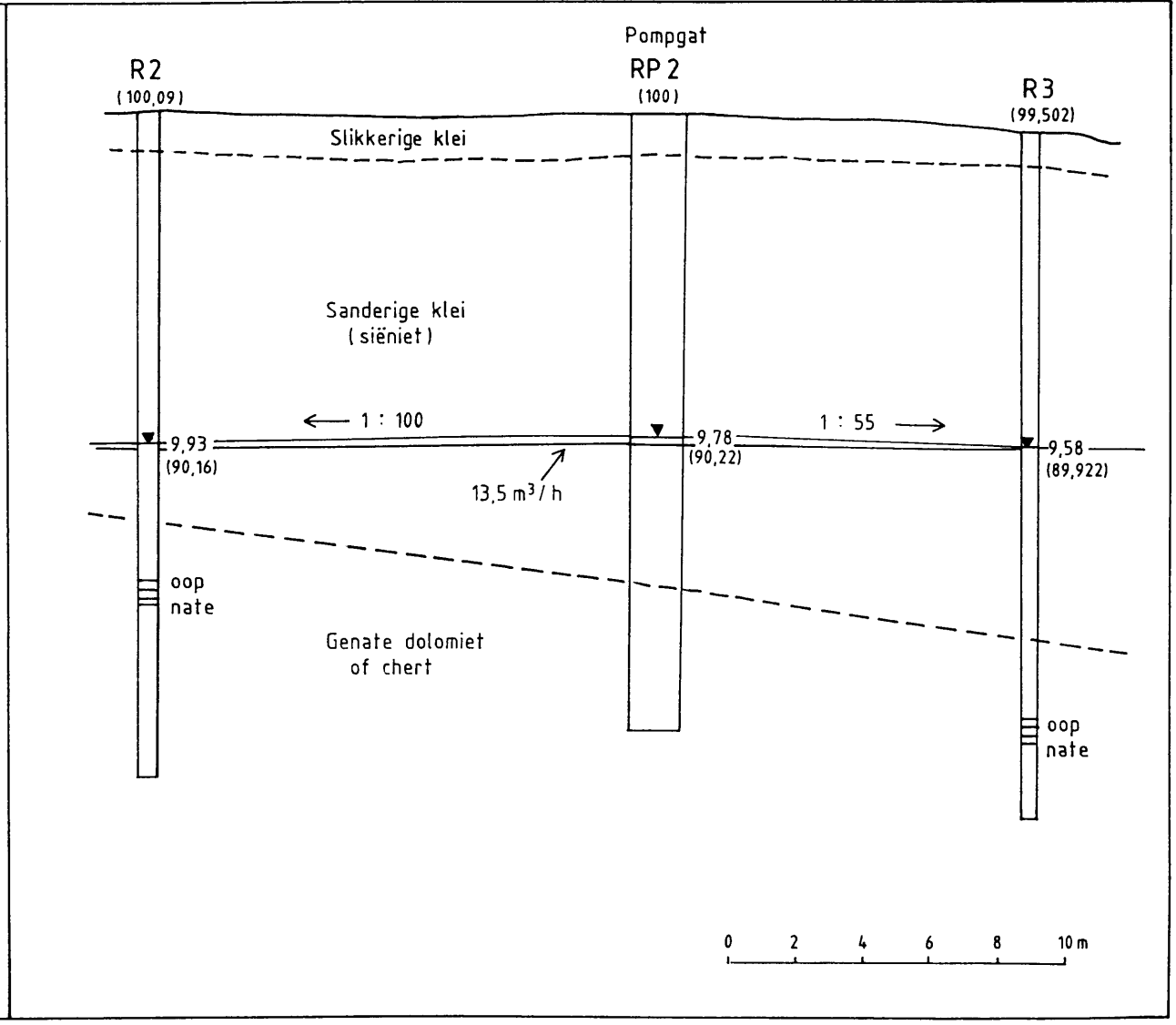
6.6.1 Boorwerk

Volledige boorgatstate verskyn in Bylae A, terwyl foto's van die kern in Bylae B, bestudeer kan word. Geologiese profiele verskyn in Figure 6.12 tot 6.16. Op die sketse word die watervlakke, aftrekking gedurende pomptoetsing, berekende lewering, gradiënt sowel as besoedelingsvlakke aangetoon. 'n Volledige legende verskyn op bladsy 130.

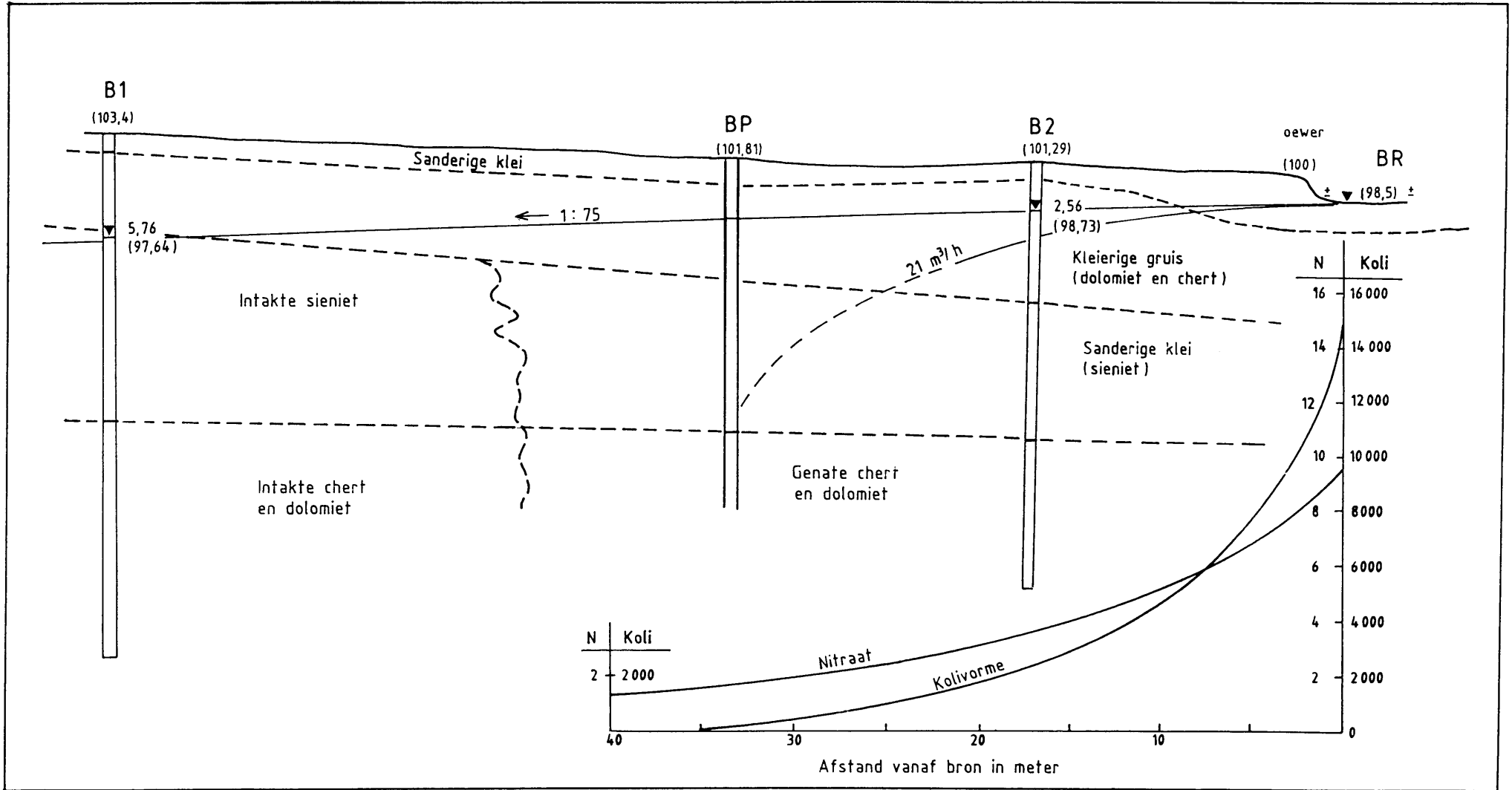
Die doel van die boorwerk was tweeledig. Eerstens kon vasgestel word welke materiaal onderliggend voorkom en tweedens is die gate gebruik om pomptoetse in uit te voer. Vir pomptoetse moes openinge of oplossingsholtes wat water bevat, raakgeboor word. Die spesifieke holte moes verder in verbinding wees met die produksieboorgat. Hiervolgens was die boorgate op terreine A, B en C uiters suksesvol. Op terrein D is daar wel oplossingsholtes raakgeboor, maar die watervlak was te diep om sinvolle deurlatendheidstoetse uit te voer.



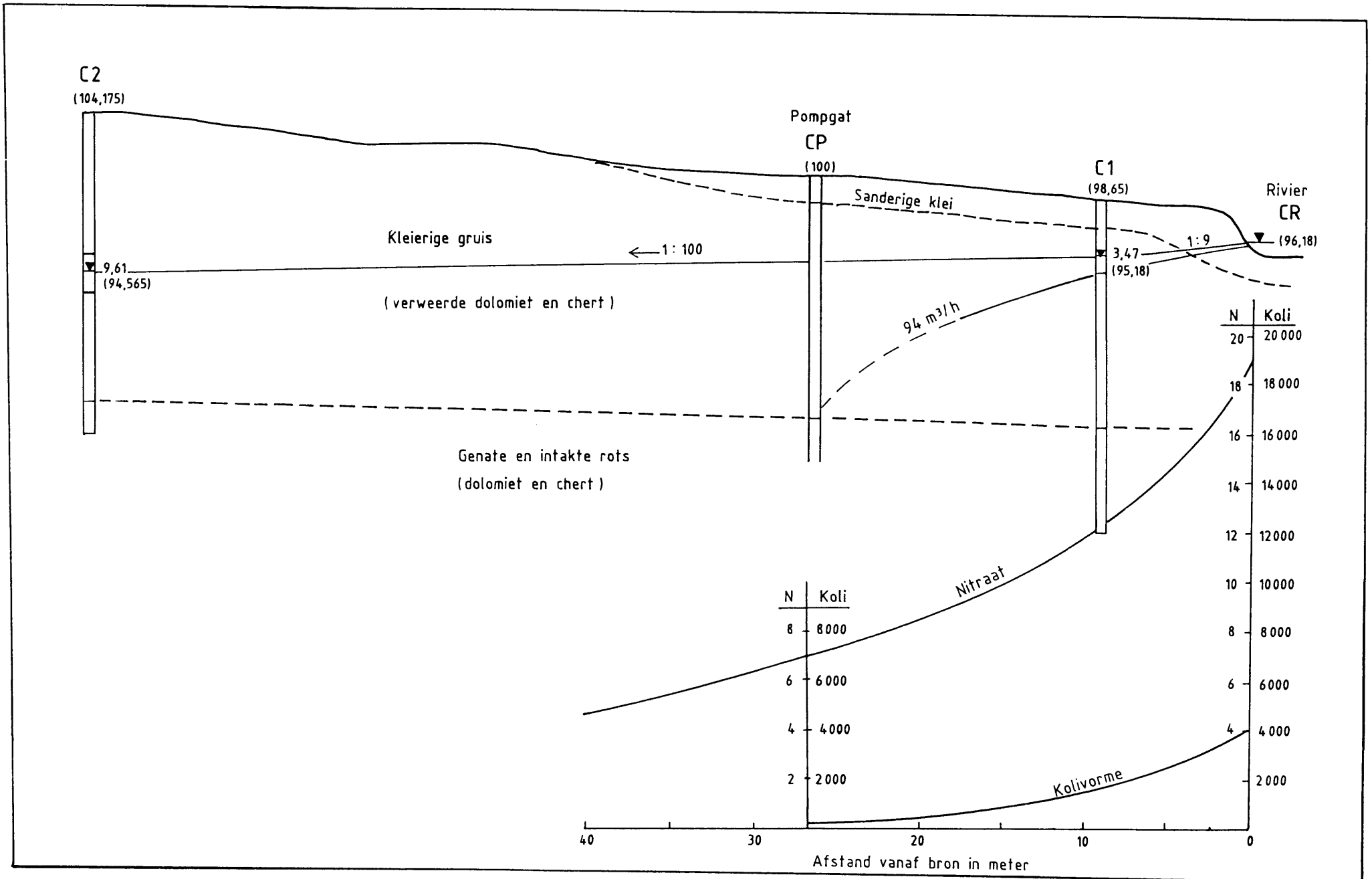
FIGUUR 6.12 : Profiel deur die weste van terrein A.



FIGUUR 6.13 : Profiel deur die ooste van terrein A.

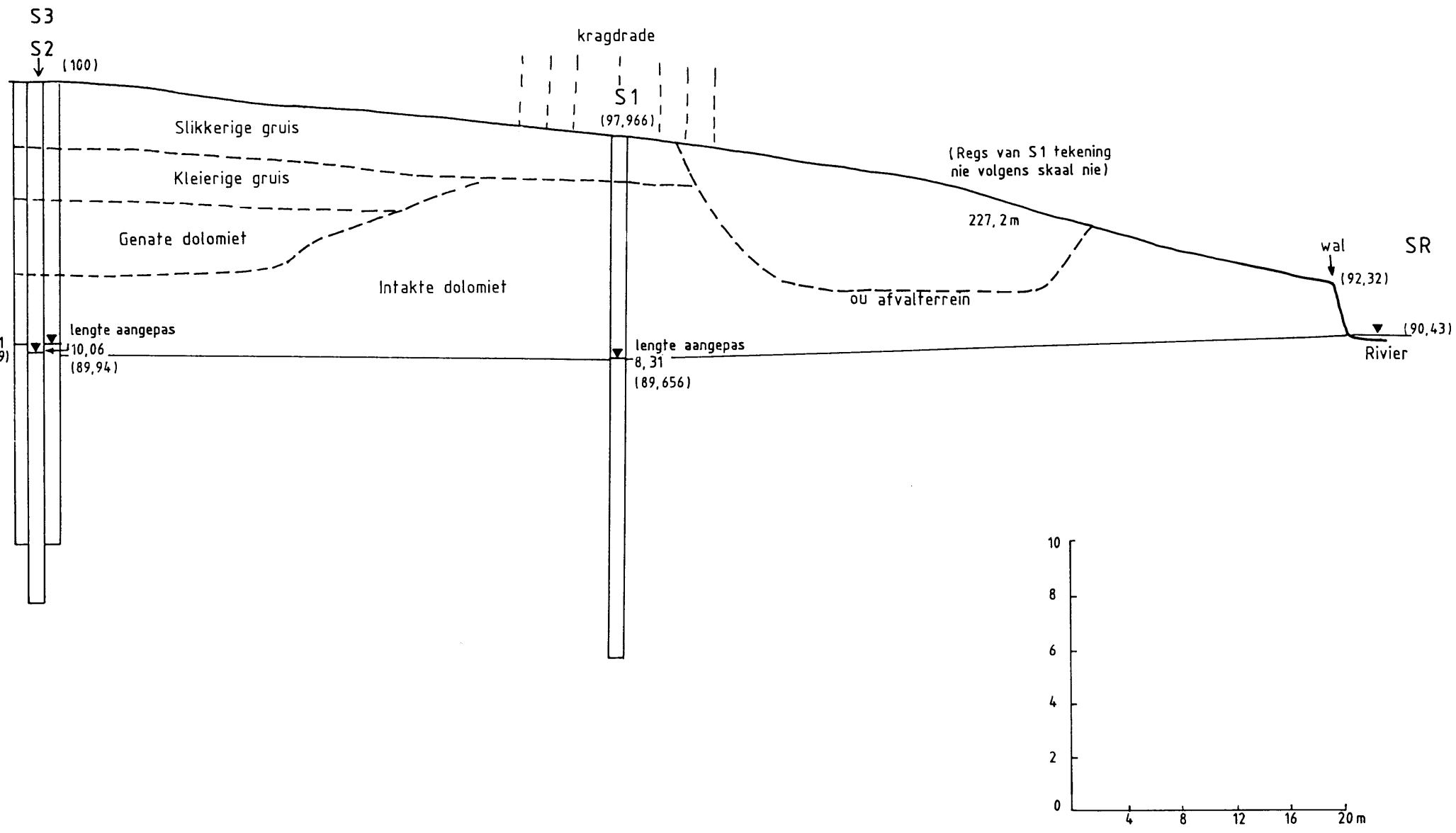


FIGUUR 6.14 : Profiel deur terrein B.



FIGUUR 6.15 : Profiel deur terrein C.

Digitised by the Department of Library Services in support of open access to information, University of Pretoria 2021



FIGUUR 6.16 : Profiel deur terrein D : Samancor: ou afvalterrein.

RP 1	Boorgatnommer
(98,4)	Relatiewe hoogte
▼	Watervlak
4 m ³ /h	Lewering waarteen boorgat getoets is
1 : 100	Gradiënt van watervlak
--- --	Geologiese kontak
- - - -	Aftrekking wat ontstaan agv pumping

Legende (Figure 6.12 - 6.16)

Aangesien daar van diamantboorwerk gebruik gemaak is, kon akkurate beskrywings van die tipe en diepte van materiale gemaak word. Die materiale en gesteentes wat gevind is, kan in vier groepe ingedeel word:

- (i) Deklaagmateriale (vervoer)
- (ii) Dolomitiese bodemrots
- (iii) Intrusiewe gesteentes
- (iv) Ander dolomities-geassosieërde gesteentes

Die hoeveelheid van elke soort materiaal word op Figure 6.17 tot 6.20 aangedui.

(i) Deklaagmateriale

Die deklaagmateriale is deurgaans as heuwelspoelsel geklassifiseer. Kombinasies van gruis, sand, slik en klei is op al vier die terreine aangetref. Die dikte van die vervoerde materiaal wissel van 0,22 meter in S2 tot 2,5 meter in B1, terwyl deklaagmateriaal totaal afwesig is in C2 en S3. Op terreine B en C het sanderige en kleierige materiaal oorheers, terwyl meer slikkerige sand en klei kombinasies op terrein A aangetref is. Terrein D is die enigste terrein waar gruis, sand, slik en klei saam voorkom.

(ii) Bodemrots

Die bodemrots wissel baie in samestelling, van chertarm tot chertryke dolomiet en behoort tot die chertryke Monte Cristo Formasie op terrein A, B en C en tot die chertarm Lyttelton Formasie op Terrein D. In al die boorgate wissel die verweringsgraad van die bodemrots aansienlik. As gevolg van die teenwoordigheid van oplossingsholtes kan daar in die bestek van een meter van totaal onverweerde rots na totaal verweerde oop holtes, beweeg word. In die holtes vind totale waterverlies tydens die boorwerk plaas. Die dolomitiese gesteentes wissel verder van fyn- tot mediumkorrelrig en van baie donker grys in kleur tot wit, as dit chertryk is.

(iii) Intrusiewe gesteentes

Die teenwoordigheid van siëniëttindringings is op terrein A en B bevestig. In boorgat B1 (terrein B) is die siëniëtt onverweerd en kom op 'n diepte van 5,36 tot 9,15 meter voor. In die gebied aangrensend aan die rivier, is siëniëttbrokstukke in totaal verweerde siëniëtt, nou sanderige klei, aangeterf. In B2 het dit gestrek van 7,66 tot 15,16 meter.

Op terrein A, kom siëniëtt op redelike vlak dieptes voor. Op 0,98 meter is totaal verweerde siëniëtt aangetref. Dit strek tot op 7,74 meter, waar dit oorgaan in 'n harder minder verweerde toestand. Daarvandaan wissel dit in verweringsgraad tot op 12,15 meter waaronder medium verweerde dolomiet bodemrots voorkom. Aangesien R3 naby aan R2 geleë is, kom min of meer soortgelyke toestande daar voor. Totaal verweerde siëniëtt strek van 1,46 meter tot 9,71 meter, waar dit oorgaan in mediumverweerde siëniëttkernstukke. Op 15,02 meter kom daar 'n holte van 24 cm voor wat die kontaksones tussen die siëniëtt en die dolomiet verteenwoordig.

(iv) Ander gesteentes

Die verspreiding van ander dolomitiese-geassosieëerde gesteentes kan in Tabel 6.4 gesien word.

TABEL 6.4
ANDER GESTEENTES IN DIE STUDIEGEBIED

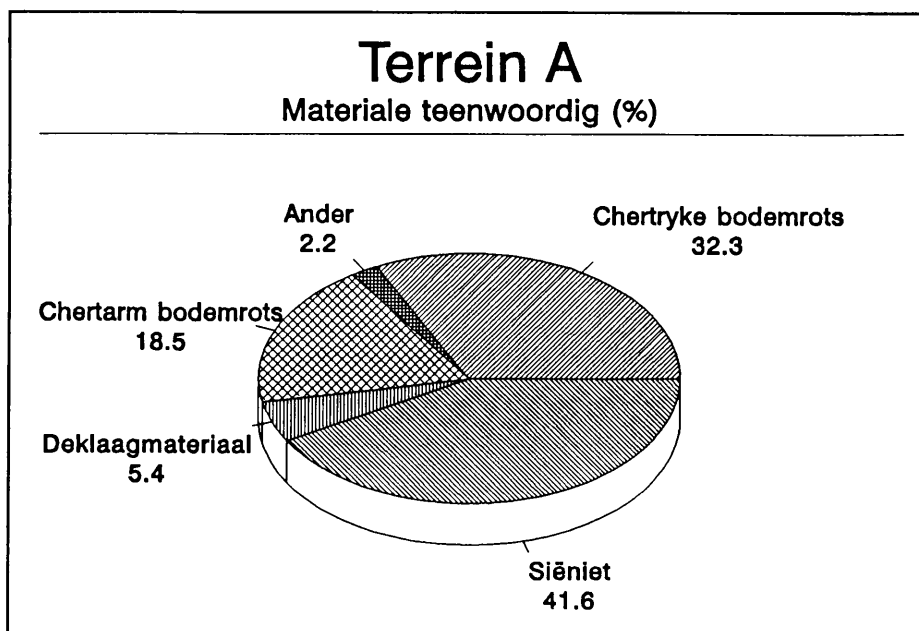
Boorgat nr	Diepte	Gesteente
B1	14,82 - 15,10	Kalkagtige wit gesteente
B3	13,65 - 15,00	Dolomiet breksie
C1	8,85 - 10,77	Wad
	11,88 - 13,80	Wad
C1	18,48 - 18,88	Skalie
	18,88 - 20,10	chert/skalie breksie
C2	11,00 - 17,66	Wad
S1	13,50 - 14,21	Moddersteen/ skalie
	17,10 - 17,64	Moddersteen/ skalie
S2	4,31 - 5,10	Wad
	19,00 - 20,30	Skalie
R2	0,77 - 0,98	Wad
R3	15,02 - 16,16	Skalie

Figure 6.17 tot 6.20 toon die persentasies aan wat elke gesteente of materiaal op elke terrein verteenwoordig.

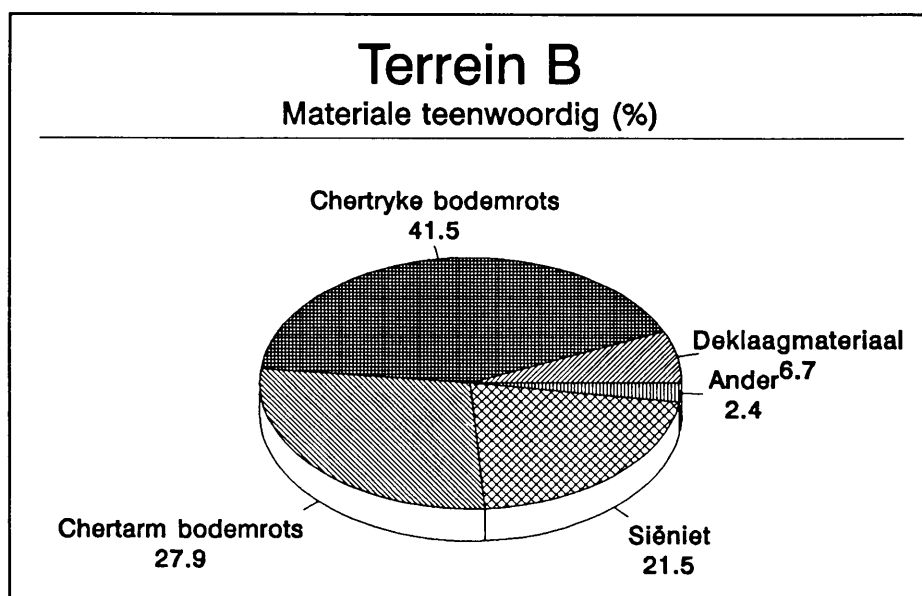
Sowat twee maande nadat boorwerk voltooi is, het byna al die moddersteen en skalie wat voorkom óf tekens van blussing getoon, of totaal opgebreek.

Op grond van visuele beoordeling van die boorkern is die volgende afleidings aangaande die deurlatendheid van verkillende materiale gemaak:

- Die kleierige deklaagmateriale se deurlatendheid is baie laag in vergelyking met die meer sanderige materiale.
- In die bodemrots sal waterbeweging alleenlik plaasvind in sones waar oop nate of holtes voorkom.



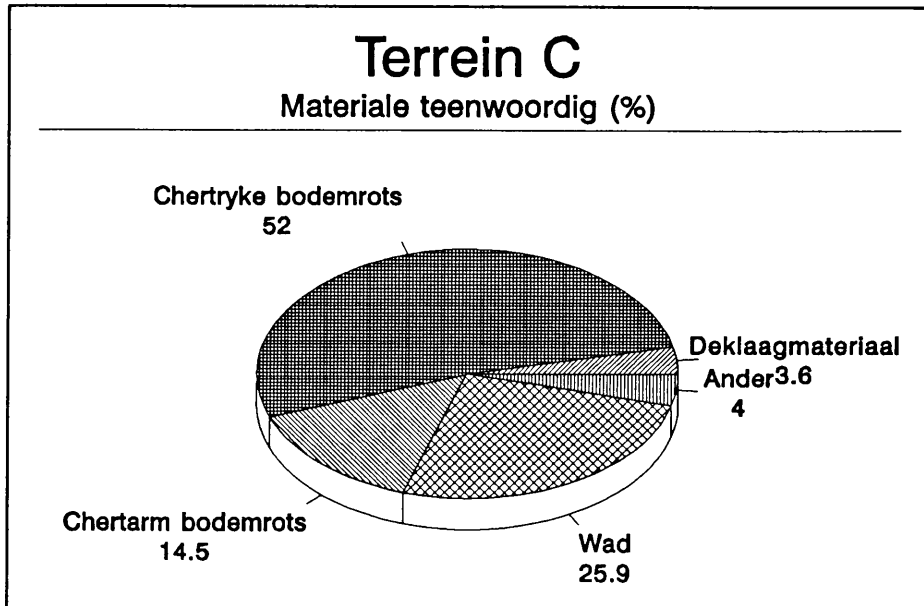
Figuur 6.17



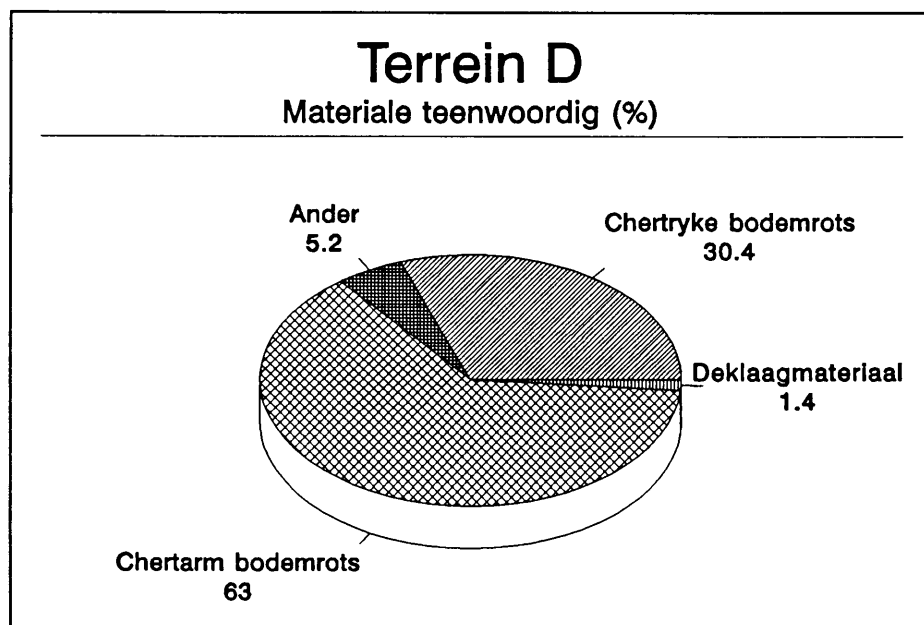
Figuur 6.18

- Die onverweerde siënië dien as waterkeerbank en geen tot baie min waterbeweging sal daardeur plaasvind.
- Die effens- en totaal verweerde siënië bevat redelik baie klei en lae deurlatendheid word verwag.

Toetse in die veld en in die laboratorium is gedoen om bevestiging van bogenoemde aannames te verkry.



Figuur 6.19



Figuur 6.20

6.6.2 Geofisiese boorgatlogstate

Die geofisika wat in die boorgate uitgevoer is, het baie nuttige resultate gelewer. Buiten die bepaling van kontaksones, is die bepaling van die oplossingsholtes se posisies in dolomietareas baie waardevol. Deur al die data te vergelyk, verhoog dit die

akkuraatheid van die inligting wat reeds ingesamel is. 'n Nadeel verbonde aan die metodes, spesifiek in dolomietareas, is die risiko wat geloop word wanneer die toetsapparaat in die boorgate laat sak word. As gevolg van die teenwoordigheid van oplossingsholtes, ongelyke wande en skielike verandering van verweringsgraad van die gesteentes, is die moontlikheid dat die gate kan toeval, terwyl die apparaat in die boorgate is, groter as in ander geologiese omgewings.

Die logstate van die toetse wat in die verskillende boorgate uitgevoer is, verskyn op Figure 6.21 tot 6.23. Die legende verskyn op bladsy 139. Ongelukkig is slegs drie boorgate se resultate ontvang, naamlik B1, B2 en C2.

(i) Absolute temperatuur

Die meet van die absolute temperatuur het in al die gevalle min verandering met toename in diepte getoon. Dit word toegeskryf aan die feit dat die boorgate redelik vlak is. Waardes van $15,8^{\circ}$ tot $17,8^{\circ}\text{C}$ is gemeet. As daar aanvulling vanaf 'n ander waterdraer met 'n hoër watertemperatuur plaasvind, soos op 9m in B2, vind effense styging plaas. Daling in temperatuur vind plaas as daar van die lug in die water in beweeg word. Die verandering in die grafiek van C2 op 10m, dui dit aan.

(ii) Differensiële temperatuur

Die meet van die differensiële temperatuurwisseling wat tot 'n akkuraatheid van $0,01^{\circ}\text{C}$ gemeet word, is baie nuttig. Deur variasie van die temperatuur waar te neem, kan in al die boorgate, posisies van watervloei-aanvulling duidelik waargeneem word. Die metode is egter slegs geldig indien onttrekking van grondwater in die omgewing plaasvind.

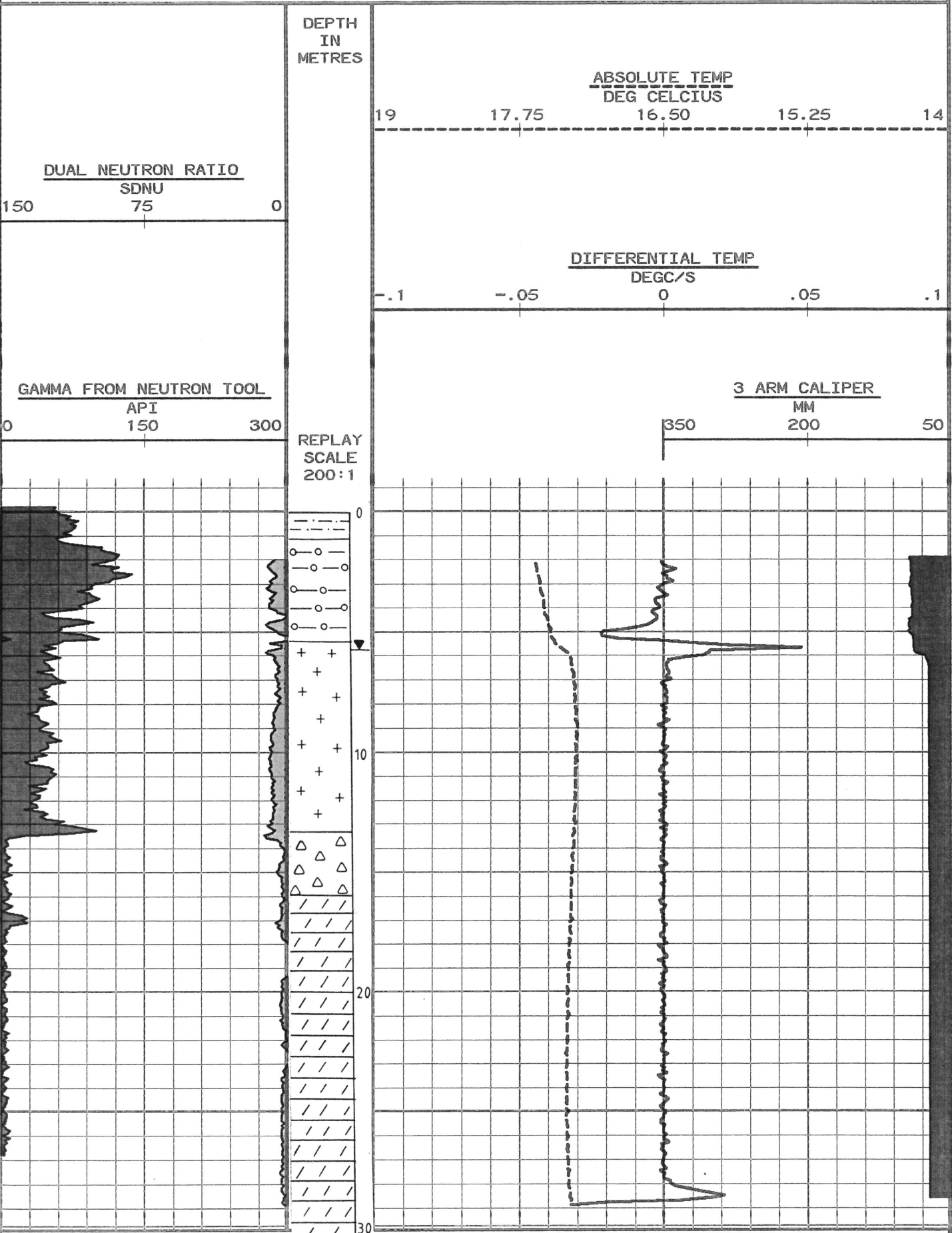
In Boorgat C2 kan 'n duidelike wisseling in die grafiek op 9,5m waargeneem word. Dit bevestig die aanname wat gemaak is dat aanvulling vanaf 'n ander bron op die posisie plaasvind. Op terrein B was die produksieboorgat nie aangeskakel nie en soortgelyke gevolgtrekkings kan nie gemaak word nie.

B1 COLOUR LITHOLOGY

FIGUUR 6.21

DEPTH BASED DATA - MAXIMUM SAMPLING INCREMENT 1CM. RECORDED ON 12-AUG-1993 AT 14:27

FILENAME: MRGEXXXX.CIB RUN ID: B1 COLOUR LITHOLOGY PLOTTED ON 12-AUG-1993 AT 15:23



DEPTH BASED DATA - MAXIMUM SAMPLING INCREMENT 1CM. RECORDED ON 12-AUG-1993 AT 14:27

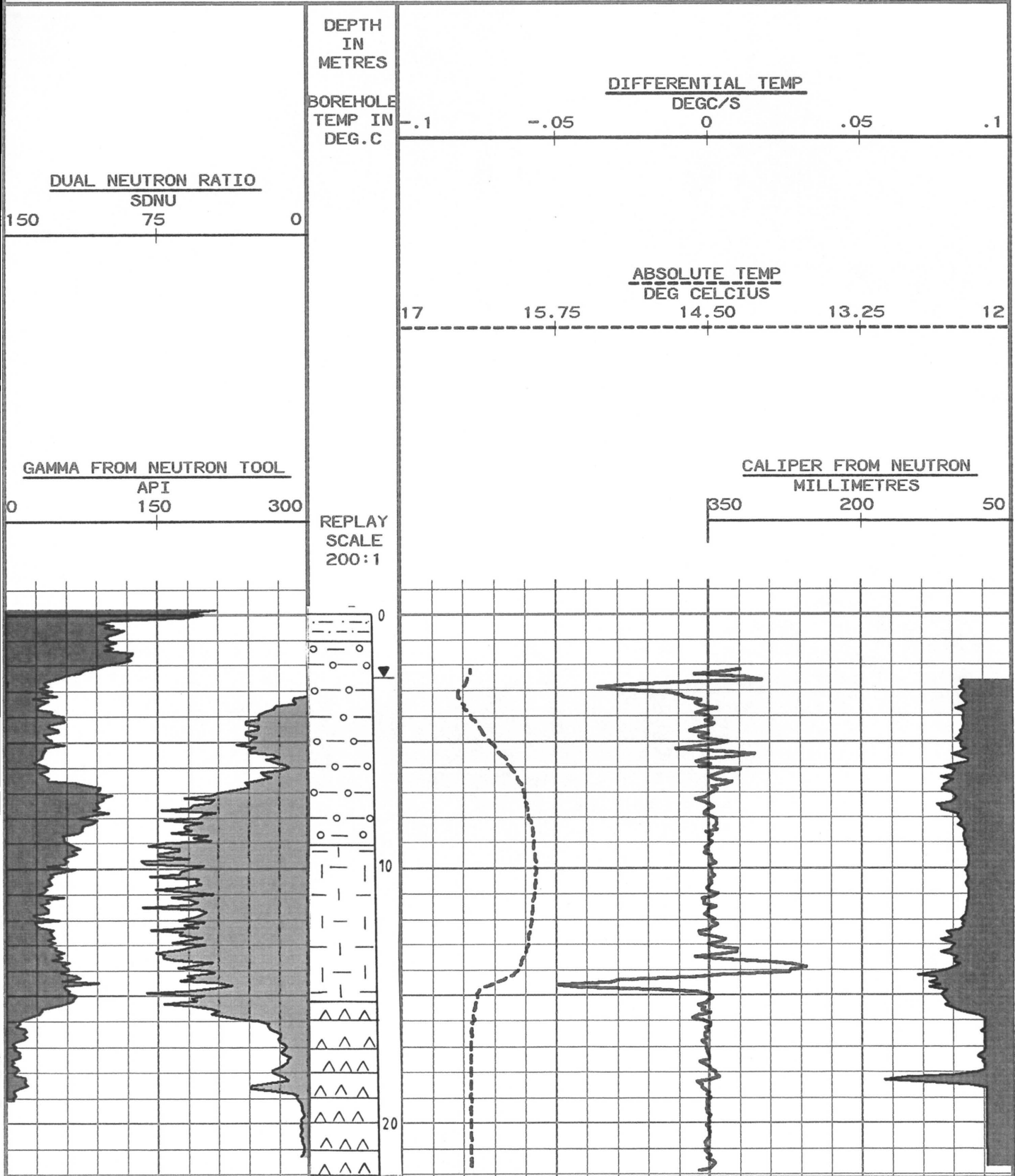
FILENAME: MRGEXXXX.CIB RUN ID: B1 COLOUR LITHOLOGY PLOTTED ON 12-AUG-1993 AT 15:23

B1 COLOUR LITHOLOGY

B2 COLOUR LITHOLOGY

FIGUR 6.22

DEPTH BASED DATA - MAXIMUM SAMPLING INCREMENT 1CM. RECORDED ON 10-AUG-1993 AT 14:08
FILENAME: MRGEB002.CIB RUN ID: B2 COLOUR LITHOLOGY PLOTTED ON 12-AUG-1993 AT 13:54



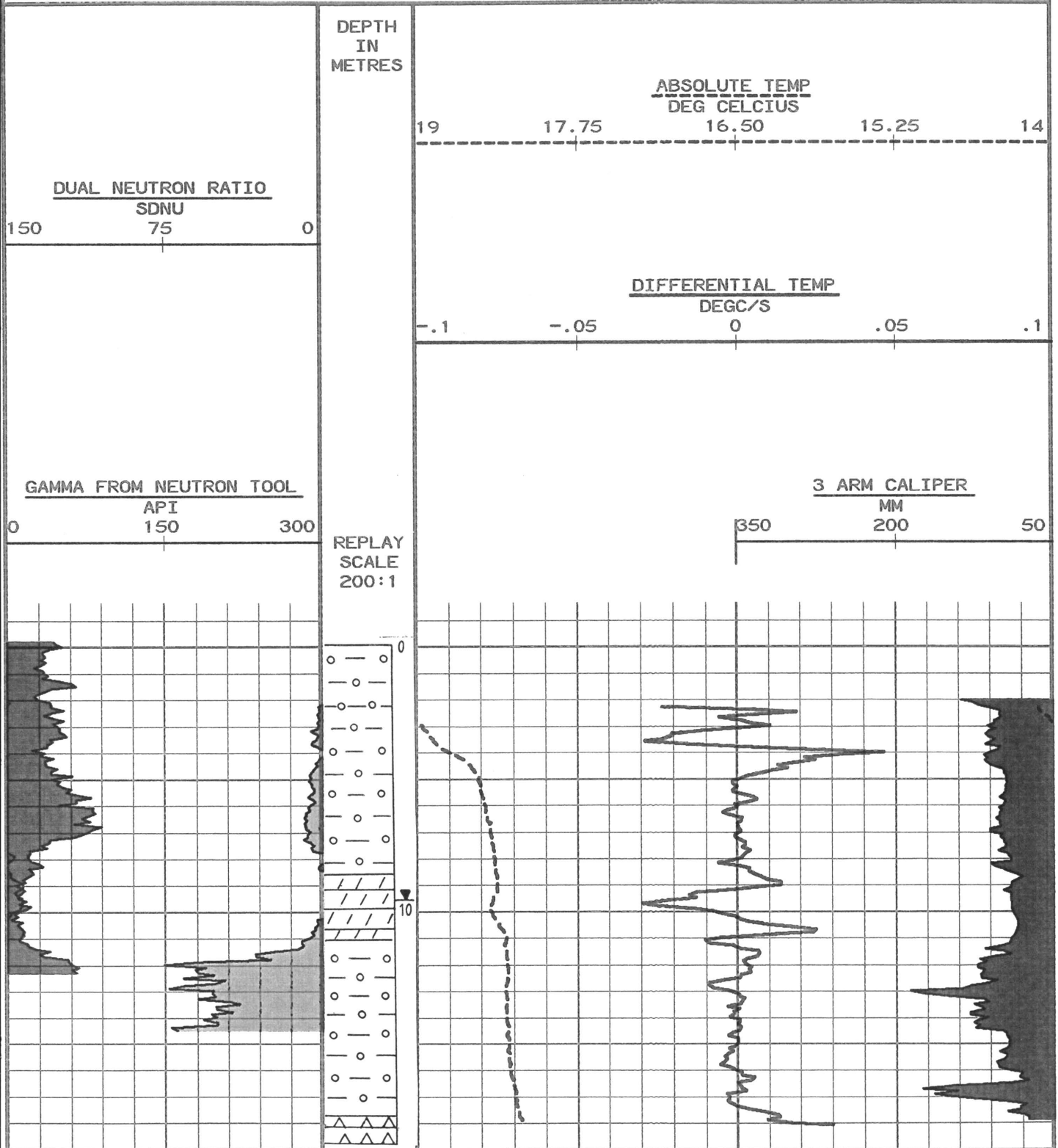
DEPTH BASED DATA - MAXIMUM SAMPLING INCREMENT 1CM. RECORDED ON 10-AUG-1993 AT 14:08
FILENAME: MRGEB002.CIB RUN ID: B2 COLOUR LITHOLOGY PLOTTED ON 12-AUG-1993 AT 13:54

B2 COLOUR LITHOLOGY

C2 COLOUR LITHOLOGY








FIGUUR 6.23

DEPTH BASED DATA - MAXIMUM SAMPLING INCREMENT 1CM. RECORDED ON 12-AUG-1993 AT 15:32
FILENAME: MRGEZZZZ.CIB RUN ID: C2 COLOUR LITHOLOGY PLOTTED ON 12-AUG-1993 AT 16:06



DEPTH BASED DATA - MAXIMUM SAMPLING INCREMENT 1CM. RECORDED ON 12-AUG-1993 AT 15:32
FILENAME: MRGEZZZZ.CIB RUN ID: C2 COLOUR LITHOLOGY PLOTTED ON 12-AUG-1993 AT 16:06

C2 COLOUR LITHOLOGY

	Sanderige klei : Deklaag
	Sanderige klei : Verweerde Siënië
	Kleierige gruis : Verweerde dolomiet met holtes of chert
	Hoogs genate dolomiet, chert of siënië
	Intakte rots : Siënië
	Intakte rots : Dolomiet
	Intakte rots : Chert

Legende (Figure 6.21 - 6.23)

(iii) Boorgatpasser

Die meet van die diameter van die boorgat met 'n boorgatpasser dui die posisies van swak sones en oplossingsholtes in die boorgate aan. Deur die data met boorkern te vergelyk, kan nuttige afleidings gemaak word omtrent die presiese posisies van openinge. As die inligting met die differensiële temperatuurwisseling vergelyk word, word gevind dat ooreenkomste voorkom, aangesien watervloei, oplossingsholtes en skommeling in temperatuur verband hou met mekaar.

Uit B1 kan gesien word dat die siënië wat op 5,5m aangetref word, onverweer en sonder openinge is. Dieselfde geld vir die dolomiet en chert wat vanaf 11m voorkom. Boorgate B2 en C2 se wande is egter baie ongelik en openinge en oplossingsholtes kom deurgaans voor. As die boorgatstate (Bylae A) met die geofisiese boorgatstate vergelyk word, korreleer die totaal verweerde siënië sone in B2 op 13,48m goed. Uit die state is die totaal verweerde dolomiet vanaf 17,9 tot 18,47m duidelik sigbaar. In C2 is die sone van 11 tot 19m as hoogs tot totaal verweerd beskryf en die uiters wisselende deursneë van die boorgat dui daarop.

(iv) Gamma en Neutron

Die gamma- en neutron-logs gee 'n aanduiding van verandering in digtheid van die gesteentes. Duidelike vorm- en waardeverandering

is waargeneem in al die boorgate by kontakte tussen siënië en dolomiet. Tabel 6.5 dui die veranderinge in die grafiek aan, sowel as die gesteentes wat daar aangetref is toe geboor is.

TABEL 6.5
KORRELASIE TUSSEN GEOFISIËSE SONDERING EN GEOLOGIE

Boorgat Nommer	Diepte (m) Geofisiese staat	Diepte (m) Geprofileer	Materiaal
B1	0 - 5,2	0 - 5,12m	Deklaagmateriaal en totaal verweerde dolomiet en siënië
	5,2 - 13,2	5,12 - 29,92	Med tot onverweerde dolomiet en chert
	13,2 - 29,0		
B2	0 - 2	0 - 2,25	Alluvium en totaal verweerde siënië
	2 - 7,5	2,25 - 7,66	Chert
	7,5 - 15	7,66 - 15,16	Siënië
	15 - 21	15,16 - 23,31	Dolomiet
C2	0 - 6,9	0 - 7,27	Chert in slijk, sand en klei
	6,9 - 7,8	7,27 - 7,62	Wad en chert
	7,8 - 11,0	7,62 - 11,0	Effens tot medium verweerde dolomiet
	11,0 - 14,5 (*)	11,0 - 14,5 (*)	Totaal verweerde dolomiet en chert

(*) Slegs tot op 14,5m ingeplaas as gevolg van swak boorgattoestand

Vanuit die resultate was dit duidelik dat uiters waardevolle inligting bekom kan word. As daar van lugdrukboorwerk gebruik gemaak word, kan die spesifieke diepte van die kontakte nie akkuraat bepaal word nie, en met die hulp van boorgatgeofisika, kan die posisies, sowel as die toestand van die gesteentes bepaal word.

6.6.3 Elektro-magneties

Figure 6.8 tot 6.10 dui die traverse aan wat op elke terrein geloop is. Terrein D kon nie ondersoek word nie as gevolg van groot hoeveelheid hoogspanningskraglyne wat direk oor die terrein strek. Die resultate vanaf die ander terreine kan in Bylae C gesien word. Slegs oor gedeeltes waar strukture soos pype, kanale en die rivier geleë is, het drastiese veranderinge in die grafieke voorgekom. Dit toon aan dat min tot geen verandering in die boonste 2 tot 3 meter van die deklaagmateriale voorkom.

6.6.4 Dwarssnitte en planne van terreine

Nadat watervlakke gemeet en boorgatposisies opgemeet is, was dit moontlik om profiele op te stel (Figure 6.12 tot 6.16). Nadat die profiele van die terreine geteken is en watervlakke van die rivier en boorgate aangepas is, het waardevolle feite aan die lig gekom.

Op terreine B, C en D is die rivier se watervlak gelyk of effens hoër as dié van die boorgate. Verder bestaan daar 'n direkte verbinding tussen die rivier en sekere boorgate, aangesien 'n styging in die riviervlak na swaar reënval 'n onmiddellike styging in boorgat C1 veroorsaak het. Dit beteken dat die boorgat 'n redelike hoë risiko vir moontlike besoedeling inhou. Op terreine B en D het die watervlakke se posisies slegs aangetoon dat aanvulling van die grondwaterkompartement vanaf die rivier plaasvind. Dit alleen kan egter ook 'n besoedelingsgevaar inhou.

Boorgat R1 wat tussen 'n kanaal en die verdampingsdamme geleë is, is egter heeltemal van die damme se water afgesluit (Figuur 6.12). Die baie dieper watervlak van dié boorgat toon aan dat daar nie 'n verbinding bestaan nie. Aangesien die water by Rp2 as 'n moontlike besoedelingsbron geïdentifiseer is, is watervlakke van R2 en R3 gemeet. Die afleiding is gemaak dat die drie gate se water wel aaneengeskakel is as gevolg van die soortgelyke watervlakke wat in elkeen teenwoordig is. Bogenoemde afleidings is later gestaaf deur middel van pomptoetse.

Dit is duidelik dat die nitrate en TDS waardes die hoogste in die rivier is en dat dit geleidelik afneem hoe verder daar vanaf die rivier

beweeg word. Die rivier kon dus op die wyse as hoofbesoedelingsbron uitgewys word.

6.6.5 T, S en k waardes

Geohidrologiese toetse is slegs op terreine A, B en C uitgevoer, aangesien die gesteentes benede die watervlak op terrein D te ondeurlatend was.

Pomp- en wegsyferingstoetse is uitgevoer om die deurlatendheid (k), bergingskoeffisiënt (S) en koeffisiënt van deurlaatvermoë (T) te bepaal. Tydens die pomp van die produksieboorgate B_p en C_p is daar van die **Theis metode** gebruik gemaak om die T, S en k waardes te bepaal. Darcy se formule is deur **Thiem** aangepas en dié formule is gebruik om die verskillende waardes van k by verskillende diktes van die waterdraer en onder verskillende toestande, te bepaal.

Nadat die produksieboorgate aangeskakel is, is aftrekking in die waarnemingsgate gemoniteer. Die volgende formules is gebruik.

(i) Theis

$$T = \frac{W(u)Q}{4s\pi} \quad (6.1)$$

$$T = kb \quad (6.2)$$

$$S = \frac{4uTt}{r^2} \quad (6.3)$$

T:	Koeffisiënt van deurlaatvermoë
Q:	Pomptempo
S:	Bergingskoeffisiënt
r:	Radius
W(u) en u:	Parameters vanaf die Theis Funksie grafiek
t:	Tydstip
k:	Hidrouliese geleidingsvermoë
s:	Aftrekking
b:	Dikte van waterdraer

Deur Theis se metode aan te wend is die volgende waardes vir k, T en S by verskillende pomptempo's en vir verskillende diktes (b) van die waterdraer bereken (Tabel 6.6).

TABEL 6.6
T, S EN K WAARDES BEREKEN VOLGENS THEIS

Boorgat nr	T (m ² /d)	S	k (m/d)	b (m)	Q (l/s)
B2	74	3,1x10 ⁻³	15,6	4,72	5,74
C1	743	1,3x10 ⁻²	38,9	19,3	26,06
			103,7	7,03	
R1	16	1,8x10 ⁻³	3,2	4,84	2,78
R1	35	6,5x10 ⁻⁶	7,3	4,84	1,11

(ii) Thiem

Die aangepaste vergelyking wat gebruik is lyk soos volg:

Ingeperkte waterdraer:

$$k = \frac{Q}{2\pi (h_B - h_A)b} \ln \frac{r_B}{r_A} \quad (6.4)$$

Vry waterdraer:

$$k = \frac{Q}{\pi (h_2^2 - h_1^2)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (6.5)$$

- Q: Vloei per eenheidswydte van die waterdraer
- r₁, r₂, r_A en r_B: Afstand vanaf pompgat na waarnemingsgat
- h_B en h_A: Piësiometriese oppervlak
- h₂ en h₁: Watervlakke gemeet by twee waarnemingsgate
- k: Hidrouliese geleidingsvermoë
- b: Dikte van versadigde waterdraer

Die dolomiet by al drie terreine waar pumping plaasgevind het, is op dié manier getoets en die volgende resultate is verkry (Tabel 6.7). Aangesien daar onsekerheid bestaan het oor die tipe waterdraer, is berekenings vir beide die ingeperkte en vry waterdraers gedoen.

TABEL 6.7
K WAARDES BEREKEN VOLGENS THIEM SE FORMULE

Waterdraer	Terrein	Boorgat	k (m/d)	b (m)
Ig	B	B2	6,0	4,72
Ig		B2	1,7	14,0
Vr		B2	1,1	-
Ig	C	C1	2,9	19,3
Ig		C1	8,1	7,03
Vr		C1	1,8	-
Ig	A	R1	1,1	4,84
Ig		R1	0,3	11,0

Ig: Ingeperkte waterdraer

Vr: Vry waterdraer

(iii) Tekortkominge en aannames van die metodes toegepas

Tydens elkeen van die metodes wat toegepas word, word daar sekere aannames gemaak en as gevolg hiervan het die metodes sekere tekortkomings, wat in gedagte gehou moet word:

Theis (aannames):

- Deur Theis se vergelyking te gebruik, word aangeneem dat die waterdraer perfek ingeperk is. Uit die studie kon dit egter nie sonder twyfel vasgestel word nie.
- Die waterdraer se totale omvang is moeilik bepaalbaar.

- 'n Heterogene waterdraer met oplossingsholtes en wisselende T waardes is ondersoek.
- 'n Oorspronklike horisontale piësometriese vlak kan aanvaar word.
- Water word onmiddelik vrygestel as pumping begin.
- Daar kon nie vasgestel word of the boorgate die waterdraer ten volle penetreer nie.
- Pumping vind teen 'n konstante tempo plaas, maar lekkings by die pomp is onvermydelik.
- Vloei vind loodreg tot die boorgat plaas en

Thiem (aannames):

- Ekwilibrium toestande heers, met ander woorde uitbreiding van die keël kom tot 'n stilstand. Die toestand is aanvaar na 'n lang pompperiode.
- Aangesien die keël nie meer ontwikkel nie, word water nie uit die gestoorde waterdraer geneem nie - geen S waarde kan dus op hierdie manier bereken word nie.
- Aangesien daar onsekerheid bestaan het of die waterdraers ingeperk, semi-ingeperk of vry is, is die waardes vir die verskillende scenarios uitgewerk en die waardes is met mekaar vergelyk.

Vergelyking met literatuurwaardes

Tabel 6.8 dui verskillende T en S waardes wat in die Pretoria-Verwoerdburg area gemeet is aan. Die waardes word vergelyk met die waardes wat gedurende die studie verkry is.

TABEL 6.8
VERGELYKING TUSSEN LITERATUUR EN WAARDES BEPAAL TYDENS DIE
STUDIE

Terrein	Waardes in die veld bepaal		Waardes uit literatuur		Literatuur bron
	T (m ² /d)	S	T (m ² /d)	S	
A	15 - 35	6,5 x 10 ⁻⁶	0,2 - 73 (Lae lewering boorgate)		Hobbs (1988)
B	74	0,0031	1000 - 10 900 (Hoë lewering boorgate)	0,03 - 0,1	Hobbs (1988)
C	743	0,013			

Uit die tabel kom dit weereens duidelik na vore dat waardes drasties verskil afhangend van die grootte van die oplossingsholte en die mate van verwerking wat die kartsgesteente ondergaan het.

(iii) Wegsyferingstoetse

Die volgende waardes is bereken nadat wegsyferingstoetse uitgevoer is. 'n Konstante hoogte- en dalende watervlak wegsyferingstoets is in die boorgate op terreine A, B en C uitgevoer. Die volgende twee formules is gebruik.

Konstante hoogte:

$$k = \frac{q}{FH_c} \quad (6.6)$$

Dalende hoogte:

$$k = \frac{A}{F(t_2 - t_1)} \log_e \frac{H_1}{H_2} \quad (6.7)$$

- F: Vormfaktor
- A: $\frac{1}{4} \pi d^2$
- H_c: Die konstante hoogte bo die oorspronklike ruswatervlak
- H₁ en H₂: Watervlak in boorgat op 'n gegewe tyd (t) vanaf die ruswatervlak

Tabel 6.9 dui die resultate wat verkry is aan.

TABEL 6.9
K WAARDES BEREKEN VANAF WEGSYFERINGSTOETSE

Boorgat nr	Diepte getoets (m)	k (m/d)	Tipe toets
B2	23,31	302,4	k
	23,31	4,1	d
	1,5	311,0	k
B3	15,0	181,4	k
	15,0	4,2	d
C2	3,75	172,8	k
	3,75	63,9	d
	2,25	1,6	k
R2	19,91	1,3	k
R3	20,73	302,4	k
	20,73	4,1	d

k: konstante hoogte

d: dalende hoogte

Die verskillende waardes wat uit die berekeninge verkry is, toon aan dat wisseling in verweringsgraad grootliks bydrae om die k-waardes te beïnvloed. Die k-waardes wissel van 0,3 m/d tot so hoog as 106,3 m/d, wat vergelykbaar is met die deurlatendheid van skoon sand. Daar is gevind dat in meeste van die gevalle die wegvloei van water by een spesifieke punt of opening in die boorgat plaasvind. In boorgat C2 is gevind dat die deurlatendheid van die bo-grond of deklaagmateriale min verskil van die waarde verkry toe die hele boorgat getoets is. Die groot verskil in deurlatendheid wat tussen R2 en R3 gevind is, lewer bewys van die verskillende omstandighede wat 25 meter van mekaar af kan heers. 'n Gemiddelde k-waarde kan dus nie bereken word nie, aangesien die omstandighede van plek tot plek verskil.

Die T en S waardes is redelik konstant en hoog. T waardes in die orde van $9 \text{ m}^2/\text{d}$ en S waardes van 10^{-3} is bereken. Die een S waarde van $6,5 \times 10^{-6}$ (R1) kan beskou word as 'n uitskieter.

Tekortkominge van wegsyferingstoetse:

- Gedurende enige van die wegsyferingstoetse speel die dikte van die waterdraer 'n baie belangrike rol. Aangesien dit een van die onsekerhede was, is verskillende waardes geneem om sodoende 'n verteenwoordigende waarde uit die ondersoek te kry.
- Alhoewel daar soveel veranderlikes is wat in gedagte gehou moet word gedurende die toetsing van boorgate, kan die waardes verkry tog in verband gebring word met waardes wat deur ander outeurs in die omgewing gevind is. Daar kan ten slotte gesê word dat die waardes in die veld bepaal, sinvolle antwoorde verskaf het.

(iv) Laboratoriumwerk

Om die waardes wat in die veld gemeet is te korreleer met laboratoriumtoetse, moes Darcy se formule gebruik word om k-waardes te bereken:

$$Q = kiA \quad (6.8)$$

Q: Deurvloei (m^3/s)

k: Deurlatendheid (m/s)

i: Gradiënt (*)

A: Area van monster

(*) (Waterkolom + lugdruk)/lengte van monster

Elkeen van die nege monster is ten minste twee keer getoets. Waar geen melding gemaak is van druk nie, is daar van 'n waterkolom van 1,105 meter gebruik gemaak, met die monster wat 0,01 meter in die water hang. Foto's 6.3 - 6.8 dui aan hoe die monsters gelyk het, voordat dit in die buise ingeplaas en met was gevul is. Tabel 6.10 gee 'n opsomming van die waardes wat in die laboratorium bepaal is.

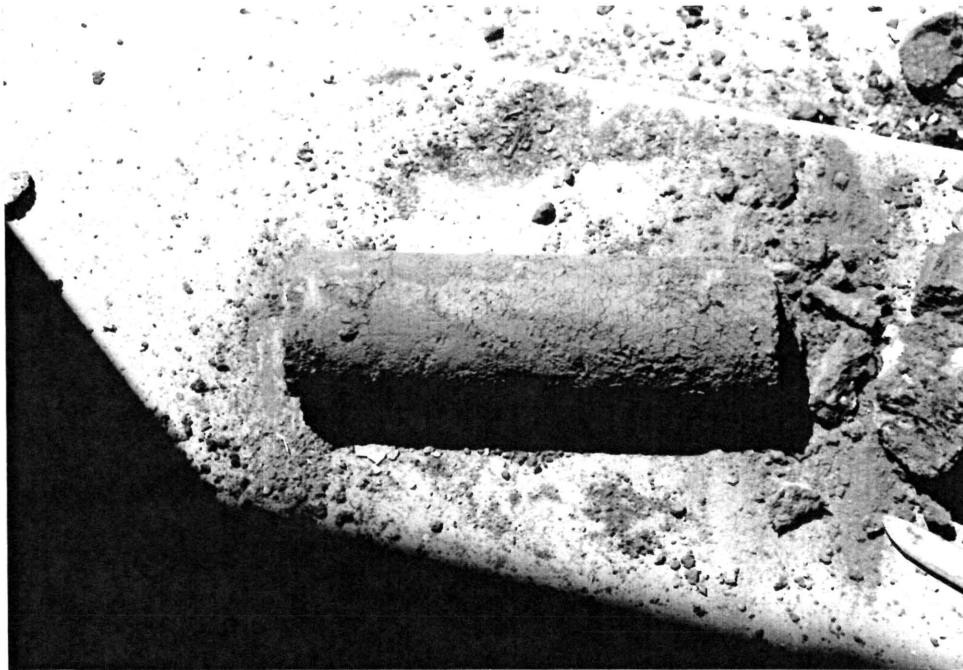


Foto 6.3
B2(1.55m) - Heuwelspoelsel



Foto 6.4
B2(7.7m) - Totaal verweerde Siëniet

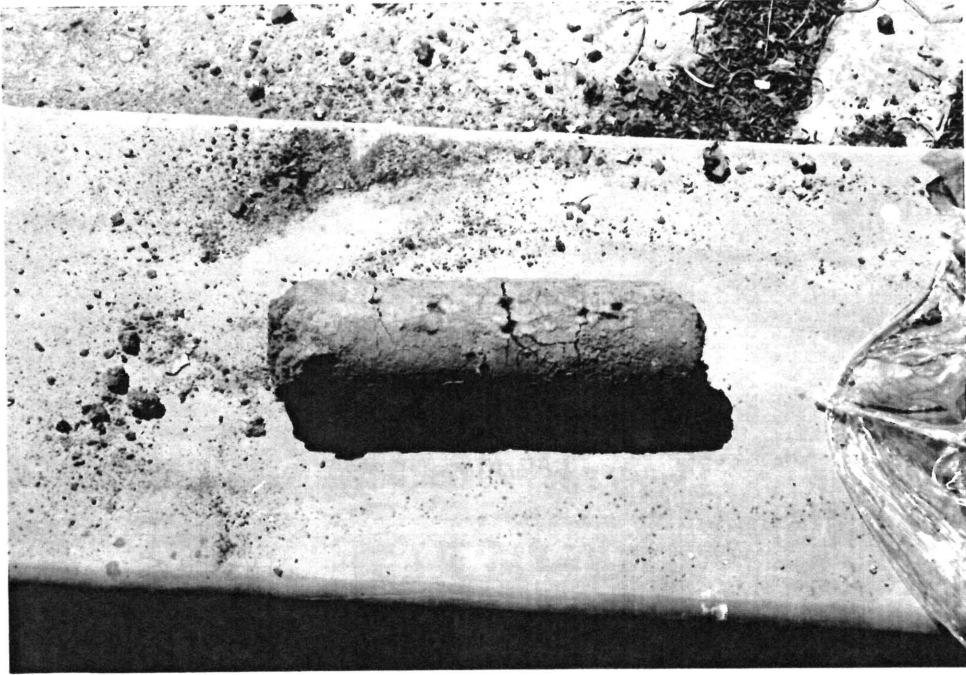


Foto 6.5
B2(8.52m) - Verweerde Siënië

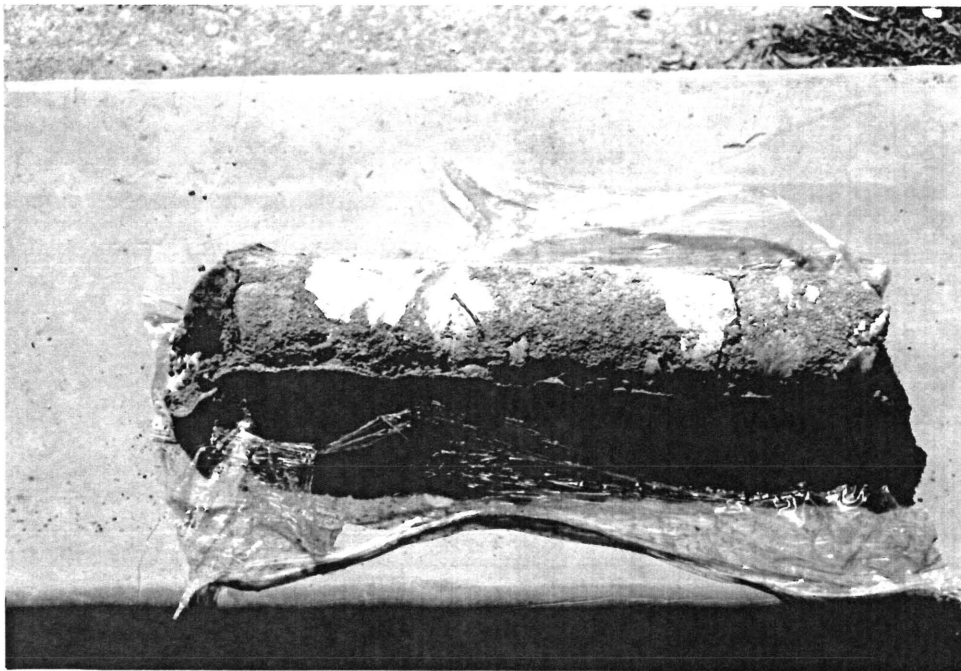


Foto 6.6
B3(3.53m) - Chert en Sand

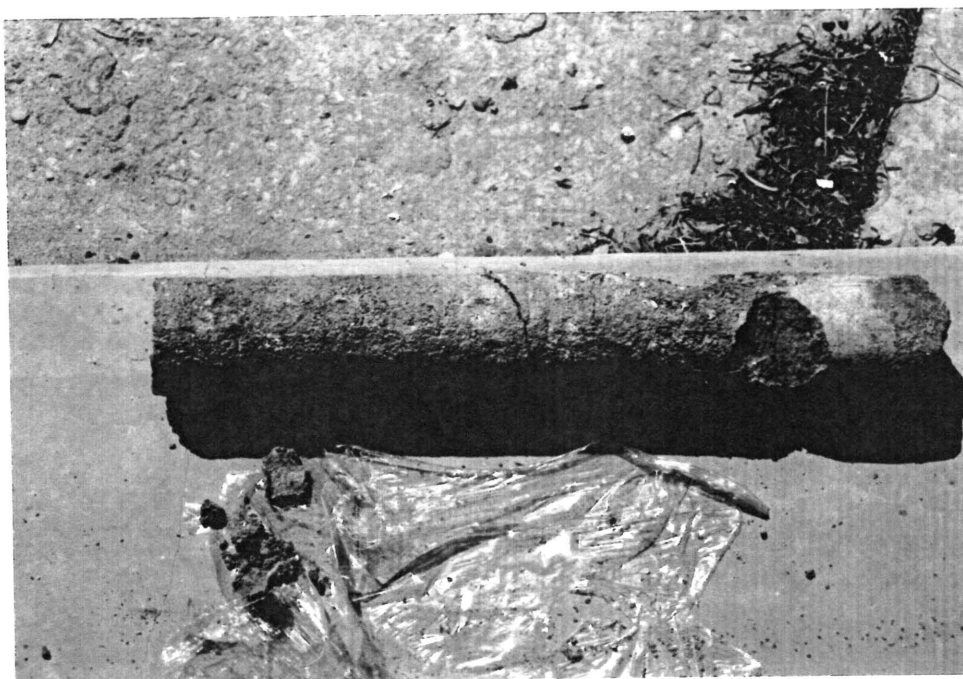


Foto 6.7
B3(4.36) - Chert en Growwe Sand

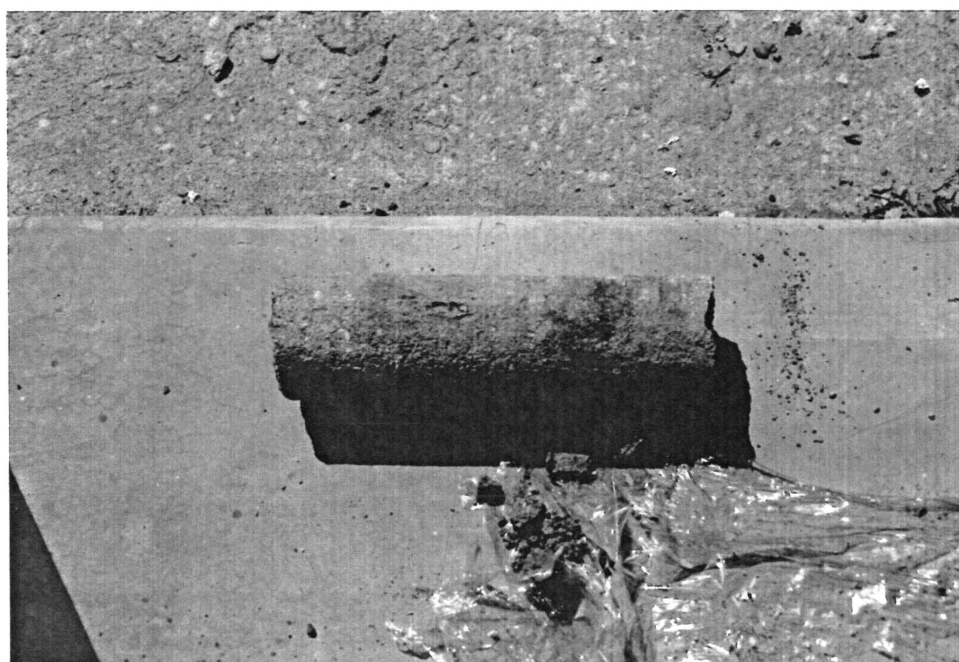


Foto 6.8
B3(5.19m) - Chert en Sand

TABEL 6.10
K WAARDES IN DIE LABORATORIUM BEREKEN

Boorgat nr	k (m/d)	Tipe materiaal	Druk (kPa)
B2 (1.55m)	0,3	Heuwelspoelsel	nvt
B2 (7.70m)	0,2	Liggeel siënië	nvt
B2 (8.52m)	2,9 x 10 ⁻³	Geel siënië	nvt
	8,6 x 10 ⁻³	"	100
B3 (3.53m)	0,3	Chert en sand	nvt
B3 (4.36m)	0,4	Chert en sand	nvt
B3 (5.19m)	0,03	Chert en sand	nvt
	0,03	"	50
	0,06	"	100
R1 (0.50m)	0,03	Liggeel siënië	nvt
R3a	0,3	Rooi-bruin siënië	nvt
R3b	0,2	Rooi-bruin siënië	nvt

Die twee verskillende waardes wat vir B2 (8.52m) verkry is, kan toegeskryf word aan 'n te hoë druk wat op die monster geplaas is. Na afloop van die toetse, is die monsters oopgemaak en die onderste gedeelte daarvan is ondersoek. B2 (8.52m) se onderkant was ongelyk, en daar het 'n kraak aan die kant ontwikkel, verder was daar ook tekens van grond onder aan die filter. Die laer waarde van 2,9 x 10⁻³ m/s kan dus eerder aanvaar word as verteenwoordigend.

Alhoewel die gemiddelde waarde van R3a gegee is, is daar met die toets opgemerk dat die hoeveelheid water wat deurvloei toeneem met 'n toename in tyd. Nadat dié monster geopen is, is ook in hierdie geval 'n kraak opgemerk en 'n groot hoeveelheid los grond het aan die filter vasgesit. Ook in die geval het daar dus uitwassing van die materiaal plaasgevind.

In die algemeen kan dus gesê word dat die k-waardes wat in die laboratorium bepaal is, laer is as die waardes in die veld bepaal. Dit kan toegeskryf word aan die afwesigheid van oplossingsholtes

en ander krake en nate wat 'n invloed het op die totale deurlatendheid in die veld.

6.6.6 Kwaliteit van water

Die neem van monsters uit beide produksieboorgate aangrensend aan die rivier (Bp en Cp) en by die suiweringswerke gee nie net 'n idee omtrent die kwesbaarheid van die dolomitiese waterdraer nie; die ontledings dui ook aan of syfering deur die deklaag- en ander karst-geassosieërde gesteentes en materiale 'n positiewe suiwerings effek op besoedelde water het.

Waterontledings uit al die boorgate wat naby aan die rivier geleë is, sowel as die rivierwater self, is uitgevoer. Die water uit boorgate Rp1 en Rp2 is eers in Maart 1993 ontleed, aangesien pumping toe eers plaasgevind het. Slegs die resultate van besoedelde monsters verskyn in Tabel 6.11. Die volledige ontledings kan in Bylae D gesien word. Die posisies waar monsters langs die rivier geneem is sowel as dié van die boorgate verskyn in Figuur 6.11.

**TABEL 6.11
KWALITEIT VAN BESOEDELDE GRONDWATER MONSTERS**

Boorgat	Datum	Besoedeling (eenheid)	SABS Aanbevole Grens	Bevinding	Rivier
Bp1	92/7/7	E-Koliv (telling/100ml)	0.5	6	15 500
Bp3	92/7/7	TDS (mg/l)	600	678	-
Cp	92/7/28	Nitraat (mg/l)	6	7,3	19
		Koliv (telling/100ml)	0,5	9	4000
Lp	92/8/4	TDS (mg/l)	600	638	-
Sp	92/11/4	TDS (mg/l)	600	900	-
		Nitraat	6	19	-
Rp1	93/3/11	E-koliv	0	8	-
		Nitraat	6	7	-
Rp2	93/3/11	E-koliv	0	10	-
		Nitraat	6	7,5	-

Koliv: Kolivorme besoedeling

TDS : Totale Opgeloste Stowwe

Soos reeds vroeër aangedui, het Levin *et al* (1991) 'n redelike mate van nitraatbesoedeling in die omgewing aangetref. Tydens Levin *et al* (1991) se studie is nitraatwaardes gevind wat wissel van 6 tot > 20mg/l. Soortgelyke nitraatwaardes is weereens aangetref wat aandui dat geen merkbare verandering in die waterkwaliteit gedurende die afgelope jaar plaasgevind het nie. Die aantal watermonsters ontleed is egter nie voldoende om 'n finale gevolgtrekking hieroor te maak nie.

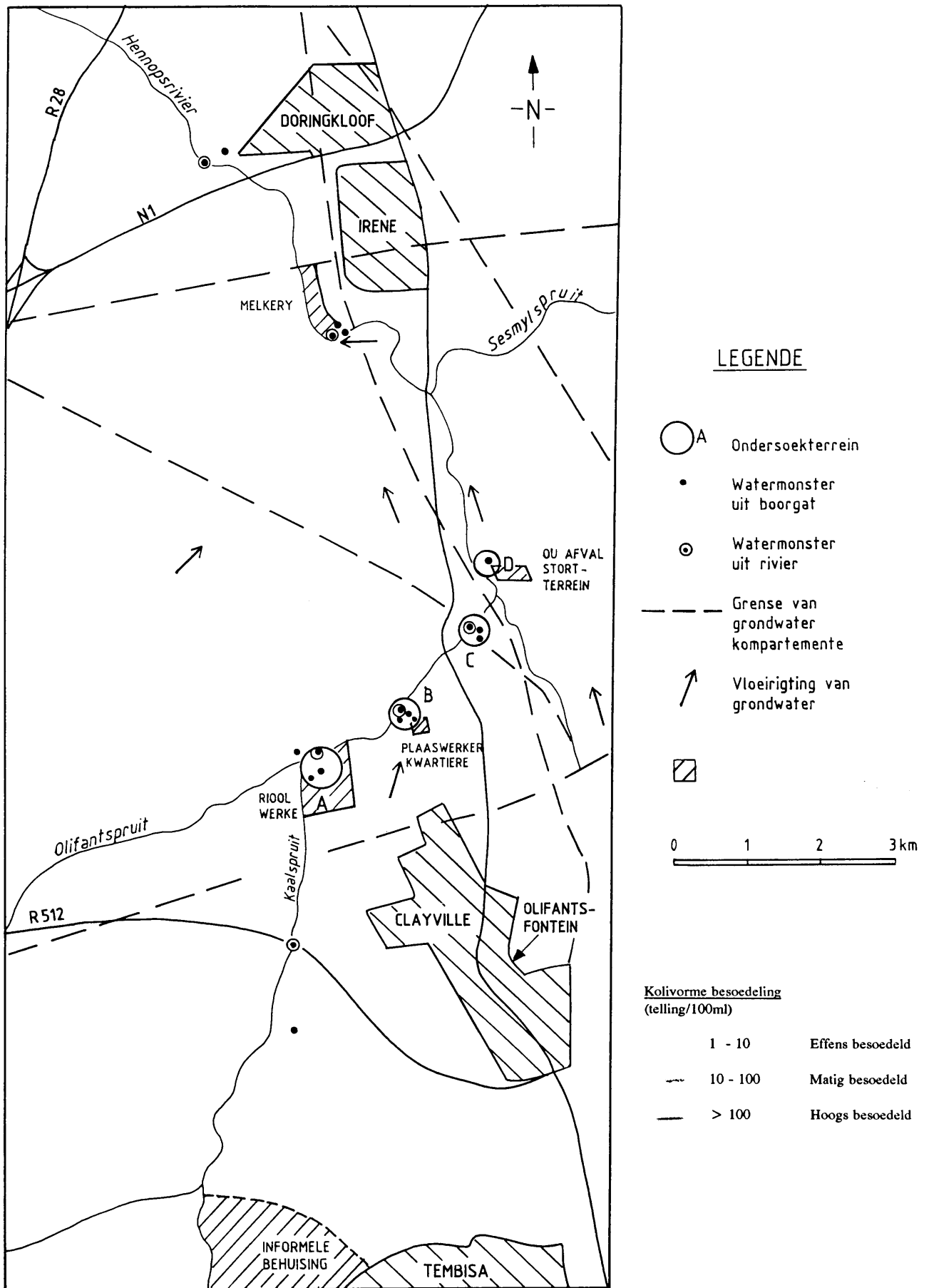
Figuur 6.24 dui die posisies van die potensiële besoedelingsbronne aan ten opsigte van die monsterpunte. Vanaf die kaart kan die besoedelingspluim duidelik waargeneem word.

Dit wil voorkom asof die bakteriologiese besoedeling hoofsaaklik vanaf die Kaalspruit en die rioolwerke (in gevalle Rp1 en Rp2) afkomstig is. Die TDS besoedeling wat by Bp3 verkry is, is moontlik afkomstig vanaf informele storting wat by die woonkwartiere van die plaaswerkers voorkom. Die nitraat- en TDS besoedeling wat voorkom in die ander gevalle, kan toegeskryf word aan die bemesting en strooi van kunsmis waar landbou toegepas word. In die geval van Sp, moet daar egter gekyk word na die ou afvalstortingsterrein as moontlike besoedelingsbron. Die vloeï van die grondwater is in die rigting van die produksieboorgat (Sp) wat ontleed is.

Die teenwoordigheid van E-kolivorme bakterië wat in boorgate Rp1 en Rp2 gevind is, is kenmerkend aangesien dit op moontlike rioolsypeling toon. Die bakterië moes nog gelewe het en kan dus nie vanaf vorige, toevallinge besoedeling in die grondwater oorgebly het nie.

Tabel 6.12 toon die kwaliteit van die rivierwater op verskillende plekke en datums geneem. Die rivierwater is vanaf 7 Julie 1992 tot 4 November 1992 op ses verskillende plekke en op 5 verskillende datums ontleed en in elkeen van die 8 monsters is E-koli-, sowel as kolivorme bakteriologiese besoedeling aangetref.

As dié waardes vergelyk word met die watermonster geneem op dieselfde dae (Tabel 6.11), kan gesien word dat die rivier heelwaarskynlik 'n negatiewe invloed het op die hele ekosisteem aangrensend daaraan. Die monsterpunte strek van onder die brug net stroomaf van Tembisa tot by die brug langs Centurionpark (Figuur 6.24).



FIGUUR 6.24 : BESOEDELINGSBRONNE EN INVLOED DAARVAN.

TABEL 6.12
KWALITEIT VAN DIE RIVIERWATER

Plek	Datum	Hoeveelheid	Besoedelaar
Tembisa (PR)	92/10/21	(20 000 x verdun) 3 500 000	E-koliv
	92/11/4	(10 000 x verdun) 890 000	E-koliv
Rioolwerke (RR)	92/7/7	15 000	Koliv
	92/7/7	15 000	E-Koliv
Basson (BR)	92/7/28	2 600	Koliv
		1 000	E-Koliv
	92/10/21	(10 000 x verdun) 1 200 000	E-koliv
Cullinan (CR)	92/7/28	4 000	Koliv
		1 500	E-Koliv
Melkery (IR)	92/8/4	28 600	Koliv
		520	E-Koliv
Centurion (VR)	92/8/4	10 000	Koliv
		4 700	E-Koliv

6.7 Opsomming en gevolgtrekkings

Nadat al die veldwerk voltooi, monsters geneem en ontleed, en die laboratoriumwerk gedoen is, kan die bevindings kortliks soos volg opgesom word:

Uit die literatuurstudie is algemene inligting omtrent die geologie, topografie, geografie, klimaat, dreinerings en ontwikkeling in die studiegebied ingesamel. Die inligting, tesame met lugfoto's en ander kaarte, is gebruik om 'n studiegebied te identifiseer. Die gebied is gekies in die Wes- en Oos-Doornkloof grondwaterkompartemente.

Nadat boowerk voltooi is, is die studiegebied se gesteentes en materiale in vier groepe ingedeel:

6.7.1 Deklaagmateriale

Deklaagmateriale wissel in dikte van 0,22 tot 2,5m en is hoofsaaklik uit sanderige en kleierige materiaal saamgestel. Die sanderige materiale is as hoogs deurlatend geklassifiseer na aanleiding van wegsyferingstoetse wat in die veld uitgevoer is, waartydens waardes in die orde van 86,4 m/d verkry is. Die vergelykende waardes in die laboratorium was in die orde van 0,2 m/d. Die laer waardes wat in die laboratorium gekry is kan toegeskryf word aan die feit dat die materiale wat getoets is intak en moontlik deur die boorproses gekompakteer is. Die materiale se hoë deurlatendheid in die veld toon aan dat dit hoogs kwesbaar is vir besoedeling vanaf 'n oppervlakbron. Filtrering en verdunning van 'n besoedelingsagent kan egter wel in die deklaag plaasvind as dit dik genoeg is.

6.7.2 Dolomitiese bodemrots

Die dolomitiese bodemrots word gekenmerk deur 'n fyn- tot mediumkorrelrige tekstuur en wissel in samestelling van chertyk tot chertarm. Die gesteentes word gekenmerk deur onverweerde vars bodemrots en totaal verweerde oplossingsholtes, wat in die bestek van 2 meter vanaf mekaar kan voorkom. Deurlatendheidswaardes wat wissel van 0,3 tot 103,7 m/d dui hierop. Die wisselende waardes wat soms uiters hoog is, dui aan dit die karstgesteentes sensitief is ten opsigte van besoedeling.

6.7.3 Siëniëtdringings

Onverweerde siëniëtdringings is ondeurlatend en tree as keerbanke op. In gebiede waar dit totaal verweer is, het dit 'n kleierige sand gevorm en deurlatendheidswaardes van 0,9 m/d is vir die materiale in die veld gemeet. Laboratoriumwaardes van 0,3 m/d is gemeet.

Onverweerd sowel as verweerd kan die materiale wel weerstand bied teen besoedeling.

6.7.4 Ander materiale en gesteentes

Die ander dolomiet geassosieërde-materiale het in klein hoeveelhede voorgekom en was baie wisselend in voorkoms en dikte. Aangesien hulle voorkoms so beperk was, is geen deurlatendheidstoetse op spesifieke sones uitgevoer nie.

6.7.5 Pomp- en wegsyferingstoetse

T waardes wissel van 74 tot 743 m²/d terwyl stoorkapasiteitwaardes van $6,5 \times 10^{-6}$ - 0,013 bereken is. Die waardes vergelyk goed met waardes deur Hobbs (1988) bereken.

6.7.6 Laboratoriumwaardes

As daar gekyk word na die k-waardes wat in die veld gemeet is en die wat in die laboratorium bepaal is, is dit opmerklik dat die toetse in die veld baie hoër deurlatendheidswaardes opgelewer het as dié in die laboratorium. Dit kan toegeskryf word aan die feit dat die monsters tydens die boorwerk gekompakteer is en dat net die beste deel van die profiel herwin en getoets is, terwyl die toetsing in die veld gekraakte, verweerde, sowel as oplossingsholtes insluit wat die waardes aansienlik verhoog. Daar kan dus gesê word dat daar 'n moontlikheid bestaan dat die deurlatendheidswaardes wat in die laboratorium verkry is laer is as wat werklik die geval is.

6.7.6 Waterkwaliteit

Tydens die studie is die rivierwater op 'n gereelde basis ontleed. In elke geval was die bakteriologiese besoedeling onaanvaarbaar hoog. Die feit dat daar soortgelyke besoedeling, alhoewel tot 'n mindere mate, in aangrensende boorgate voorgekom het, is daar voldoende

aanduiding van die kwesbaarheid van dolomitiese waterdraers. Die migrasie van die besoedelingsagente na die boorgate kan toegeskryf word aan die watervlakke wat naby aan die oppervlak geleë is en die oplossingsholtes wat 'n direkte verbinding met die rivierwater bewerkstellig. Die watervlakke van die boorgate wat op dieselfde of 'n effense laer hoogte as die riviervlak geleë is, toon aan dat aanvulling vanaf die rivier plaasvind.

Die feit dat dit moontlik was vir rioolwater vanaf die Olifantsfontein riolsuiweringswerke, om binne enkele dae oor 'n afstand van sowat 500 meter ondergronds na die rivier te vloei en dit te besoedel, dui op die kwesbaarheid vir besoedeling van die dolomietgebied. Enige besoedelingsagent wat die oop kanale en holtes binnedring kan vinnige besoedeling veroorsaak wat baie moeilik gekeer of beheer kan word.

Die ondersoek van die onversadigde sone deur die ingenieursgeoloog en die versadigde sone deur die hidroloog kan 'n groot bydrae lewer om die algemene grondwaterkwaliteit te verbeter en te beheer. Veral in karstgebiede, wat as sensitief en kwesbaar vir besoedeling geklassifiseer word, moet daar gepoog word om saam te werk en hulpbronne te beskerm.

7 GEVOLGTREKKINGS EN AANBEVELINGS

Die volgende gevolgtrekkings spruit voort uit die studie:

- 7.1 Die hoofbestanddele nodig vir karstvorming is oplosbare gesteentes en water. Hierdie twee elemente kom regoor die wêreld voor en gevolglik word karst wydverspreid aangetref.
- 7.2 Die manier van oplossing, omgewing waarin dit voorkom, asook die kwaliteit van water, beheer grootliks die geomorfologiese en hidrologiese kenmerke van die karstgesteentes.
- 7.3 Aanvulling asook beweging van water in karst, vind baie vinniger plaas as in ander gesteentes, vanweë oop kanale en oplossingsholtes wat voorkom.
- 7.4 Natuurlike karstgrondwater het hoë Ca en Mg vlakke as gevolg van die oplossing van karst soos water daardeur vloei. Enige ander determinante teenwoordig is die gevolg van eksterne invloede en van besoedelingsbronne.
- 7.5 Weens die feit dat die grondbedekking so dun is, openinge, krake, nate en oplossingsholtes voorkom, kan gesê word dat karstomgewings uiters kwesbaar vir besoedeling, veral vanaf oppervlakbronne is.
- 7.6 Verskillende besoedelingsbronne van grondwater is geïdentifiseer. Kompartemente wat ontleed is toon aan dat die besoedelingsprobleem redelik ver gevorderd is. Vier potensiële besoedelingsbronne van karstgrondwater is geïdentifiseer:
 - a) Myne in die Wes-Rand
 - b) Industrië in die PWV gebied
 - c) Afvalstortingsterreine
 - d) Informele ontwikkeling, veral suid van Pretoria
- 7.7 Die Republiek van Suid-Afrika is 'n water-arm land. Die toenemende vraag na water wat ontstaan as gevolg van die groeiende bevolking en die ekonomie moet in gedagte gehou word. Water is geïdentifiseer as die mees beperkende natuurlike hulpbron en die bewaring daarvan moet 'n prioriteit wees vir almal wat dit gebruik.

As gevolg van die feite wat uit die ondersoek spruit, word die volgende aanbevelings gemaak ten opsigte van bewaring en monitering van oppervlak- en grondwater in karstgebiede:

- In karstgebiede moet die probleem van grondwaterbesoedeling en die gevolge daarvan as van gelykstaande belang aan sinkgatvorming en versakkings geplaas word en met dieselfde aandag ondersoek word.
- Beter samewerking tussen die ingenieursgeoloë, wat meeste van die tyd die onversadigde sone bo die grondwatervlak ondersoek en die geohidroloë wat die versadigde sone onder die grondwatervlak ondersoek, sal vermindering van besoedeling vanaf oppervlakbronne te weeg kan bring.
- Oppervlakwater wat oor dolomietgebiede vloei moet gemoniteer word om te verhoed dat insypeling van besoedelde oppervlakwater die grondwater nadelig beïnvloed.
- Die plasing en ontwerp van stortingsterreine moet op so 'n wyse beplan word dat geen insypeling van die logingsprodukte in die grondwater kan plaasvind nie. Gevorderde navorsing wat wat oor die jare plaasgevind het, verseker dat georganiseerde storting wel in karstgebiede kan plaasvind, solank die nodige voorsorgmaatreëls getref word.
- Ontwikkeling in dolomietgebiede moet beheer word om te voorkom dat besoedelde oppervlakwater en rou rioolwater die grondwater binnedring. Die invloed van water hou 'n gevaar in vir die ontstaan van sinkgate terwyl die riool besoedelingsgevaar vir grondwatergebruikers in die onmiddellike omgewing, sowel as op afstande vanaf die besoedelingsbron veroorsaak.
- Voordat produksieboorgate gesink word, moet die grondwater vloeiërigting, waterkwaliteit en moontlike bestaan van besoedelingsbronne eers ondersoek word om te verseker dat besoedelde water nie onttrek gaan word nie.
- Ontwikkeling in dolomietgebiede moet beheer word ten einde grondwaterbesoedeling te voorkom, of dit moet op so 'n wyse plaasvind dat besoedeling tot 'n minimum beperk word.
- Monitering van riviere, ander oppervlakwaterbronne sowel as grondwaterbronne moet plaasvind om enige besoedeling betyds te keer en te verhoed dat dit bestaande bronne onbruikbaar word.

'n Algemene meer, positiewe tendens is egter besig om te ontwikkel, waarin die algemene publiek meer betrokke en bewus raak van die omgewing en die bewaring daarvan.

DANKBETUIGINGS

Graag wil ek die volgende persone en instansies bedank wat my op verskillende wyses ondersteun en bygestaan het gedurende die afgelope twee jaar se navorsing:

My projekteier, professor van Schalkwyk vir waardevolle raad, voorstelle en ondersteuning.
Mede-leier, professor Braune vir addisionele inligting en advies.

Die Stigting vir Navorsingsontwikkeling (SNO) vir die geldelike ondersteuning en die personeel van die departement van waterwese en bosbou wat my van bestaande inligting voorsien het.

John Yates vir sy belangstelling en die geleendheid wat ek gebied is om my navorsing te voltooi.

Laastens al my familie en vriende wat agter my gestaan het en my deurgaans ondersteun het.

VERWYSINGS

AUCAMP, P.J AND VIVIERS, F.S (1990)

Water quality criteria in South Africa. *Technology SA*.
June 1990, 21-30

BARCELONA, M.; KEELY, J.F.; PETTYJOHN, W.A AND WEHRMANN, A.
(1988)

Handbook of ground-water quality protection. Science
Information Resource Centre, Hemisphere Publishing
Corporation, Washington, D.C.

BREDENKAMP, D.B.; v.d. MERWE, C.; WIEGMANS, F.E AND KUHN, C.M.
(1986)

Groundwater supply potential of dolomite compartments
west of Krugersdorp. Dept of Water Affairs and
Forestry GH 3440.

BöGLI, A. (1964b)

Mischungskorrosion - ein Beitrag Zur
Verkarstungsproblem. *Erdkunde*, 18, 83 - 92.

BöGLI, A. (1971b)

Karst denudation - das Ausmaß des Korrosiven
Kalkabhages. *Regio Basiliensis*, 12/2, 352 - 361.

BöGLI, A. (1980)

Karst Hydrology and Physical Speleology. Springer,
Berlin, Heidelberg, New York.

BONACCI, O. (1981)

Establishment of quantities of water sinking on karst
section of streams. *Naš korš* 6, 10 - 11: 139 - 151.

BONACCI, O. (1987)

Karst Hydrology, with special reference to the Dinaric
Karst. Springer Series in Physical Environment, 2.
Springer, Berlin Heidelberg, New York.

BROZICEVIC, S. (1986)

Pollution of Pits and Sinkholes in Dinaric Karst of
Croatia, Yugoslavia. In *Proceedings of 19th Congress
IAH, Karlovy Czechoslovakia Vary* 8 - 15, 9.

- BRINK, A.B.A (1979) Engineering Geology in Southern Africa. Vol 1, p 179 - 248. Building Publication, Silverton, Pretoria.
- BURDEN, D.J. AND PAPAKIS, N. (1963)
Handbook of Karst. Hydrogeology. UN special Fund, Institute of Geology and Subsurface Research, Athens, Greece.
- BUTTRICK, D.B. (1992) Characterisation and appropriate development of Sites on Dolomite. Unpubl. PhD Thesis, Univ. Pretoria.
- COOKS, J. (1966) Die Karstgebied in Wes-Transvaal. MSc Verhandeling, UNISA.
- CVIJIĆ, J. (1893) Das Karstphänomen. Geogr. Abr. 215 - 319.
- CVIJIĆ, J. (1900) Karst Poljes of Western Bosnia and Herzegovina. Transactions, Serbian Academy of Sciences LIX, Beograd, Yugoslavia.
- CVIJIĆ, J. (1918) Hydrographie souterraine et évolution morphologique de Karst. Rec. Trav. Inst. Géogr. Alpine 6, 376 -420.
- CVIJIĆ, J. (1924 - 26) Geomorphology, I and II. Beograd, Yugoslavia.
- DAVIES, W.E AND LeGRAND, H.E. (1972)
Karst of the United States. In "Karst," Important karst regions of the northern hemisphere, edited by M. Herak and V.T. Stringfield, Elsevier, Rotterdam
- DAY, R.W. (1980) Prominent dyke systems in the Southern Tvl, Internal Rep. 1980-0016. Geol. Surv. SAfr. 15p.
- DREYBRODT, W. (1988) Processes in Karst Systems - Physics, Chemistry and Geology. Springer series in Physical Environment, 4. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.

DEPARTEMENT VAN WATERWESE (1986)

Bestuur van die waterhulpbronne van die Republiek van Suid-Afrika, CTB Boekdrukkers, Kaapstad namens die Staatsdrukker, Pretoria.

DEPARTMENT OF WATER AFFAIRS AND FORESTRY AND WATER RESEARCH COMMISSION (1991)

Groundwater quality management policies and research needs for South Africa. Third Draft, Internal Report.

DEPARTMENT OF WATER AFFAIRS AND FORESTRY (1993)

South African Water Quality Guidelines, Vol 1 - Domestic use, Government Printer, Pretoria.

ENSLIN, J.F. and KRIEL, J.P. (1959)

Some results obtained from a hydrological study of a dolomitic catchment in the Tvl, Union of SA. Int. Report GH 1841, Dept of Water Affairs.

FAULKNER, G.L. (1976) Flow analysis of karst systems with well developed underground circulation. Proceedings Conference: 'Karst Hydrology and Water Resources', W.R.P. Colorado, VSA.

FEITKNECHT, W. (1949) Allgemeine und physikalische Chemie. Basel: E Reinhardt.

FINK M.H. (1973) Mehrsprachiges lexikon der karst- und Höhlenkunde. Entwurf. ISU, Int Speleol. Union.

FLEISHER, J.N.E (1981) The Geohydrology of the dolomitic Aquifers of the Malmani Subgroup in the SW Tvl. Unpubl PhD Thesis, Univ of OFS.

- FOLK, R.L.; ROBERTS, H.H. and MOORE, C.H. (1971)
- Black phytokarst from Hell. Geol. Soc. America. Abs with Programs (Ann. Mtg).
- FOOSE, R.M. (1967) Sinkhole formation by groundwater withdrawal: Far West Rand, South Africa. Science, 157, 3792, 1045 - 8.
- FORD, D.C. (1980) Threshold and limit effects in Karst hydrology: In Coates, D.R., Vitek, I.D. (ed) Threshold in geomorphology. Allen and Unwin, London Boston Sydney, 345 - 362.
- FORSTNER, U.; CALMANO, W. AND SCHOER, J. (1982)
- Heavy metals in bottom sediments and suspended material from the Elbe, Weser and Ems estuaries and from the German bight: Zagreb; Thalassia Jugosl., 18(1-4), 97 -122.
- FOSTER, M.B.J (1987) First revision of the geohydrology of the Zuurbekom and Gembokfontein compartments. Int. Report GH 3542. Dept. Water Affairs, Pretoria.
- FOSTER, M.B.J. (1988) Geological Control of Chuniespoort Group aquifer properties In Workshop on dolomitic groundwater of the PWV area, Pretoria 28 March, 1988.
- FREEZE, A.R. and CHERRY, J.A.(1979)
- Ground Water. Prentice Hall 604p.
- FRIED, J.J. (1975) Groundwater pollution, Developments in Water Sciences: Amsterdam; Elsevier, 330p.
- GELDENHUIS, S.J.J. and HOWARD, J.R (1988)
- Quality and pollution of the ground water in the dolomites of the PWV. In: Proceedings Workshop on dolomitic groundwater of the PWV area, held in Pretoria, 18 March 1988, 76 - 79.

- GRUND, A. (1903) The Karst hydrology. Studies from western Bosnia. Geograph. Abhand.
- GUNN, J. (1982) Point recharge of limestone aquifers - a model from New Zealand Karst. J Hydrol. 61: 19 - 29.
- HEM, J.D. (1985) Study and Interpretation fo the Chemical Characteristics of Natural Water. USGS Water Supply Paper 2254.
- HERMAN, J.D. (1985) Study and interpretation of the Chemical Characteristics of Natural water. USGS Water Supply Paper 2254.
- HERAK, M. (1972) Karst in Yugoslavia. In: Herak, M and Stringfield, V.T: editors, Karst - Important Karst regions of the N hemisphere. Rotterdam, Elsevier, 25 - 83.
- HERAK, M. (1977) Tecto-genetic approach to classification of karst terranes. Carsus Iugoslaviae 9/4, Zagreb, Yugoslavia.
- HOBBS, P.J. (1988) Hydrogeology of the Verwoerdburg Dolomite Aquifer. Tech. Report GH3502, Dept. Water Affairs, Pretoria.
- HUTZINGER, O.; TULP M.Th. M. and LITHO, V. (1977)
Chemicals with pollution potential. In: Aquatic Pollutants - Transformation and Biological effects: editors: Hutzinger, O., Van Lelyveld, I.H. and Loeteman, B.C.J. London; Proceedings, 2nd Int. Symposium Aquatic Pollutants, 13 -31.
- JANSEN, H. (1977) The Geology of the country around Pretoria. Expl. of Sheets 2527 DA, DB, DC, DD and 2528 CA, CB, CC and CD. Government Printer, Pretoria.
- JENKO, F. (1959) Hydrogeology and water resources in Karst. Ljubljana, Yugoslavia.
- JENNINGS, J.N. (1966) Building on dolomite in the Transvaal. The Civil Engineer in South Africa.

- JENNINGS, J.N. (1882b) Karst of northern Queensland reconsidered. Tower Karst Chillagoe Caving Club, Occasional Paper no 4, 13 - 52.
- JENNINGS, J.N. (1987) Karst Geomorphology. Bell and Bain Ltd. Glasgow, UK.
- JIMÉNEZ, A.N. (1976) Carso profundismo de Cuba. Proc. 6th Int. Congr. Speleol. III. Olomouc 1973, 225 - 227.
- KATZER, F. (1909) Karst and Karst Hydrology. Sarajevo, Yugoslavia.
- KERNEY, M.P.; BROWN, E.H and CHANDLER, T.J. (1964)
The late - glacial and Post - glacial history of the chalk escarpment near Brook, Kent. Philadelphia. Trans. Roy. Soc B. 248, 135 - 204.
- KLEYWEGT, R.J. and PIKE, D.R. (1982)
Surface subsidence and sinkholes caused by lowering of the dolomitic water table on the Far W Rand Gold fields of SA In: Ann. Geol. Surv. S.Afr 16, 77 - 105.
- KOK, T.S (1991) The potential risk of groundwater pollution by waste disposal In: Proceedings, Biennial groundwater convention held at Eskom College, Midrand, 21 - 23 Aug 1991 on Ground Water Quality and Pollution.
- KOMATINA, M. (1968) Karst and hydrogeological possibilities of more use of underground waters. Vesnik Geozavoda, Beograd, Yugoslavia.
- KOMATINA, M. (1973) Conditions of Karst development and zoning of karst terranes. Vesnik Geozavoda x/xi, Beograd, Yugoslavia.
- KÜHN, (1988) Establishment of the additional boreholes for possible emergency exploitation of groundwater in two sub-compartments in the Tarlton Area. Tech. report GH 3598. Dept. of Water Affairs, Pretoria.

- LANGMUIR, D. (1984) Physical and chemical characteristics of Carbonate water. In: LaMoreaux, P.E.; Wilson, B.M. and Memon, B.A editors, Guide to the Hydrology of Carbonate Rocks: Paris, UNESCO, 69 - 130.
- LEHMANN, H. (1970) Polje In: Westermans Lexikon der Geographie, 3, 863.
- LEHMANN, O. (1932) Hydrology of the Karst. Enzyklopädie der Erdkunde, Deuticke, Leipzig, Germany.
- LEIGHTON, M.W. AND PENDEXTER, C (1962)
Carbonate rock types. Mem. Am. Assoc. Petrol. Geol. 1, 33 - 61.
- LEVIN, M.; VAN DER MERWE, P.J. AND WALTON, D. (1991)
A statistical and conventional approach to a ground water study within the dolomites of the H-Region. Report No GEA 947, Atomic Energy Corporation of South Africa, Pretoria.
- LU YAO-JU, TZE HSIEN-YI, CHANG SHANG-LIN, CHAO CHENG-LIANG AND LIN, FU-TSAN (1972).
The developmetn of karst in China and some of the hydrogeological and engineering geological conditions. Peking, China.
- MAKSIMOVIĆ, G.A.(1969)
Caves in gypsum Karst. Abs. V Int. Kong Spelaeologie, Stuttgart, Germany.
- MARTEL, E.A. (1921) Nouveau traité des eaux Souterraines. Paris: O. Doin.
- MARTINI, J. AND KAVALIERIS, J.F. (1976)
The Karst of the Transvaal (South Africa): Int, Journ. Speleo, 8, 229 - 251.

- MILANOVIĆ, P.T. (1981) Karst Hydrogeology. Water Resources Publ. Littleton, Colorado USA.
- MILOVANOVIĆ, B. (1964 - 1965)
- Epirogenic and orogenic dynamics in the region of the outer Dinarides and problems of paleokarstification and geologic evolution of holokarst. Vesnik, Geozavoda, IV/V, Beograd, Yugoslavia.
- PARIZEK, R.R. (1976) On the nature and significance of fracture traces and lineaments in carbonate and other terranes. Proceedings book: "Karst Hydrology and Water Resources", W.E.P., Colorado, USA.
- PETTIJOHN, F.J. (1957) Sedimentary Rocks. 2nd edition New York: Harper.
- PICKNETT, R.G. (1973) Saturated calcite solutions from 10° - 40°. Trans. Cave Res. Group GB 15/2, 67-80.
- POPOV, N.V. (1959) Engineering Geology. Moscow USSR.
- PRANDTL, L. (1969) Führer durch die Strömungslehre. 7ed. Braunschweig, Vieweg.
- PROHIC, E. (1989) Pollution Assessment in Carbonate terranes A review. In: LaMoreauq, P.E., Zoetl, J. Tanner, J.M. and Roche, B.N. editors; Hydrology of Limestone Terranes, Int. Assoc. of Hydrogeologists, 10, 61-82.
- PROHIC, E. AND KNIEWALD, G (1987)
- Heavy metal distribution in recent sediments of the Krka River Estuary - an example of sequential extraction analysis: Marine Chemistry.
- REYNDERS, T. (1991) A critical evaluation of US ground-water protection strategies and their possible implementation in the South African context. Independent Study AE 695 V. Internal report, Dept. of Water Affairs and Forestry, Pretoria

- RIZIKOV, D.V. (1954) Nature of Karst and the basis principles of Karstification development. Moscow, USSR.
- SAWICKI, L. (1909) A Contribution to the Geographical cycle of Karst. Geograph. Zeitung.
- SCHÖNING, W.L. (1990) Verspreiding van sinkgate en versakkings in die dolomietgebiede Suid van Pretoria. Ongepubl. MSc verhandeling, Univ. van Pretoria.
- SEIDEL, K. (1958) Dolomiti sierung und Erzbiklung in Karbonat unter der Einwirkung von Salzsolen. N. Jahrb. Mineral, Geol. Paläont. Mh 25 - 55.
- SILAR, J. (1965) Development of tower Karst of China and N Vietnam. The National Speology Soc. Bull. 27, 2.
- SMITH, D.I. AND ATKINSON, T.S. (1974)
- Underground flow rates in cavernous and fissured Limestones. In: Cole, J.A. Editor, Groundwater pollution in Europe: Proceedings, Conference Water Resources Assoc. Water Information Centre Inc. 409 - 411.
- SMITH, D.I.; ATKINSON, T.S. AND DREW, D.P. (1976)
- The hydrology og limestone terraines. In: Ford, T.D., Cullingford, C.H.D. Editors: The Science of Speleology, Academic press, London, New York, 179 - 212.
- SOKOLOV, D.S. (1962) Main conditions of Karst development. Moscow, USSR.
- SOUTH AFRICAN COMMITEE FOR STRATIGRAPHY (SACS)- 1980
- Stratigraphy of S. A. of the RSA/SWA/Namibia, and the Republics of Bophuthatswana, Transkei and Venda: Hand 8. Geol. Surv., Pretoria.

STEFFEN, ROBERTSON AND KIRSTEN (1985)

Development of Groundwater resources of the Zuurbekom and Gemsbokfontein compartments (West Rand). Int. Report C1 4043/2 Okt 1985.

STUMM, W. AND MORGAN, J.J. (1981)

Aquatic chemistry. (2nd ed) New York; John Wiley and Sons, p780.

SUESS, E. (1973)

Interaction of organic compounds with calcium carbonate - II, organo-carbonate association in Recent sediments: Geochim. Cosmochim. Acta 34, 157 - 168.

SWEETING, M.M (1964)

Some factors in the absolute denudation of limestone terrains. Erdkunde 18, 92 - 95.

SWINNERTON, A.C. (1932)

Origin of limestone caverns. Bull. Geol. soc. Am. 43, 663 - 693.

SWINNERTON, A.C. (1942)

Hydrology of limestone terrains. In: Meinzer, O.E. (Editor) Physics of the earth: IX, Hydrology New York.

TODD, D.K. (1980)

Groundwater Hydrology. USA, Wiley and Sons, 316p.

TURK, L.J. (1975)

Predicting the environment impact of urban Development in a Karst area. Yevjevic, V. (Editor) Karst water resources Vol 2, 30 - 31. Proceeding of the US - Yugoslavian Symposium, Dubrovnik, June 2-7 1975.

VAN EEDEN (1972)

Geology of the RSA - an explanation of the 1:1 000 000 map, 1970 edition. Dept. of Mines, Geol. Surv. Special publ. 18, Government Printer, Pretoria.

VAN SCHALKWYK, A. (1981)

Ontwikkelingspatroon en risiko evaluasie in dolomietgebied. Seminar on the Engineering Geology of Dolomite, Univ. of Pretoria. 26-27 Nov 1981, 9 - 24.

VEGTER, J.R. (1984)

Dolomitic water supplies with special reference to Southern and Western Transvaal. Internal Report GH 3353, Dept. of Water Affairs.

VEGTER, J.R. AND FOSTER, M.B.J. (1989)

The hydrology of dolomitic formations in the Southern and Western Transvaal. Dept. of Water Affairs, Pretoria.

WATER ENCYCLOPEDIA, (2nd ed - 1990)

Groundwater series, Lewis Publications, Chelsea, Michigan, USA.

WHITEHEAD, P.G. AND LACK, T. (1982)

Dispersion and self-purification of pollutants in surface water systems: Paris, UNESCO, 89.

WOLMARANS, J.F. (1984)

Ontwikkeling van die dolomietgebied aan die Verre Wes Rand: Gebeure in Perspektief. Ongepubl PhD proefskrif, Univ. van Pretoria.

ZOGOVIĆ, D. (1966)

Hydrogeologic role of dolomites in Dinaric Karst. Vesnik Geozavoda VI, Beograd, Yugoslavia.

BYLAE A
BOORGATSTATE

HOLE No: B1
Sheet 1 of 2

JOB NUMBER: B1

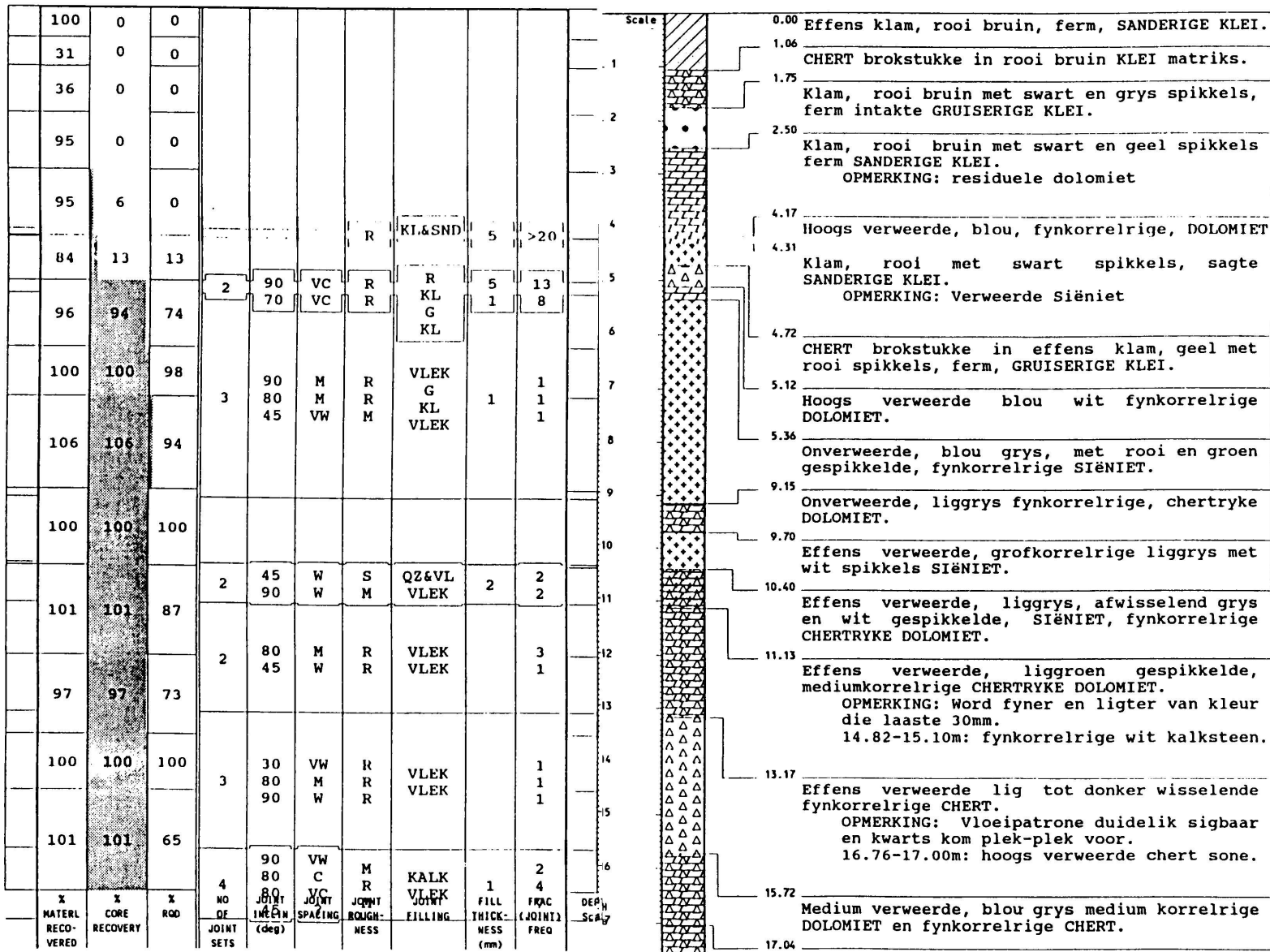
JOINT SPACING (mm) JOINT ROUGHNESS
VC : < 100 L : slickensided
C : 100 - 300 S : smooth
M : 300 - 1000 R : rough
W : 1000 - 3000
VW : > 3000

STRENGTH : Interpreted UCS value in MPa.

R Ligthelm
MSc Verhandeling

HOLE No: B1
Sheet 1 of 2

JOB NUMBER: B1



MOLE No: **B1**
Sheet 2 of 2

JOB NUMBER: **B1**

JOINT SPACING (mm)
VC : < 100
C : 100 - 300
M : 300 - 1000
W : 1000 - 3000
VW : > 3000

JOINT ROUGHNESS
L : slicksided
S : smooth
R : rough

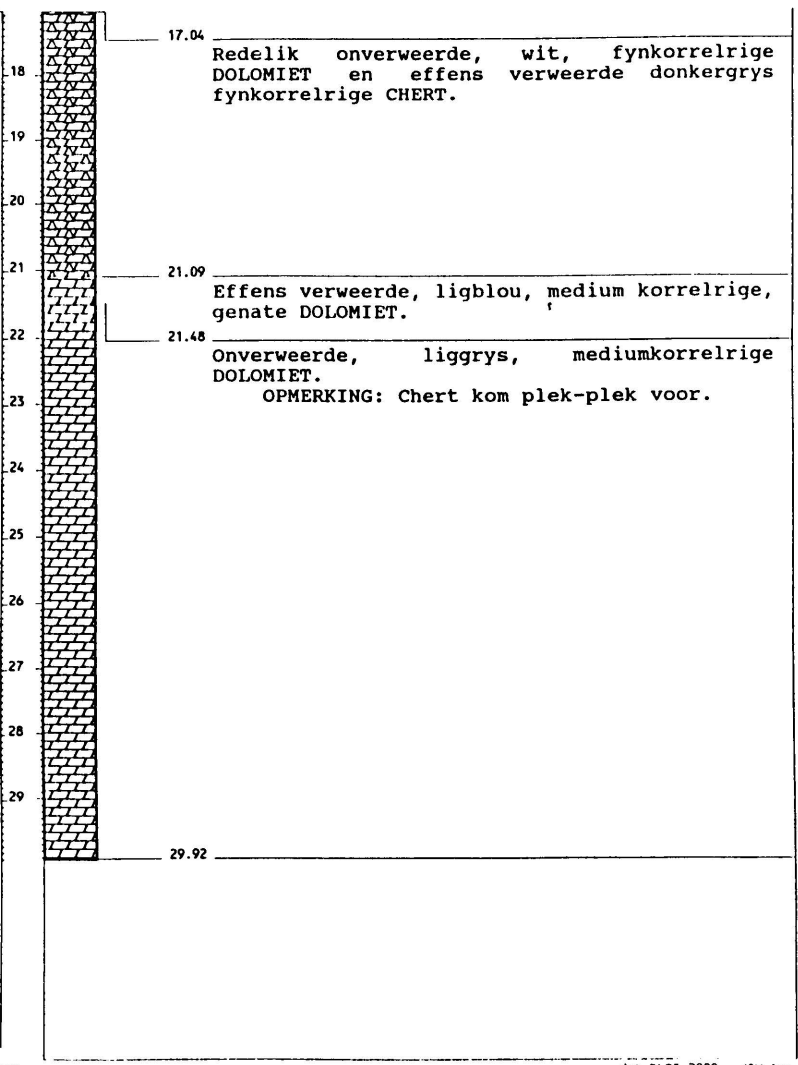
STRENGTH : Interpreted UCS value in MPa.

R Ligthelm
MSc Verhandeling

MOLE No: **B1**
Sheet 2 of 2

JOB NUMBER: **B1**

X MATERL RECO- VERED	X CORE RECOVERY	X ROD	NO OF JOINT SETS	JOINT INCLIN (deg)	JOINT SPACING	JOINT ROUGH- NESS	JOINT FILLING	FILL THICK- NESS (mm)	FRAC (JOINT) FREQ
100	100	94							
			1	85	W	R	VLEK		1
101	101	101							
			2	90	W	R	VLEK	1	5
101	101	76		45	C	R	QZ		5
100	100	100							
99	99	99							
97	97	97							



DEPTH
Scale

GROUND LEVEL :
MACHINE TYPE : Seco
LOGGED BY : R Ligthelm
TYPE SET BY : RL
ORIENTATION : Vertikaal

DIAM : NX
DATE : 24/09/1992
DATE : 28/09/1992
DATE : 20/11/92 11:24
FILE : DB1DB1.BOORGATE

dot.PLOT 2000 J&W Inc

MOLE No: **B1**
Basson/Olifantsfontein

MOLE No: **B2**
Sheet 1 of 2

JOB NUMBER: **B2**

JOINT SPACING (mm)
VC : < 100
C : 100 - 300
M : 300 - 1000
W : 1000 - 3000
VW : > 3000

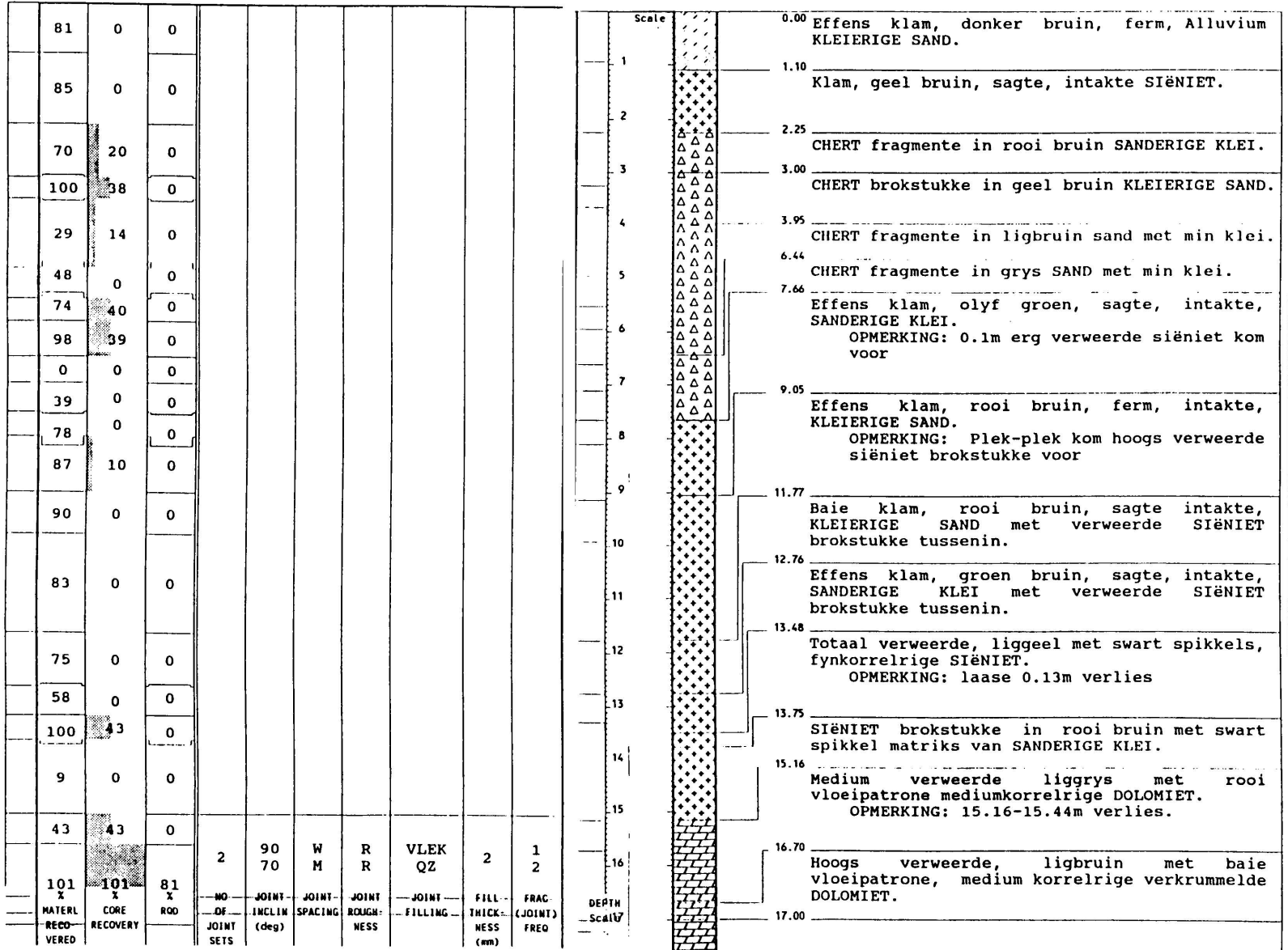
JOINT ROUGHNESS
L : slickensided
S : smooth
R : rough

R Ligthelm
Msc Verhandeling

MOLE No: **B2**
Sheet 1 of 2

JOB NUMBER: **B2**

STRENGTH : Interpreted UCS value in MPa.



MOLE No: **B2**
Sheet 2 of 2

JOB NUMBER: **B2**

JOINT SPACING (mm) JOINT ROUGHNESS
 VC : < 100 L : slicksided
 C : 100 - 300 S : smooth
 M : 300 - 1000 R : rough
 W : 1000 - 3000
 VW : > 3000

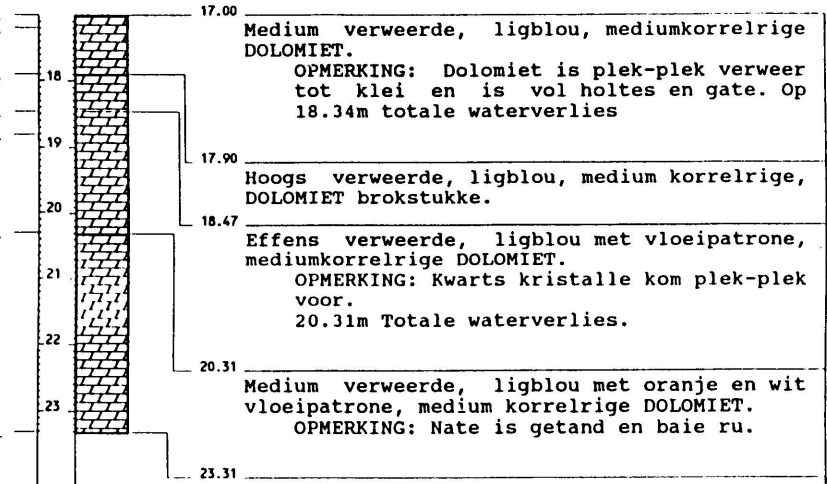
STRENGTH : Interpreted UCS value in MPa.

% MATERL RECO- VERED	% CORE RECOVERY	% RQD	NO OF JOINT SETS	JOINT INCLIN (deg)	JOINT SPACING	JOINT ROUGH- NESS	JOINT FILLING	FILL THICK- NESS (mm)	FRAC (JOINT) FREQ
72	72	30	1	90	M	R	KLEI	5	2
99	99	96	2	80 90	M C	M M	VLEK VLEK		1 1
102	102	93	3	80	W	R	R		1
				90	M	R	R	R XTAL VLEK VLEK	2 1
102	82	0		80	M	R			1

R Ligthelm
MSc Verhandeling

MOLE No: **B2**
Sheet 2 of 2

JOB NUMBER: **B2**



DEPTH
Scale

GROUND LEVEL :
 MACHINE TYPE : Seco
 LOGGED BY : R Ligthelm
 TYPE SET BY : RL
 ORIENTATION : Vertikaal

DIAM : NX
 DATE : 05/10/1992
 DATE : 12/10/1992
 DATE : 20/11/92 10:55
 FILE : DB2DB2.BOORGATE

dot.PLOT 2000 J&W Inc

MOLE No: **B2**
Basson/Olifantsfontein

NOLE No: **B3**
Sheet 1 of 1

JOB NUMBER: **23**

JOINT SPACING (mm)
VC : < 100
C : 100 - 300
M : 300 - 1000
W : 1000 - 3000
VW : > 3000

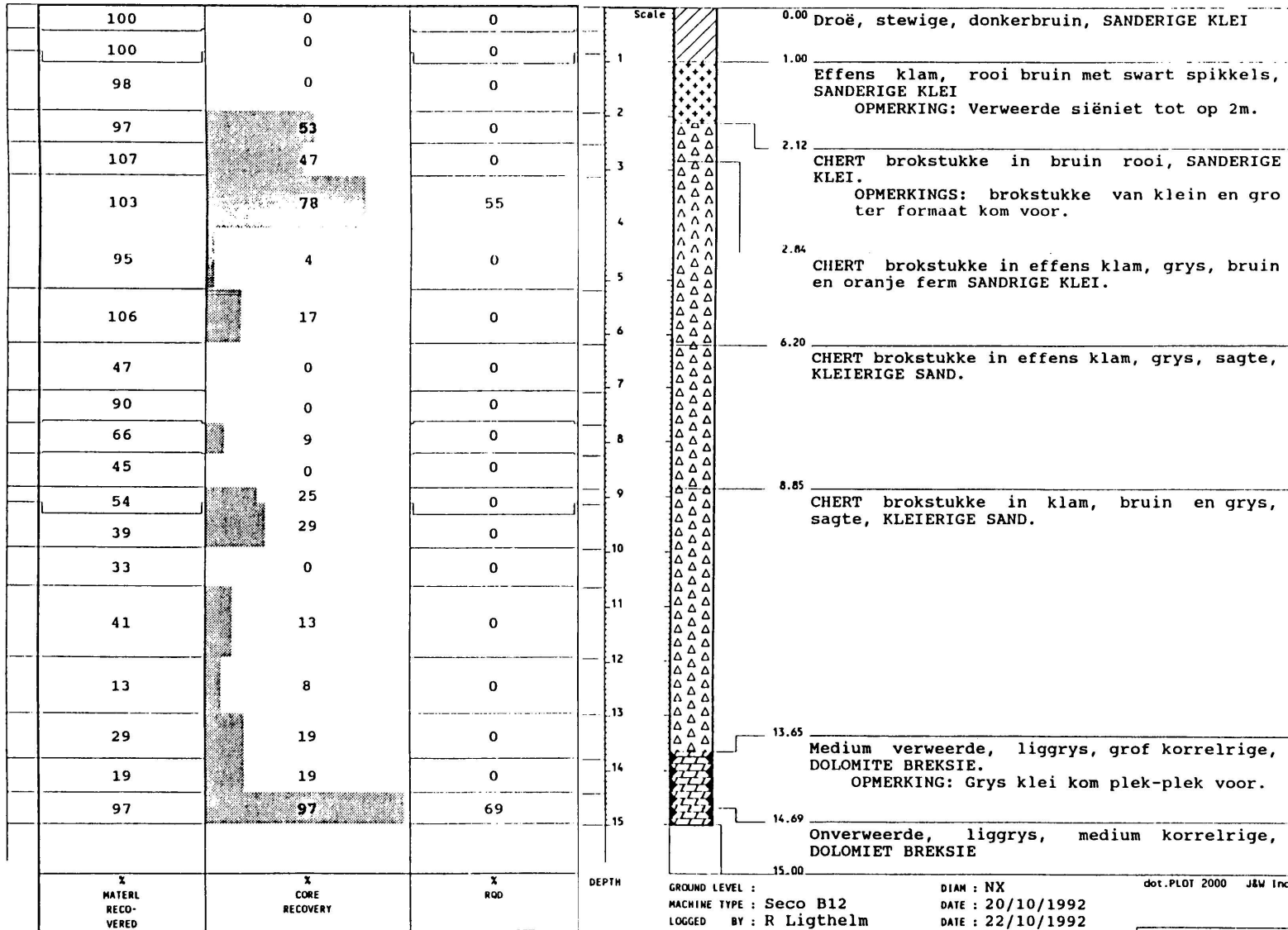
JOINT ROUGHNESS
L : slickensided
S : smooth
R : rough

R Ligthelm
MSc Verhandelng

NOLE No: **B3**
Sheet 1 of 1

JOB NUMBER: **B3**

STRENGTH : Interpreted UCS value in MPa.



GROUND LEVEL :
MACHINE TYPE : Seco B12
LOGGED BY : R Ligthelm
TYPE SET BY : RL
ORIENTATION : Vertical

DIAM : NX
DATE : 20/10/1992
DATE : 22/10/1992
DATE : 20/11/92 11:39

dot.PLOT 2000 J&W Inc

NOLE No: **B3**
Basson/Olifantsfontein

HOLE No: **C1**
Sheet 1 of 2

JOINT SPACING (mm) JOINT ROUGHNESS
 VC : < 100 L : sticketsided
 C : 100 - 300 S : smooth
 M : 300 - 1000 R : rough
 W : 1000 - 3000
 VW : > 3000

R Ligthelm
MSC Verhandeling

HOLE No: **C1**
Sheet 1 of 2

JOB NUMBER: **MBC**

JOB NUMBER: **MBC**

STRENGTH : Interpreted UCS value in MPa.

X MATERL RECO- VERED	X CORE RECOVERY	X ROD	NO OF JOINT SETS	JOINT INCLIN (deg)	JOINT SPACING	JOINT ROUGH- NESS	JOINT FILLING	FILL THICK- NESS (mm)	FRAC (JOINT) FREQ	DEPTH	Scale	Description
										0.00	0.00	Effens klam, sagte, bruin, SANDERIGE KLEI met wortels.
										0.74	0.74	CHERT brokstukke in droë, ferm, bruin SANDERIGE KLEI.
										1.16	1.16	Heuningkoek verweerde chertryke dolomiet, met CHERT gruis, in rooi bruin SANDERIGE KLEI.
										1.32	1.32	Klam, sagte, rooi bruin met swart en geel spikkels SANDERIGE KLEI.
										1.47	1.47	CHERT brokstukke en deels onverweerde DOLOMIET met nou droë, ferm, bruin KLEIERINGE SAND. OPMERKING: Chert rolblokke kom voor tot op 2.43m dus vervoerde materiaal kom tot op 2.43m voor.
										4.41	4.41	CHERT brokstukke in klam sagte oranje SANDERIGE KLEI.
										5.35	5.35	Hoogs verweerde ligblou CHERTRYKE DOLOMIET. OPMERKINGS: 6.4 - 6.5 is totaal verweer tot gruis
										6.59	6.59	CHERT brokstukke in nat, baie sagte bruin-grys SANDERIGE KLEI.
										7.35	7.35	Hoogs verweerde liggrys fynkorrelrige CHERT.
										8.51	8.51	Onverweerde, ligblou, fynkorrelrige CHERT.
										8.85	8.85	CHERT brokstukke in swart met geel spikkels gruiserige WAD. OPMERKING: 9.69 - 10.77 holte
										10.77	10.77	

HOLE No: C1
Sheet 2 of 2

JOINT SPACING (mm) JOINT ROUGHNESS
 VC : < 100 L : slickensided
 C : 100 - 300 S : smooth
 M : 300 - 1000 R : rough
 W : 1000 - 3000
 VW : > 3000

R Ligthelm
Msc Verhandelng

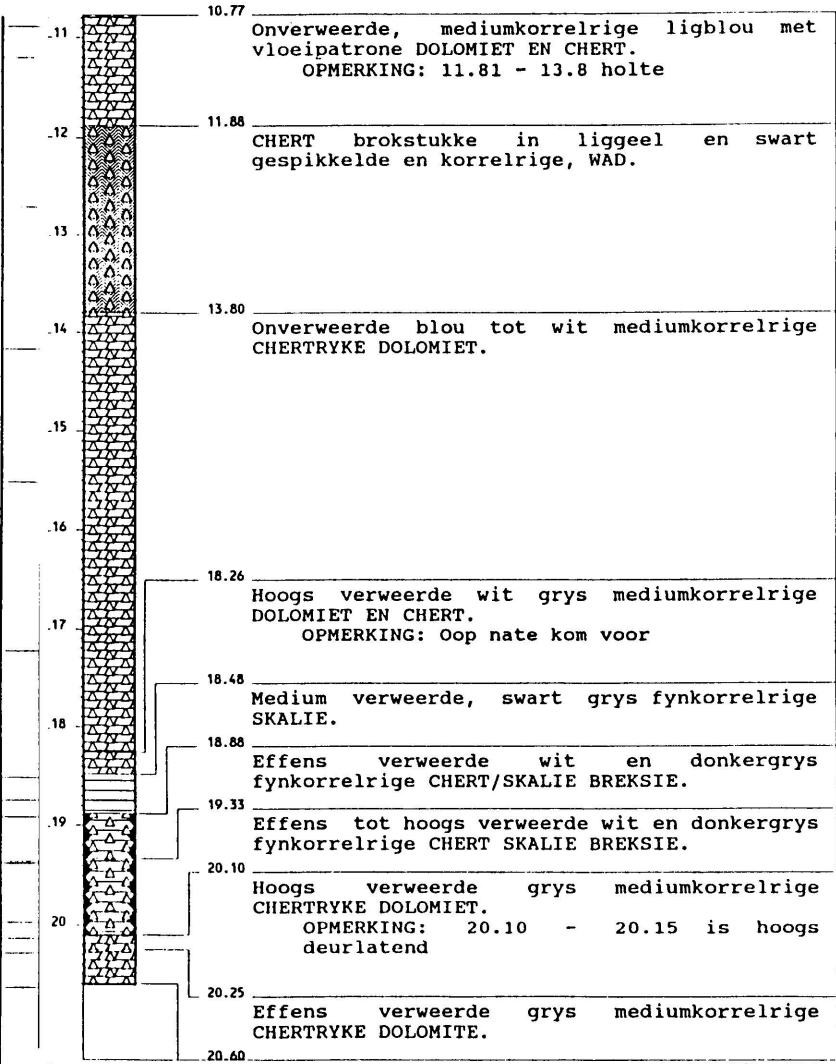
HOLE No: C1
Sheet 2 of 2

JOB NUMBER: MBC

JOB NUMBER: MBC

STRENGTH : Interpreted UCS value in MPa.

% MATERL RECO- VERED	% CORE RECOVERY	% ROO	NO OF JOINT SETS	JOINT INCLIN (deg)	JOINT SPACING	JOINT ROUGH- NESS	JOINT FILLING	FILL THICK- NESS (mm)	FRAC (JOINT) FREQ
116	116	116							
57	49	41							
33	26	23							
66	66	66							
97	97	97							
93	93	75	2	80	VC	S	st	18	3
94	84	58		25	?	S			
73	46	0	2	80	VC	M	st	13	1
117	117	80		0	?	VR			
			1	80	?	M			3



DEF TH GROUND LEVEL :
 MACHINE TYPE :
 LOGGED BY : R Ligthelm
 TYPE SET BY : RL
 ORIENTATION :

DIAM : NX
 DATE : 28/10/1992
 DATE : 05/11/1992
 DATE : 20/11/92 10:35
 FILE : MSCBC1.BOORGATE

dot.PLOT 2000 J&W Inc

HOLE No: C1
Cullinan/Olifantsfontein

HOLE No: C2
Sheet 1 of 1

JOB NUMBER: C2

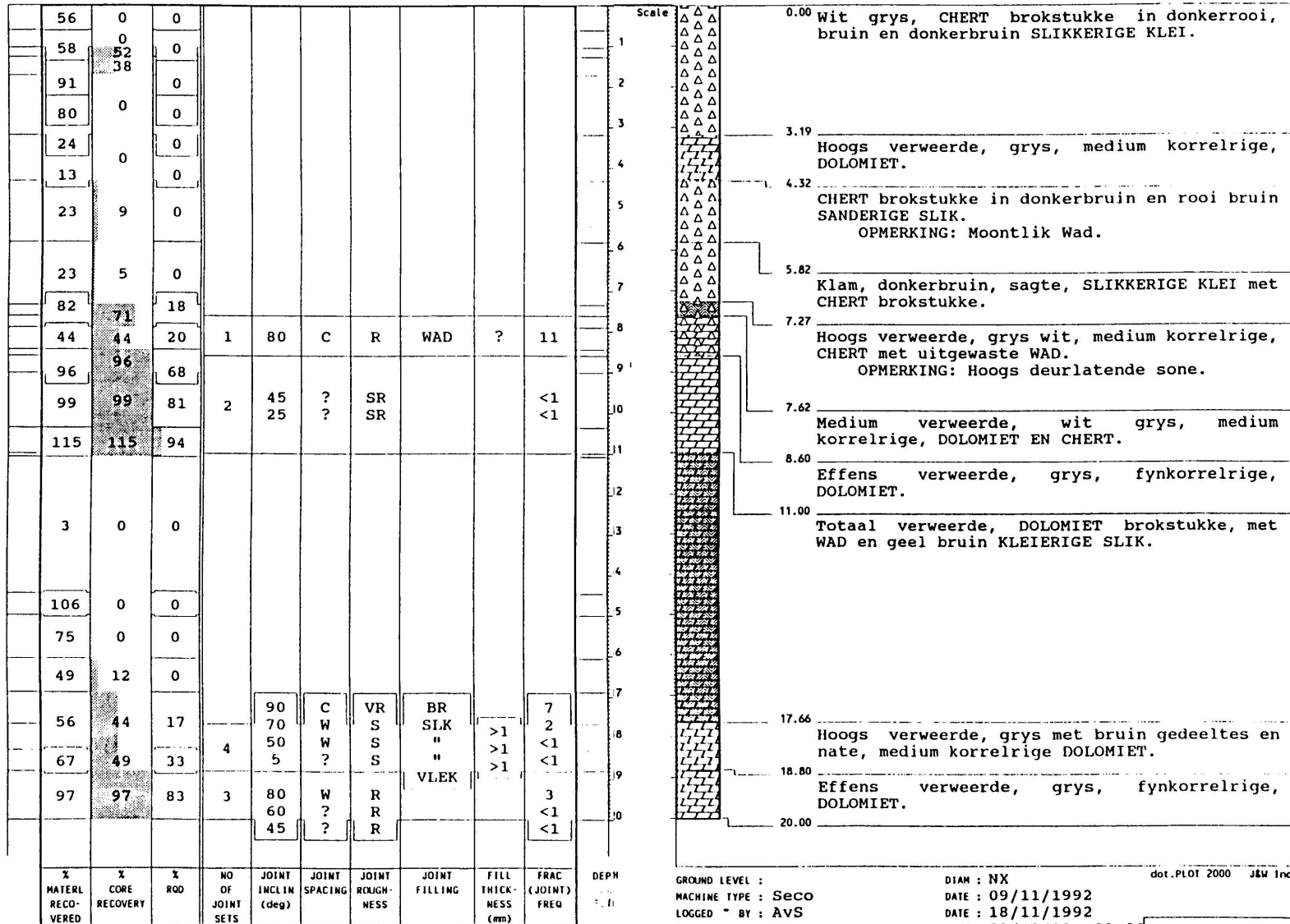
JOINT SPACING (mm) JOINT ROUGHNESS
 VC : < 100 L : slickensided
 C : 100 - 300 S : smooth
 M : 300 - 1000 R : rough
 V : 1000 - 3000
 VM : > 3000

STRENGTH : Interpreted UCS value in MPa.

R Ligthelm
MSc Verhandeling

HOLE No: C2
Sheet 1 of 1

JOB NUMBER: C2



0.00 Wit grys, CHERT brokstukke in donkerrooi, bruin en donkerbruin SLIKKERIGE KLEI.

3.19 Hoogs verweerde, grys, medium korrelrige, DOLOMIET.

4.32 CHERT brokstukke in donkerbruin en rooi bruin SANDERIGE SLIK.
OPMERKING: Moontlik Wad.

5.82 Klam, donkerbruin, sagte, SLIKKERIGE KLEI met CHERT brokstukke.

7.27 Hoogs verweerde, grys wit, medium korrelrige, CHERT met uitgewaste WAD.
OPMERKING: Hoogs deurlatende sone.

7.62 Medium verweerde, wit grys, medium korrelrige, DOLOMIET EN CHERT.

8.60 Effens verweerde, grys, fynkorrelrige, DOLOMIET.

11.00 Totaal verweerde, DOLOMIET brokstukke, met WAD en geel bruin KLEIERIGE SLIK.

17.66 Hoogs verweerde, grys met bruin gedeeltes en nate, medium korrelrige DOLOMIET.

18.80 Effens verweerde, grys, fynkorrelrige, DOLOMIET.

20.00

GROUND LEVEL :
 MACHINE TYPE : Seco
 LOGGED BY : AVS
 TYPE SET BY : RL
 ORIENTATION : Vertikaal

DIAM : NX
 DATE : 09/11/1992
 DATE : 18/11/1992
 DATE : 03/12/92 08:20
 FILE : BC2BC2.BOORGATE

dot.PLOT 2000 J&W Inc
 HOLE No: C2
 Cullinan/Olifantsfontein

HOLE No: **81**
Sheet 1 of 2

JOINT SPACING (mm) JOINT ROUGHNESS
 VC : < 100 L : slicksided
 C : 100 - 300 S : smooth
 M : 300 - 1000 R : rough
 W : 1000 - 3000
 Vw : > 3000

R Ligthelm
MSC Verhandeling

HOLE No: **81**
Sheet 1 of 2

JOB NUMBER: **81**

JOB NUMBER: **81**

STRENGTH : Interpreted UCS value in MPa.

DEPTH (m)	SCALE	RECOVERY (%)	RECOVERY (%)	NO OF JOINT SETS	JOINT INCLIN (deg)	JOINT SPACING	JOINT ROUGHNESS	FILLING	FILL THICKNESS (mm)	FRAC (JOINT) FREQ	DEPTH (m)	DESCRIPTION	
102	0	0									0.00	Droë, donkerbruin, los SLIKKERIGE SAND met plantwortels. Opmerking : Vervoerde materiaal	
72	0	0									0.19	Droë, bruin met wot spikkels, digte SLIKKERIGE GRUIS met rolstene. Opmerking : rolstene is wit en 3cm in deursnee	
49	8	0									0.48	Droë, roesbruin, digte SLIKKERIGE SAND met plantwortels	
102	102	78									0.65	Droë, bruin, baie stewige, SANDERIGE SLIK met wit en ligblou brokstukke van DOLOMIET tussenin.	
99	99	65									1.15	Droë, donkerbruin, met wit spikkels, stewige SANDERIGE SLIK met klein klein brokstukke van DOLOMIET tussenin. Opmerking: 1.85 - 1.95m kern totaal verweer	
98	98	92		4		80 90 30 80	W M C W	S+R M S R	Qtz	1	<1 <1 <1 <1		
111	111	99									1.95	Effens verweerde, ligblou, fynkorrelrige, DOLOMIET.	
96	96	92									9.93	Medium verweerde, oorwegend ligblou fynkorrelrige DOLOMIET. OPMERKINGS: 9.93 - 10.53 vol nate en vloeipatrone, deels verweer.	
106	106	58		3		20 60 90	W C C	S R M	vl+kl vl	1	<1 1 2.5	11.93	Effens verweerde, witterige, fynkorrelrige CHERTRYKE DOLOMIET.
85	84	71		2		30 80	M W	S R	vl		1 <1	13.50	Hoogs verweerde, groenerig met bruin vloeipatrone, fynkorrelrige MODDERSTEEN. Opmerking: Blussing van die moddersteen kom voor
116	116	116		3		45 60 80	M C ?	R M M	vl kl	2	1 3 3	14.21	Effens verweerde, ligblou, fynkorrelrige CHERTRYKE DOLOMIET.
153	153	127		1		70	C	M			5	14.84	Hoogs verweerde, donkergrys, fynkorrelrige MODDERSTEEN. DOLOMIET kom afwisselend voor. Opmerking: Blussing kom voor 15.07 - 15.4m is totaal verweer
95	92	34		3		80 45	C C	R S	JOINT FILLING kl swt	4 2	4 2	15.81	Medium verweerde, ligblou, medium korrelrige DOLOMIET

HOLE No: 82
Sheet 1 of 2

JOB NUMBER: 82

JOINT SPACING (mm)
VC : < 100
C : 100 - 300
M : 300 - 1000
W : 1000 - 3000
VW : > 3000

JOINT ROUGHNESS
L : slickensided
S : smooth
R : rough

R Ligthelm
Msc Verhandeling

HOLE No: 82
Sheet 1 of 2

JOB NUMBER: 82

STRENGTH : Interpreted UCS value in MPa.

% MATERL RECOVERED	% CORE RECOVERY	% ROO	NO OF JOINT SETS	JOINT INCLIN (deg)	JOINT SPACING	JOINT ROUGHNESS	JOINT FILLING	FILL THICKNESS (mm)	FRAC (JOINT) FREQ	DEPTH	Scale	Description
	60	51										0.00 Effens klam, los, bruin SLIKKERIGE GRUIS met plantwortels. Opmerking : Vervoerde materiaal
	85	34	3	45 60 80	M C M	S M M	vlek " "	2 4 4		1		
	0	0								2		0.22 Hoogs verweerde, grys, fynkorrelrige DOLOMIET. Opmerking: Laaste 0.12m rolstone van dolomiet
	0	0								3		
	20	12								4		1.25 Effens klam, sagte, bruin KLEIERIGE SAND met klein afgeronde gruis korrels en plantwortels.
	50	35								5		2.88 Effens klam, sagte, donkerbruin, KLEIERIGE SLIK Opmerking: totaal verweerde dolomiet
	102	72	3	90 30 80	M WV ?	S M VR	vlek "	3 1 <1		6		4.04 Effens verweerde, grys fynkorrelrige, DOLOMIET met verweerde materiaal tussenin Opmerking: Verweerde materiaal is sg aan die tot op 4.04m
	96	80	2	30 90	C ?	M VR	vlek klei	8 4		7		4.31 Klam, ferme, donkerbruin SANDERIGE KLEI, WAD ?.
	97	73	3	30 80 90	VC C ?	S M-R VR	vlek klei vlek	7 3 <1		8		5.10 Medium verweerde, grys, fynkorrelrige DOLOMIET.
										9		7.90 Hoogs verweerde, liggrys, fynkorrelrige DOLOMIET.
	79	79								10		8.15 Effens verweerde, liggrys tot wit, mediumkorrelrige CHERTRYKE DOLOMIET.
			4	70 45 90 80	M C M M	S M S-VR S-VR	" " " "	<1 <1 <1 1		11		10.45 Medium verweerde, grys, mediumkorrelrige DOLOMIET. Opmerking: Chert van 11.07 - 11.13m Totale waterverlies 10.45 - 11.08
	99	99								12		
	105	74								13		
										14		
										15		15.12

HOLE No: **82**
Sheet 2 of 2

JOB NUMBER: **82**

JOINT SPACING (mm)
VC : < 100
C : 100 - 300
M : 300 - 1000
W : 1000 - 3000
VM : > 3000

JOINT ROUGHNESS
L : slickensided
S : smooth
R : rough

R Ligthelm
Msc Verhandeling

HOLE No: **82**
Sheet 2 of 2

JOB NUMBER: **82**

STRENGTH : Interpreted UCS value in MPa.

% MATERL RECOVERED	% CORE RECOVERY	% ROD	NO OF JOINT SETS	JOINT INCLIN (deg)	JOINT SPACING	JOINT ROUGHNESS	JOINT FILLING	FILL THICKNESS (mm)	FRAC (JOINT) FREQ	DEPTH Scale	DESCRIPTION
103	103	103								15.12	Effens verweerde, liggrys, fynkorrelrige DOLOMIET.
95	95	90	2	90 40	M ?	M S	" kwarts	1 1.5 <1		16 17	
61	61	58	2	80 0	M ?	R M		1.5 <1		18 19 20	19.00 Effens verweerde, donkergrys, fynkorrelrige SKALIE
110	110	110	2	80 80	M M	VR M-VR	skalie "	1-5 1-5 3 2		21 22	20.33 Medium verweerde, grys, mediumkorrelrige DOLOMIET. Opmerking: Kwarts vloeioptrone kom voor. Op elke naat kom skalie voor en die nate is baie grof
										22.35	

GROUND LEVEL :
MACHINE TYPE : Seco
LOGGED BY : R Ligthelm
TYPE SET BY : RL
ORIENTATION : 60°

DIAM : NX
DATE : 18/01/1993
DATE : 28/01/1993
DATE : 03/02/93 10:39

dot.PLOT 2000 J&W Inc

HOLE No: **82**
FILE : SS2SS2.BOORGATE

GAT Nr: S3
Bladsy 1 van 1
PROJEKTNOMMER: R2

ROTS MAAKSEL
MM -massief
GM -gelaagd
PM -geplooi
SM -geslyt
SAM-skisagtig
GAM-gneisagtig
LM -gelamineerd

KORRELROOTTE
FK -fynkorrelrig
MK -mediumkorrelrig
GK -grofkorrelrig

NAATROFHEID
GS -geskuifskoord
GL -glad
GR -grof

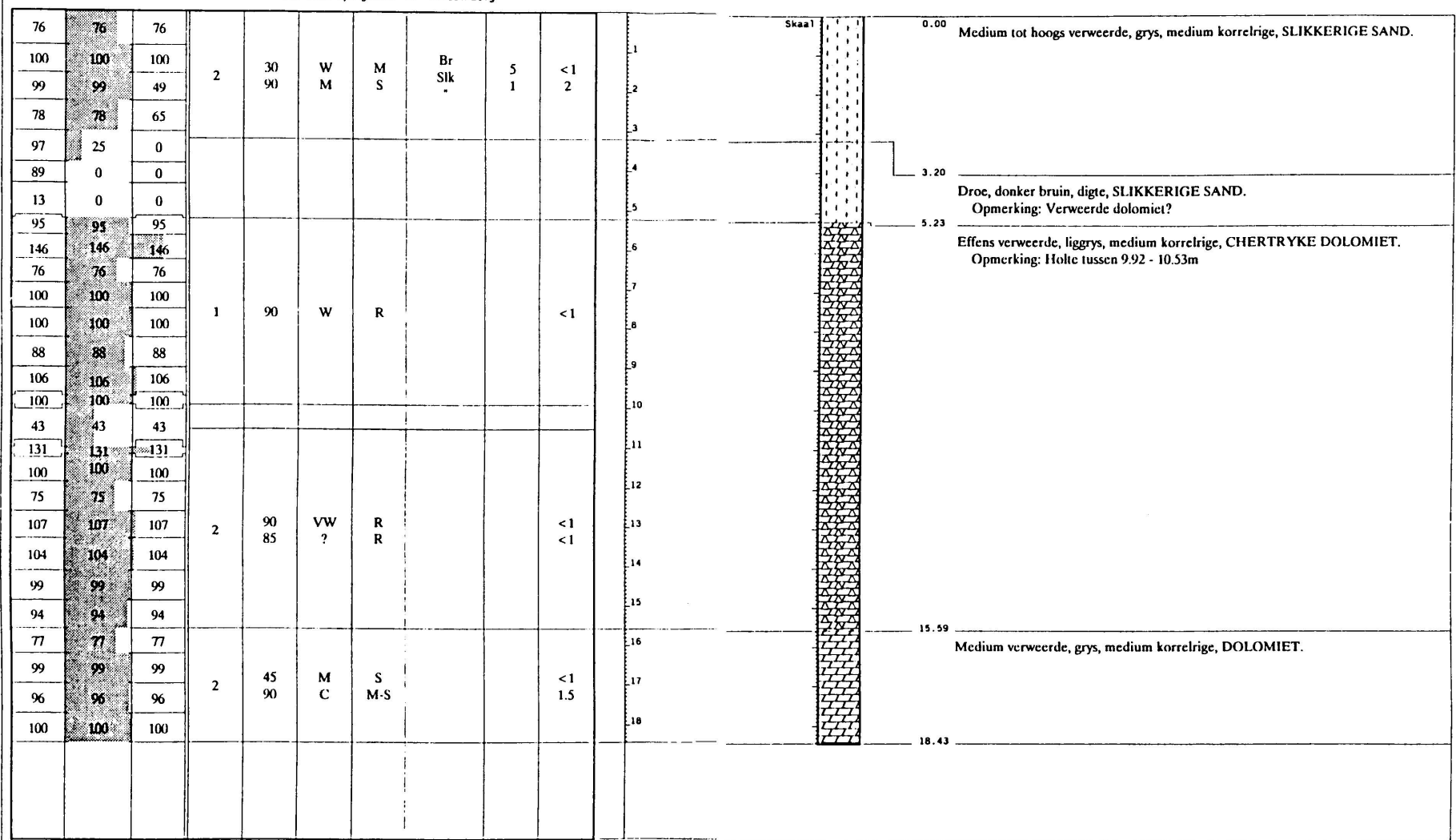
ROTSHARDHEID
UHR-buitengewoon hard
BHR-baie harde rots
HR -harde rots
MHR-medium harde rots
SR -sagte rots
BSR-baie sagte rots

NAATVEELVULDIGHEID
BDN-baie dig genaat
DN -dig genaat
MN -medium genaat
WN -wyd genaat
BWN-baie wyd genaat

NAATVORM
BV -boog-lineêr
PV -planêr
GV -golwend
TV -trapvormig
OV -onreëlmatig

R Ligthelm
MSc Verhandeling

GAT Nr: S3
Bladsy 1 van 1
PROJEKTNOMMER: R2



% MATERL RECOVERED	% CORE RECOVERY	% RQD	NO OF JOINT SETS	JOINT INCLIN (deg)	JOINT SPACING	JOINT ROUGHNESS	JOINT FILLING	FILL THICKNESS (mm)	FRAC (JOINT) FREQ
76	76	76	2	30/90		W/M	M/S	Br Sik	5/1 <1/2
100	100	100	1	90		W	R		<1
107	107	107	2	90/85		VW/?	R/R		<1 <1
99	99	99	2	45/90		M/C	S/M-S		<1 1.5

KONTRAKTEUR :
MASJIE TIPE : Scco
GEBOR DEUR :
BESKRYF DEUR : R Ligthelm
GETIK DEUR : RL
OPSET : GEOSURVA.SET

HELLING : Vertikaal
DIAM : 4" 9/16
DATUM : 16/02/1993
DATUM : 22/02/1993
DATUM : 08/09/93 14:32
TEKSLER : R2 53.

GRONDVLAK :
X-KOORD :
Y-KOORD :
GAT Nr: S3
Du Afvalstortingsterrein:

HOLE No: R1
Sheet 1 of 2

JOINT SPACING (mm) JOINT ROUGHNESS
 VC : < 100 L : slickensided
 C : 100 - 300 S : smooth
 M : 300 - 1000 R : rough
 W : 1000 - 3000
 VW : > 3000

R Ligthelm
MSc Verhandeling

HOLE No: R1
Sheet 1 of 2

JOB NUMBER: R1

JOB NUMBER: R1

STRENGTH : Interpreted UCS value in MPa.

X MATERL RECO- VERED	X CORE RECOVERY	X R	1 NO OF JOINT SETS	85 JOINT INCLTN (deg)	C JOINT SPACING	M JOINT ROUGH- NESS	" JOINT FILLING	2 FILL TRICK- NESS (mm)	11 FRAC (JOINT) FREQ	L11 DEPTH Scale	Scale	Description
		100	0	0						0.00	Effens klam, sagte, bruin SLIKKERIGE KLEI met plantwortels. OPMERKING : Vervoerde materiaal	
		100	17	0						0.19	Droe, stewige, bruin, SLIKKERIGE SAND.	
		80	65	0						0.70	Effens klam, medium digte, bruin met swart spikkels KLEIERIGE SLIK met wit, CHERT en KWARTS kern.	
		76	15	0						1.08	Onverweerde, wit, fynkorrelrige, CHERT EN KWARTS kern.	
		29	1	0						1.16	In situ verweerde CHERT, DOLOMIET ?. Totaal verweer tot droe, digte, lig tot donker bruin met grys en geel spikkels, SLIKKERIGE SAND.	
		15	0	0						2.69	DOLOMIET brokstukke in effens klam, sagte, donker bruin tot swart KLEI. Dolomiet is totaal verweer. OPMERKING: Plantwortels kom ook voor	
		68	0	0						5.60	CHERT kern en brokstukke in effens klam, sagte liggeel KLEI. OPMERKING: 6,15 - 6,69m Totaal verweerde geel klei -dalk Siniet?	
		111	67	37						6.35	Medium verweerde, liggrys, mediumkorrelrige DOLOMIET.	
		94	7	0						8.01	Hoogs tot totaal verweerde, grys, mediumkorrelrige DOLOMIET. OPMERKING: Totale waterverlies	
		88	88	40	2	80	VC	M	M	grs kl	5	7
		100	100	36		90	M			"	2	2
		105	95	0							8.28	Hoogs verweerde, grys, mediumkorrelrige DOLOMIET. OPMERKING: 8,52 - 8,75m is totaal verweer
		99	99	63	2	80	VC	M-S	S	klei	5	2
						75	VC			"	5-10	7
		100	100	54	1	45	W	R		grs kl	5	3
											10.05	Effens verweerde, grys, mediumkorrelrige CHERTRYKE DOLOMIET. OPMERKING: Wit vloeipatrone kom voor.
											10.77	Hoogs verweerde, grys, mediumkorrelrige DOLOMIET. OPMERKING: Totale waterverlies.
											11.24	

HOLE No: R1
Sheet 2 of 2

JOB NUMBER: R1

JOINT SPACING (mm)
VC : < 100
C : 100 - 300
M : 300 - 1000
W : 1000 - 3000
WV : > 3000

JOINT ROUGHNESS
L : slickensided
S : smooth
R : rough

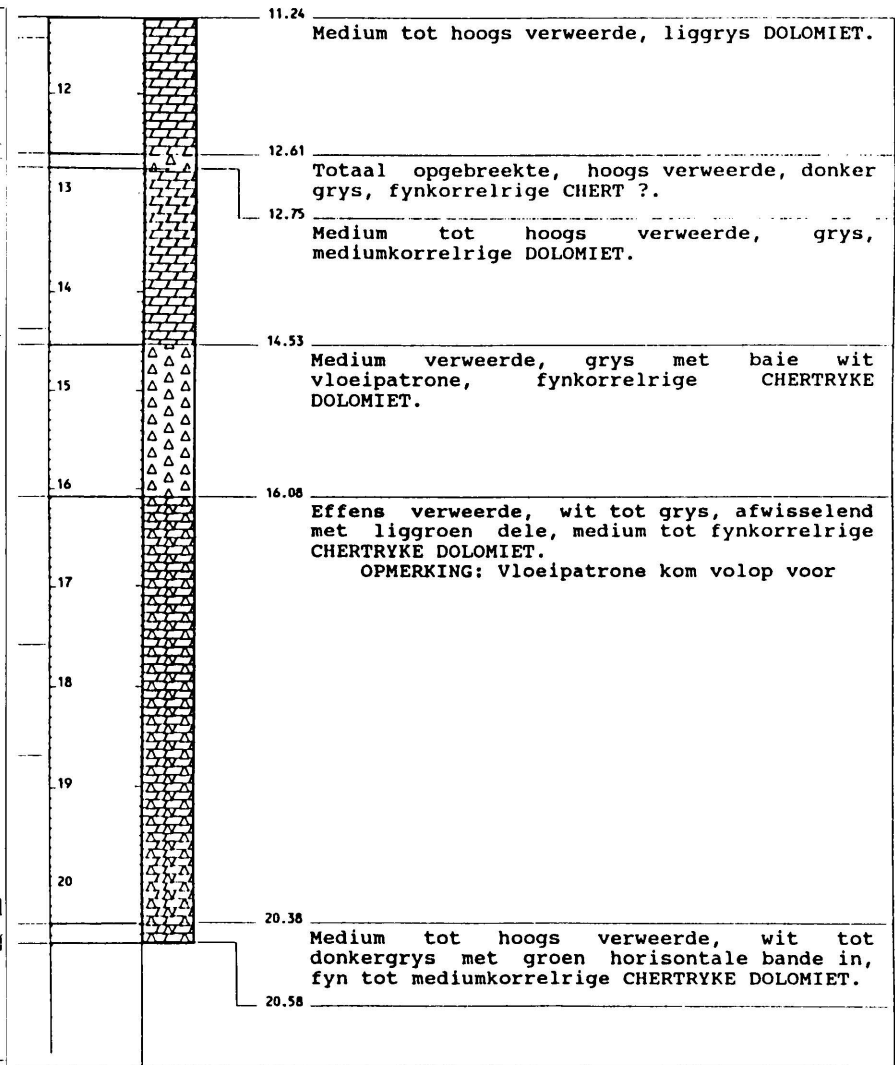
STRENGTH : Interpreted UCS value in MPa.

R Ligthelm
MSc Verhandeling

HOLE No: R1
Sheet 2 of 2

JOB NUMBER: R1

% MATERL RECOVERED	% CORE RECOVERY	% ROD	NO OF JOINT SETS	JOINT INCLIN (deg)	JOINT SPACING	JOINT ROUGHNESS	JOINT FILLING	FILL THICKNESS (mm)	FRAC (JOINT) FREQ
102	92	54	2	80 90	M-C M	S M	" "	1 2	6 4
99	99	60	1	85	C	M	"	1-10	11
138	138	63							
99	99	58	2	90 85	M W	S M			9 2
98	98	93							
102	102	102	3	30 90 60	? W ?	S S-M M	chert	3	<1 2 <1
101	101	78							
			2	20 90	? VC	S M	chert	12	5 15



DEPTH Scale

GROUND LEVEL :
MACHINE TYPE : Seco
LOGGED BY : R Ligthelm
TYPE SET BY : RL
ORIENTATION : Vertikaal

DIAM : NX
DATE : 08/02/1993
DATE : 16/02/1993
DATE : 31/03/93 08:49
FILE : BR1BR1.BOORGATE

dot.PLOT 2000 J&W Inc

HOLE No: R1
Lifantsfontein Roolwerke

GAT Nr: R2
Bladsy 1 van 1

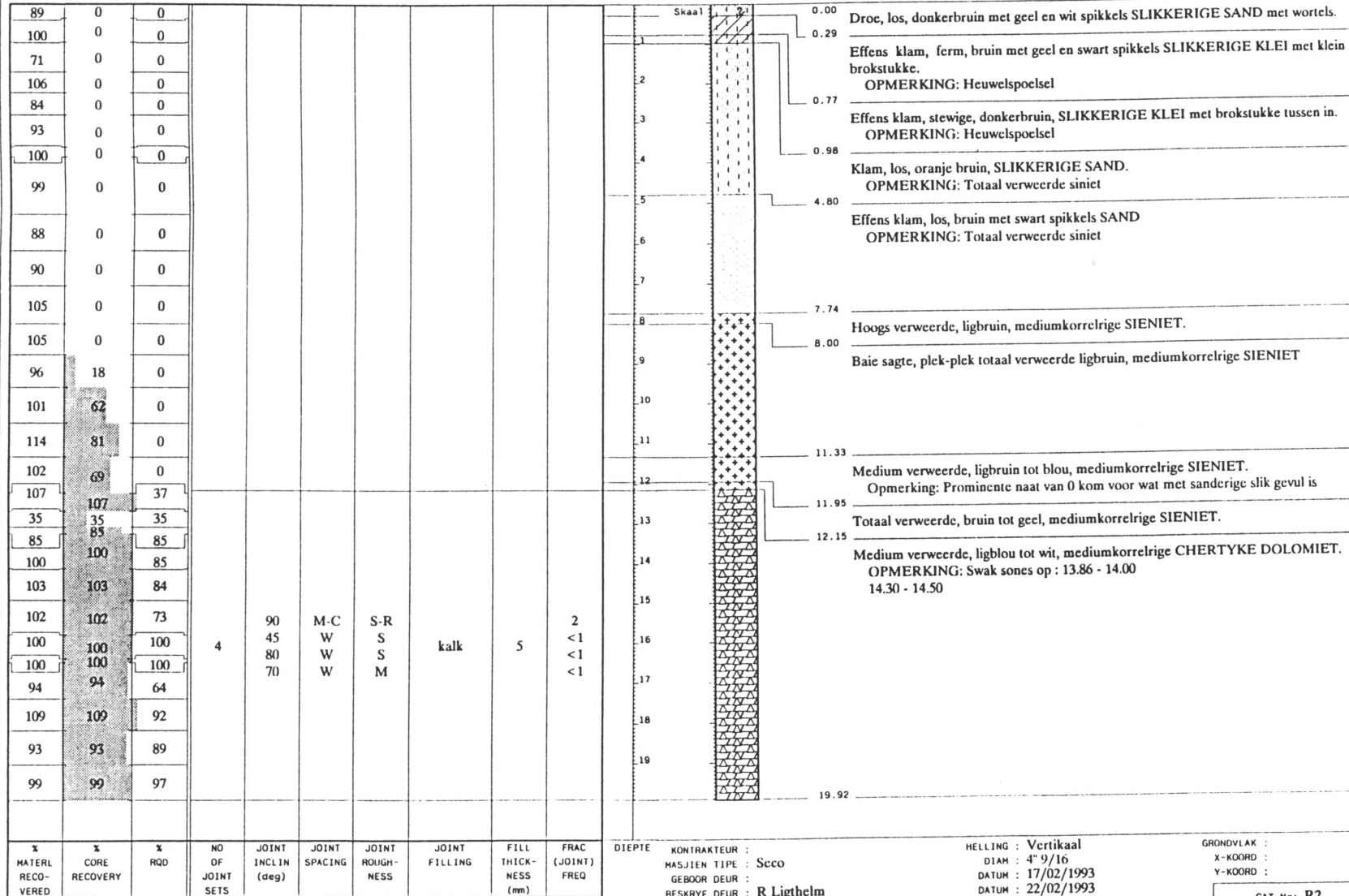
PROJEKNOOMER: R2

ROTS MAAKSEL MH -massief GM -gelaagd PM -geplooi SM -gesplyt SAM -skisagtig GAM -gneisagtig LM -gelamineerd	KORRELGROOTTE FK -fynkorrelrig MK -mediumkorrelrig GK -grofkorrelrig	NAATROFHEID GS -geskuifskoord GL -glad GR -grof	ROTSKARDHEID UHR -buitengewoon hard BHR -baie harde rots HR -harde rots MHR -medium harde rots SR -sagte rots BSR -baie sagte rots
	NAATVEELVULDIGHEID BDN -baie dig genaat DN -dig genaat MN -medium genaat WN -wyd genaat BWN -baie wyd genaat	NAATVORM BV -boog-linéer PV -planêr GV -golwend TV -trapvormig OV -onreëlmatig	

R Ligthelm
MSc Verhandeling

GAT Nr: R2
Bladsy 1 van 1

PROJEKNOOMER: R2



HOLE No: **R3**
Sheet 1 of 1

JOINT SPACING (mm)
VC : < 100
C : 100 - 300
M : 300 - 1000
W : 1000 - 3000
VW : > 3000

JOINT ROUGHNESS
L : slickensided
S : smooth
R : rough

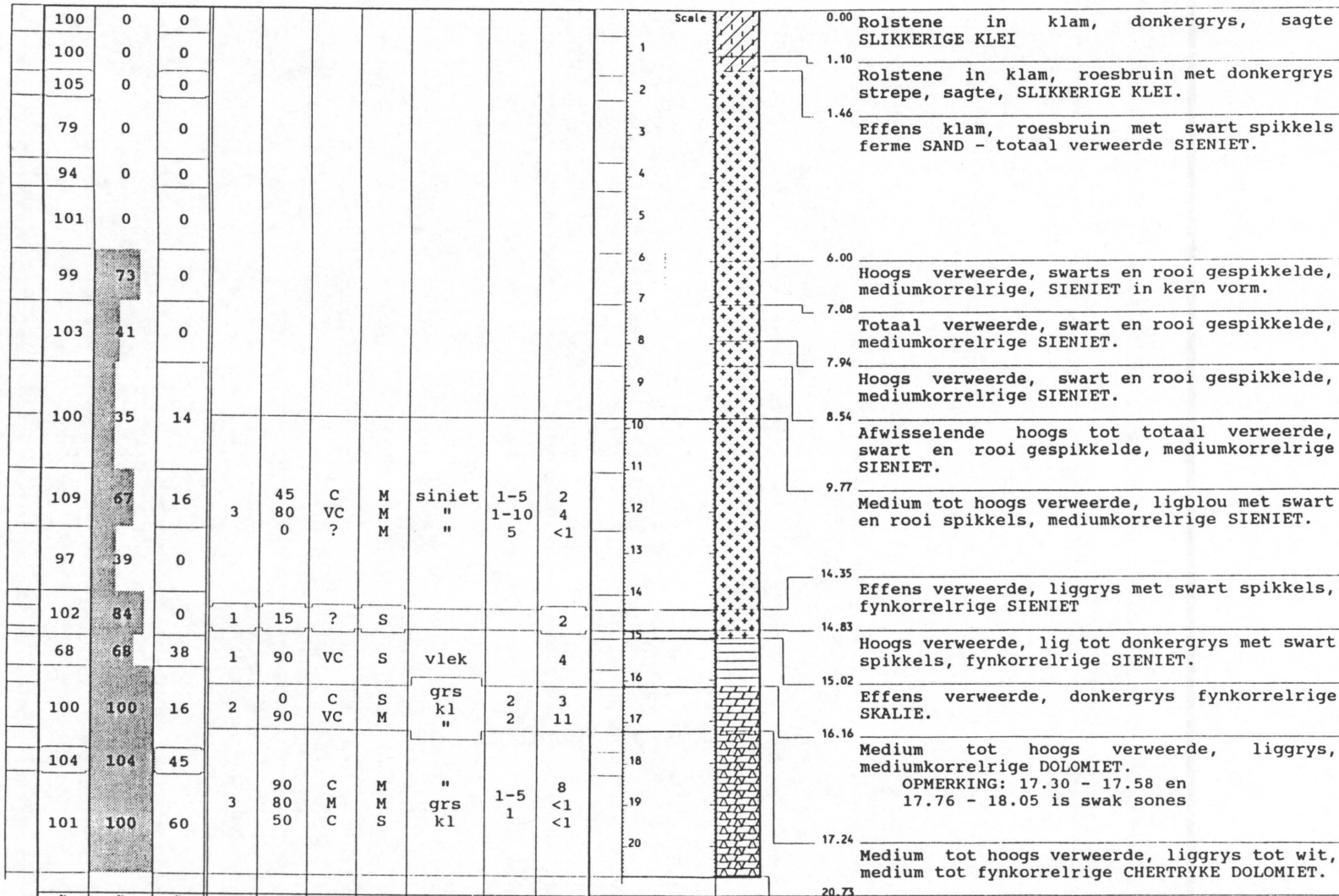
R Ligthelm
MSc Verhandelng

HOLE No: **R3**
Sheet 1 of 1

JOB NUMBER: **R3**

JOB NUMBER: **R3**

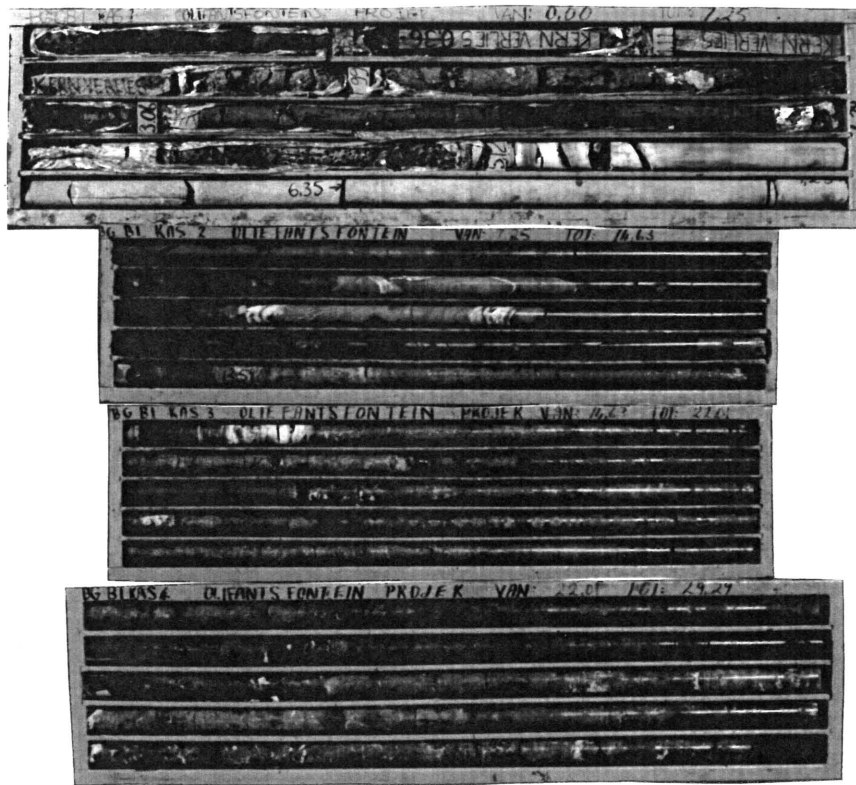
STRENGTH : Interpreted UCS value in MPa.



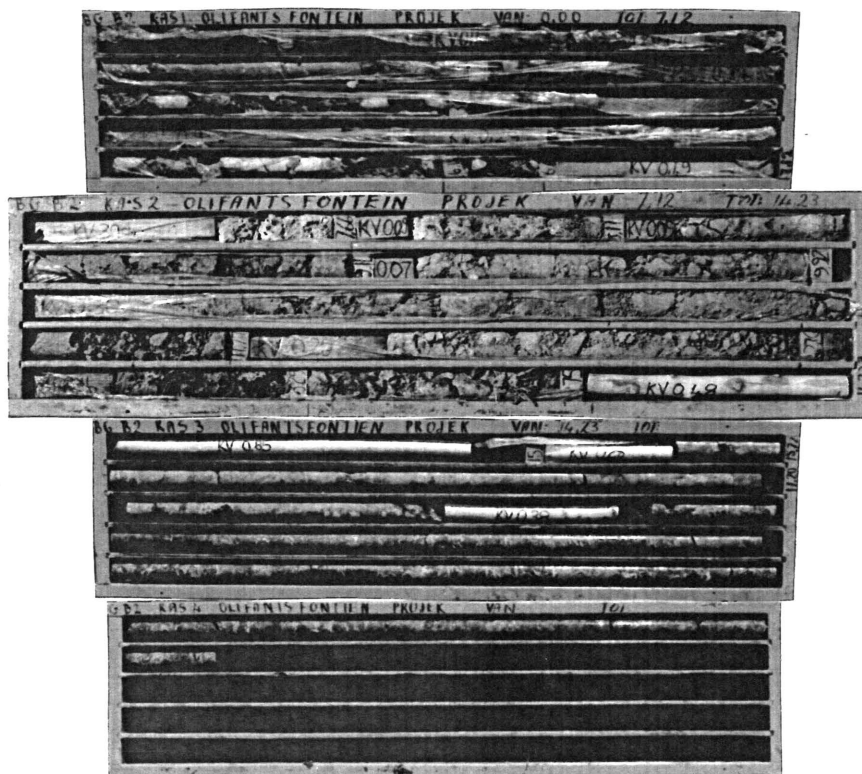
% MATERL RECOVERED	% CORE RECOVERY	% RQD	NO OF JOINT SETS	JOINT INCLIN (deg)	JOINT SPACING (mm)	JOINT ROUGHNESS	JOINT FILLING	FILL THICKNESS (mm)	FRAC (JOINT) FREQ	DEPTH Scale	GROUND LEVEL :	DIAM : NX	dot.PLOT 2000 J&W Inc
											MACHINE TYPE : Seco	DATE : 01/03/1993	
											LOGGED BY : R Ligthelm	DATE : 09/03/1993	
											TYPE SET BY : RL	DATE : 31/03/93 08:34	
											ORIENTATION : Vertikaal	FILE : RR3RR3.BOORGATE	

HOLE No: **R3**
Lifantfontein Rioolwerke

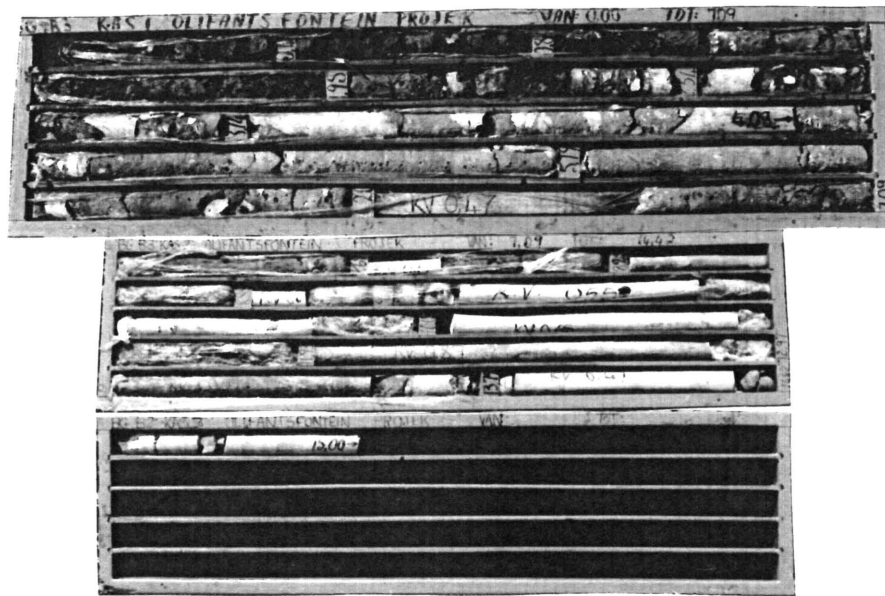
BYLAE B
BOORGATFOTO'S



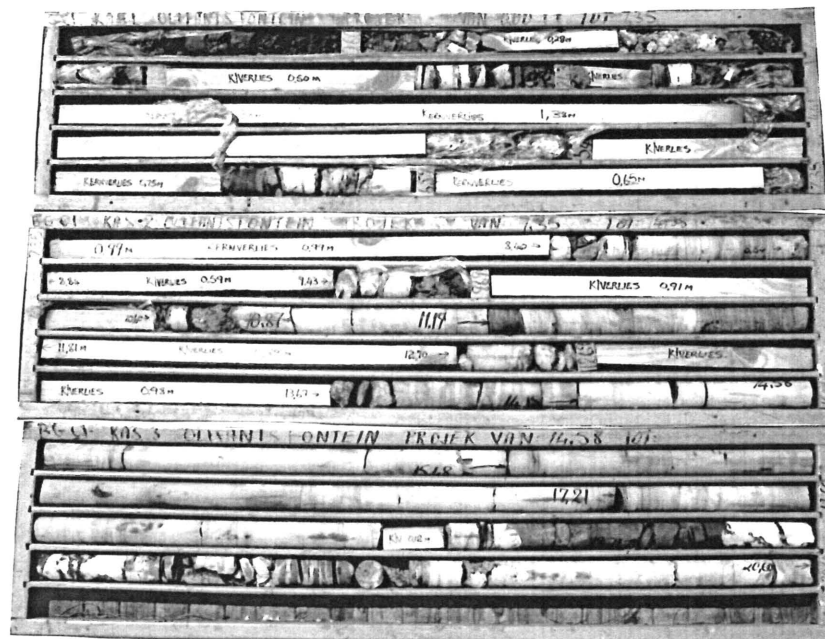
**BOORGAT B1
BASSON - BIKIEPLAAS**



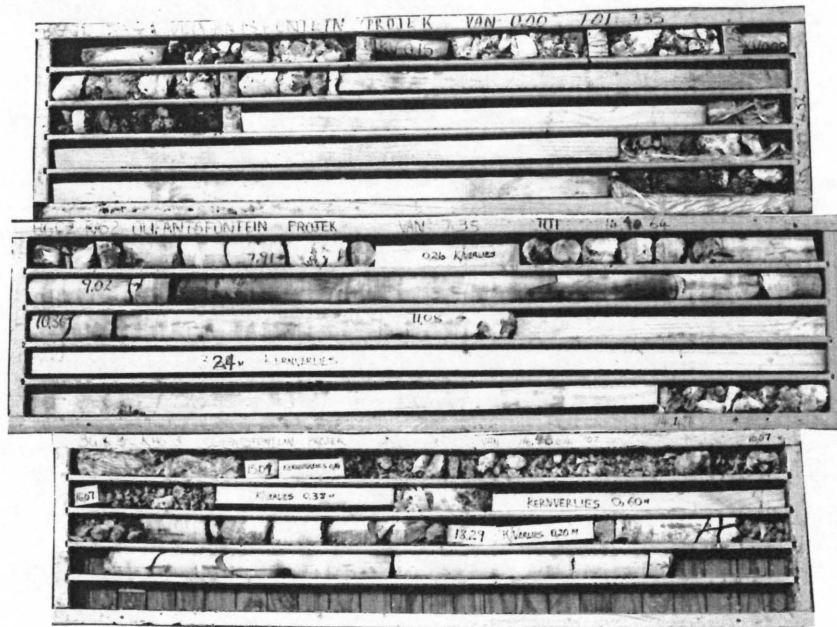
**BOORGAT B2
BASSON - BIKIEPLAAS**



**BOORGAT B3
BASSON - BIKIEPLAAS**



**BOORGAT C1
CULLINAN - AVENUE FARM**



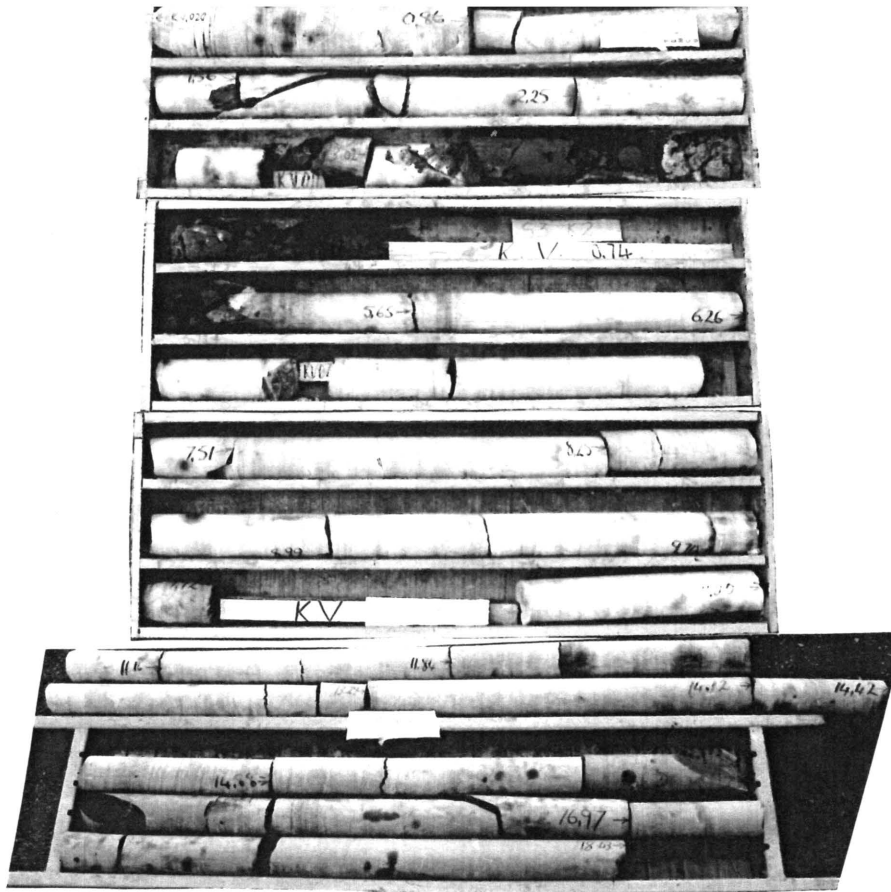
**BOORGAT C2
CULLINAN - AVENUE FARM**



**BOORGAT S1
SAMANCOR - OU AFVALSTORTINGSTERREIN**



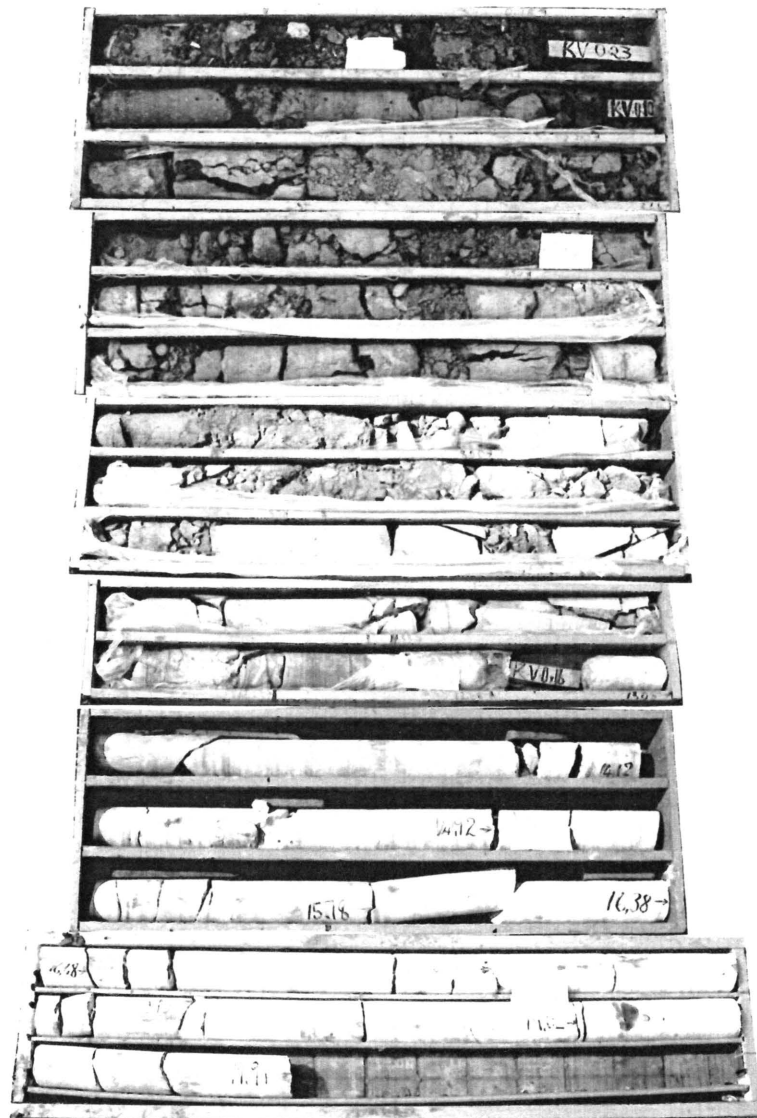
**BOORGAT S2
SAMANCOR - OU AFVALSTORTINGSTERREIN**



**BOORGAT S3
SAMANCOR - OU AFVALSORTINGSTERREIN**



**BOORGAT R1
OLIFANTSFONTEIN RIOOLSUIWERINGSWERKE**



**BOORGAT R2
OLIFANTSFONTEIN RIOOLSUIWERINGSWERKE**

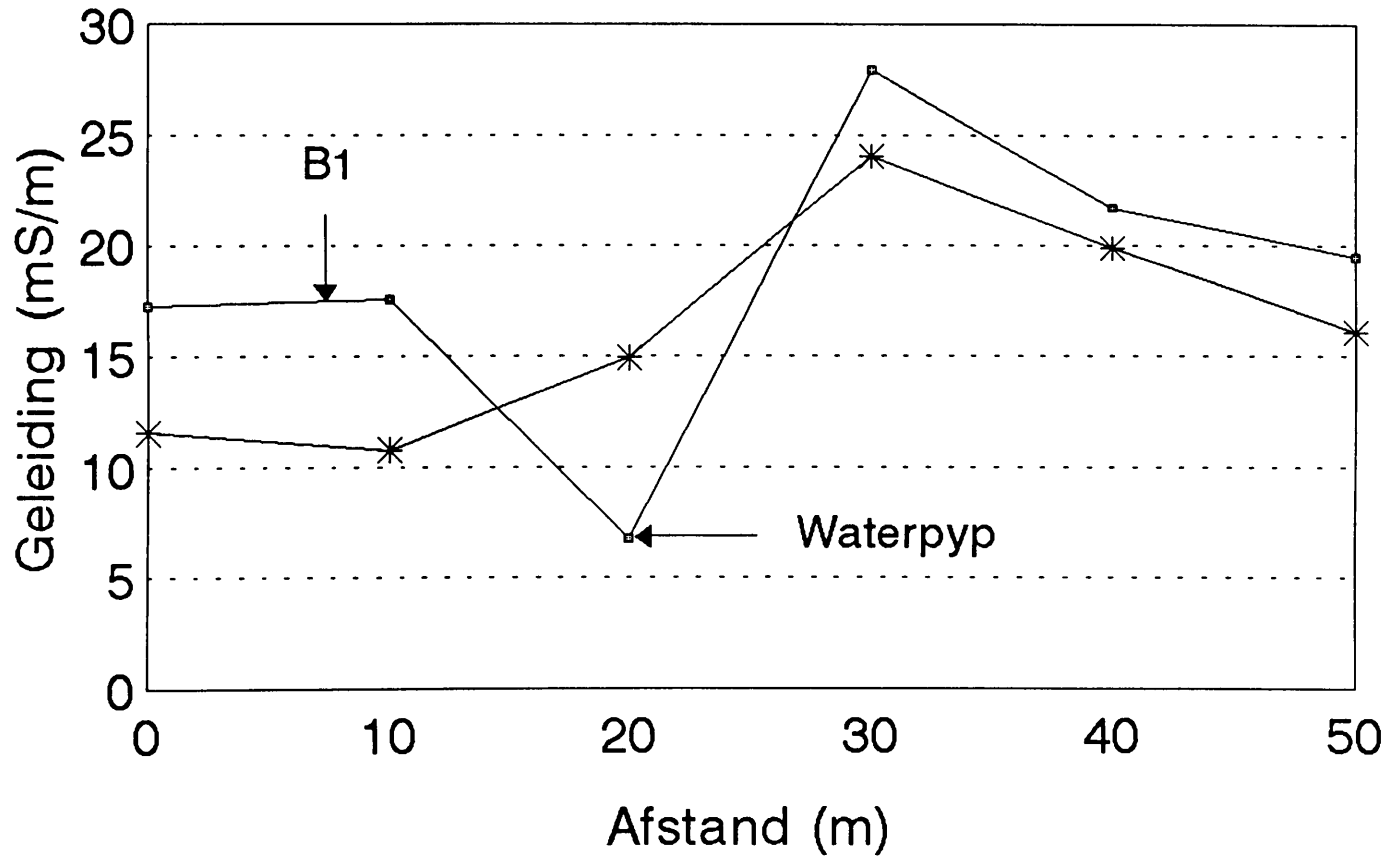


**BOORGAT R3
OLIFANTSFONTEIN RIOOLSUIWERINGSWERKE**

BYLAE C
GRAFIEKE VAN DIE ELEKTRO-MAGNETIESE RESULTATE

Basson

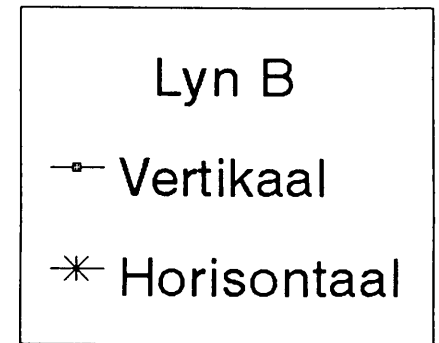
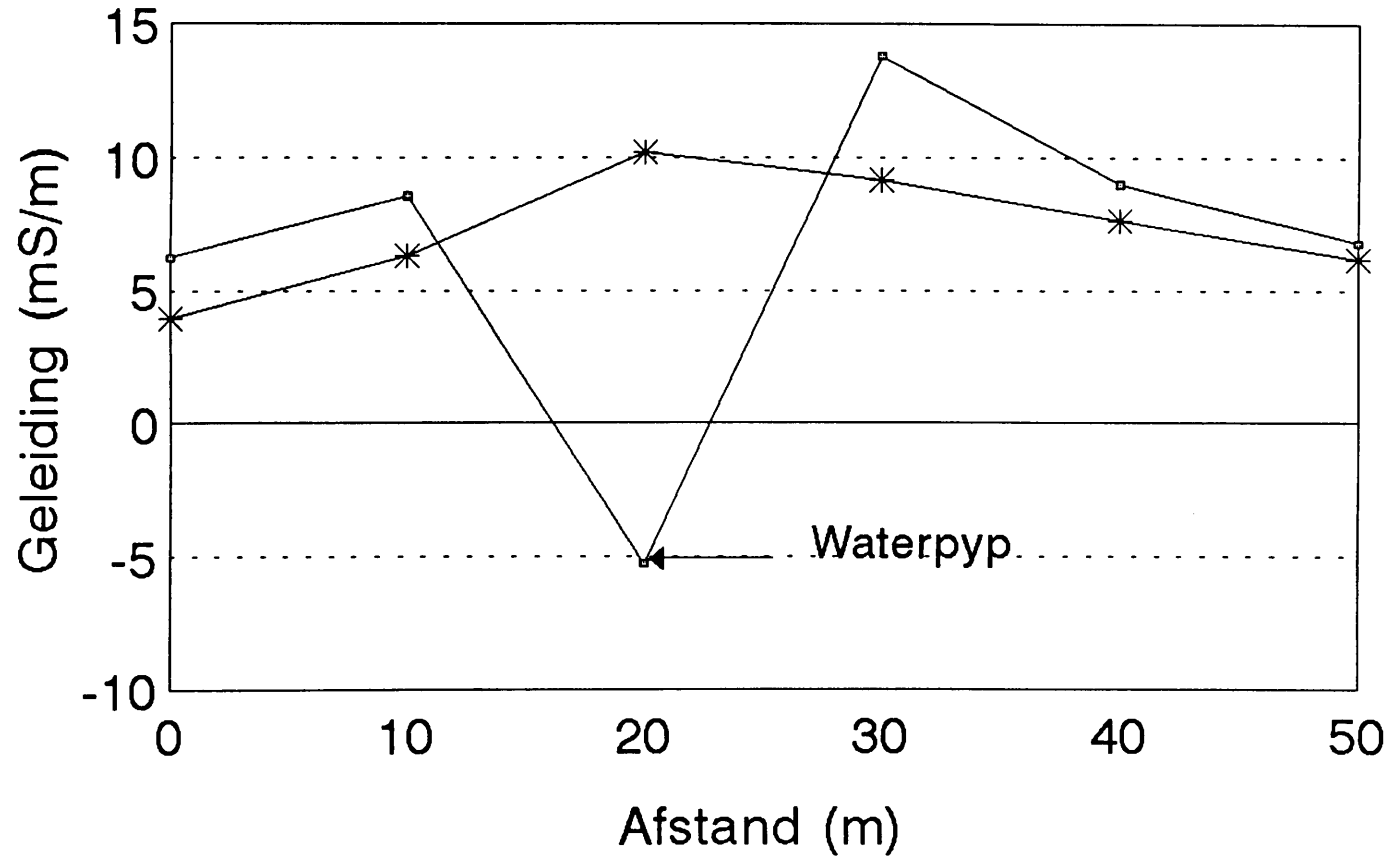
Lyn A: Geleiding (mS/m)



Rigting : Oos
Datum : 93-02-22
Tyd : 8:30

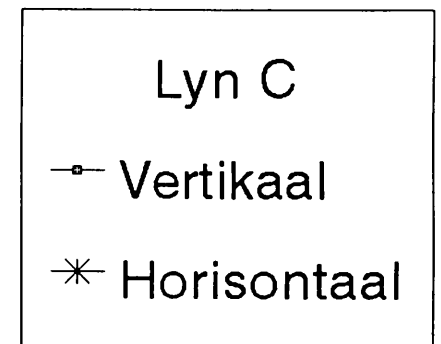
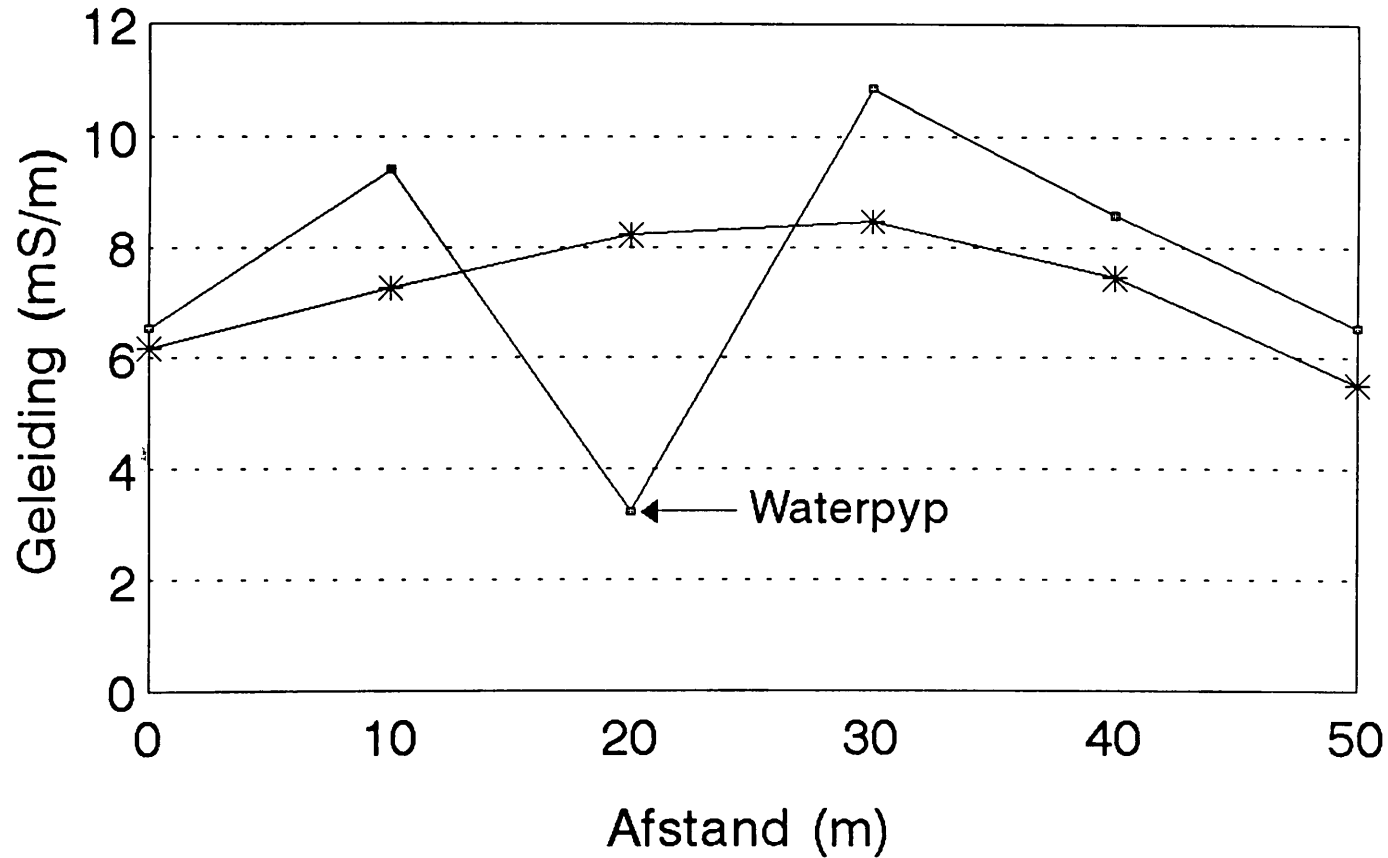
Basson

Lyn B: Geleiding (mS/m)



Basson

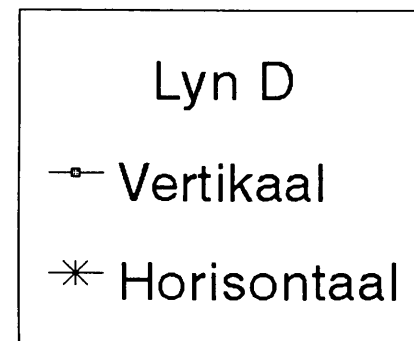
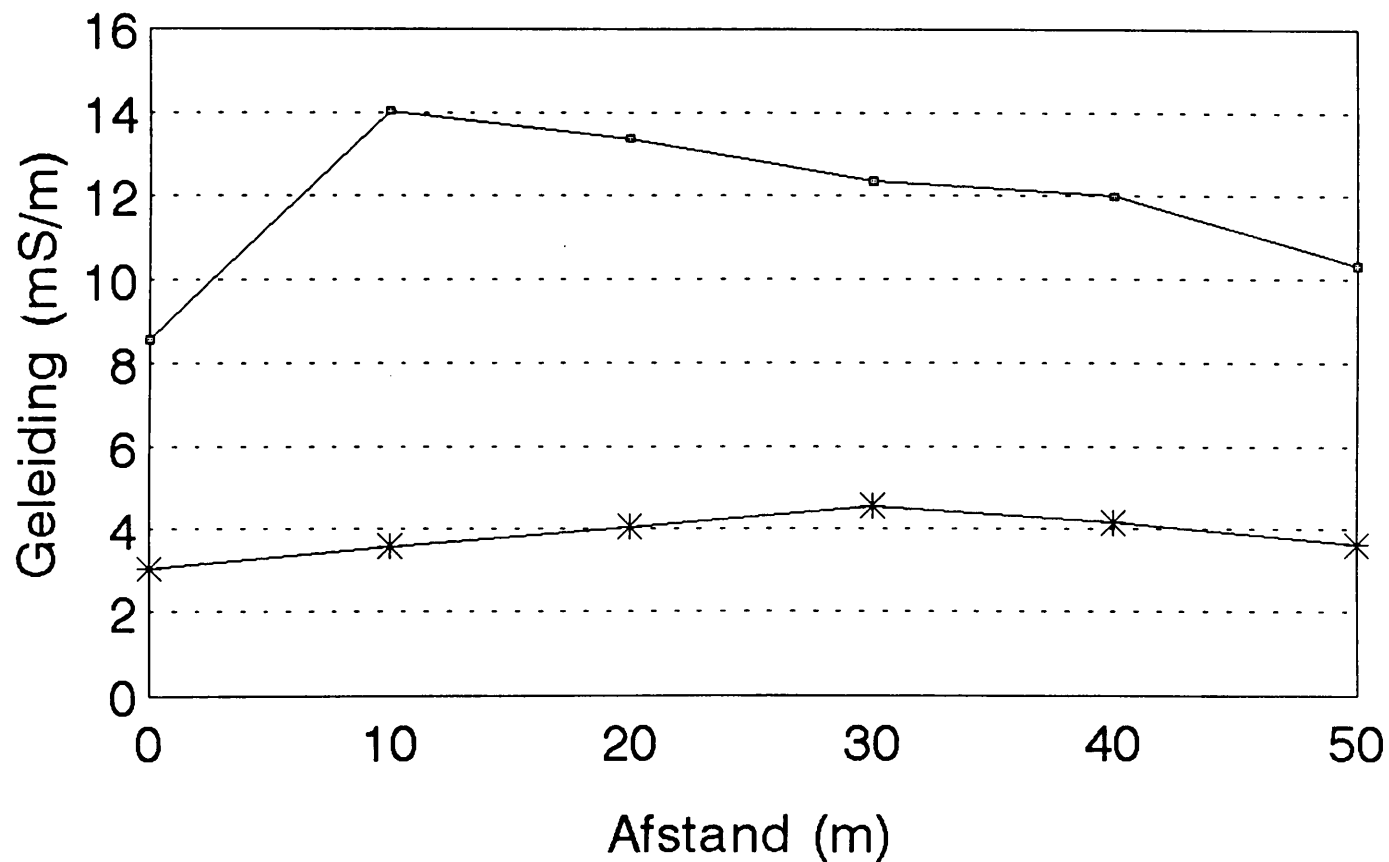
Lyn C: Geleiding (mS/m)



Rigting : Oos
Datum : 93-02-22
Tyd : 8:37

Basson

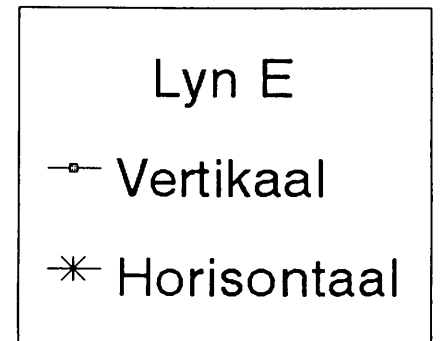
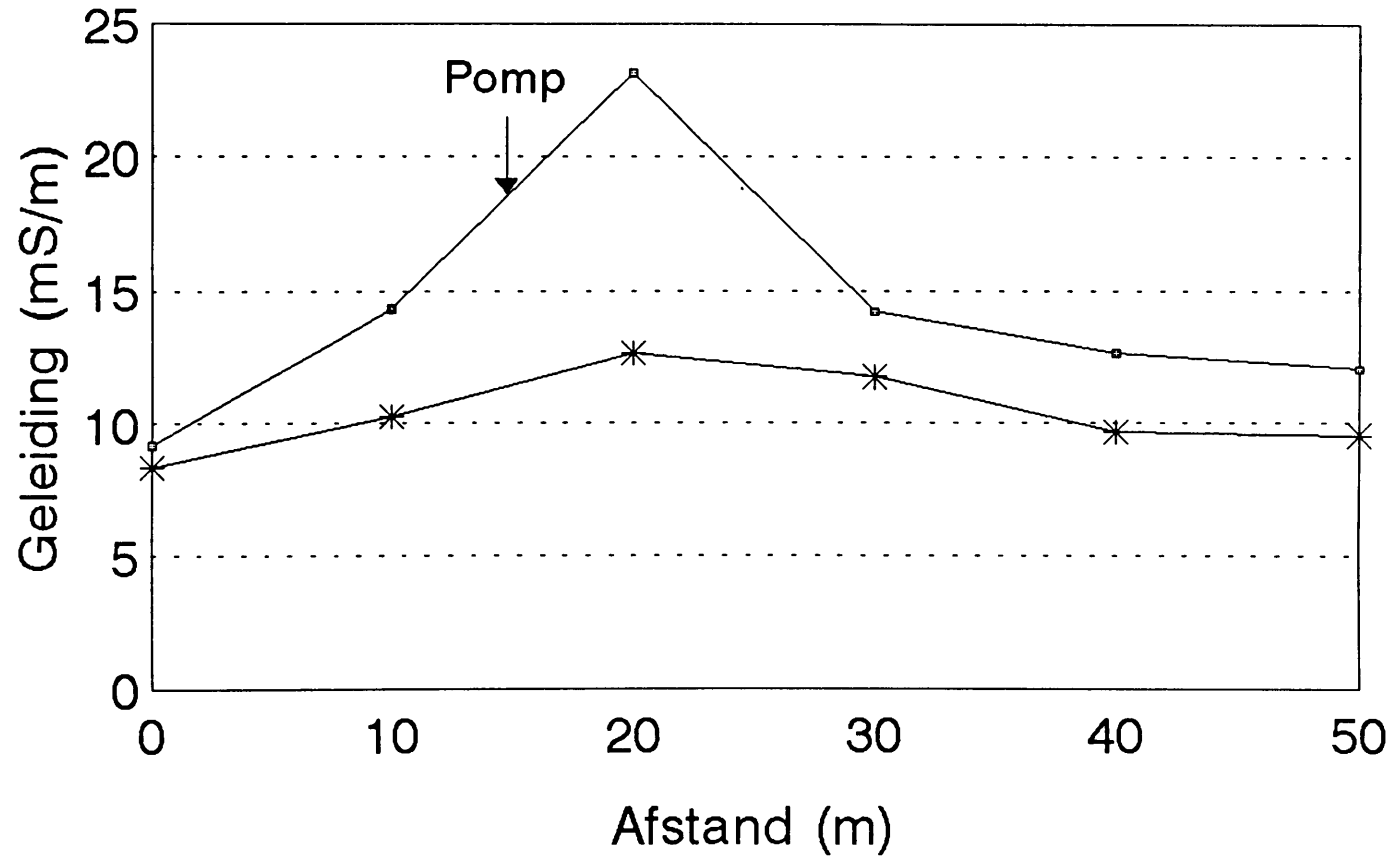
Lyn D: Geleiding (mS/m)



Rigting : Wes
Datum : 93-02-22
Tyd : 8:40

Basson

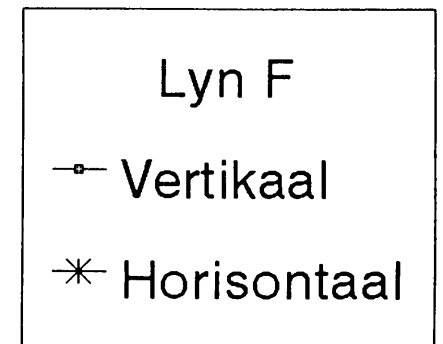
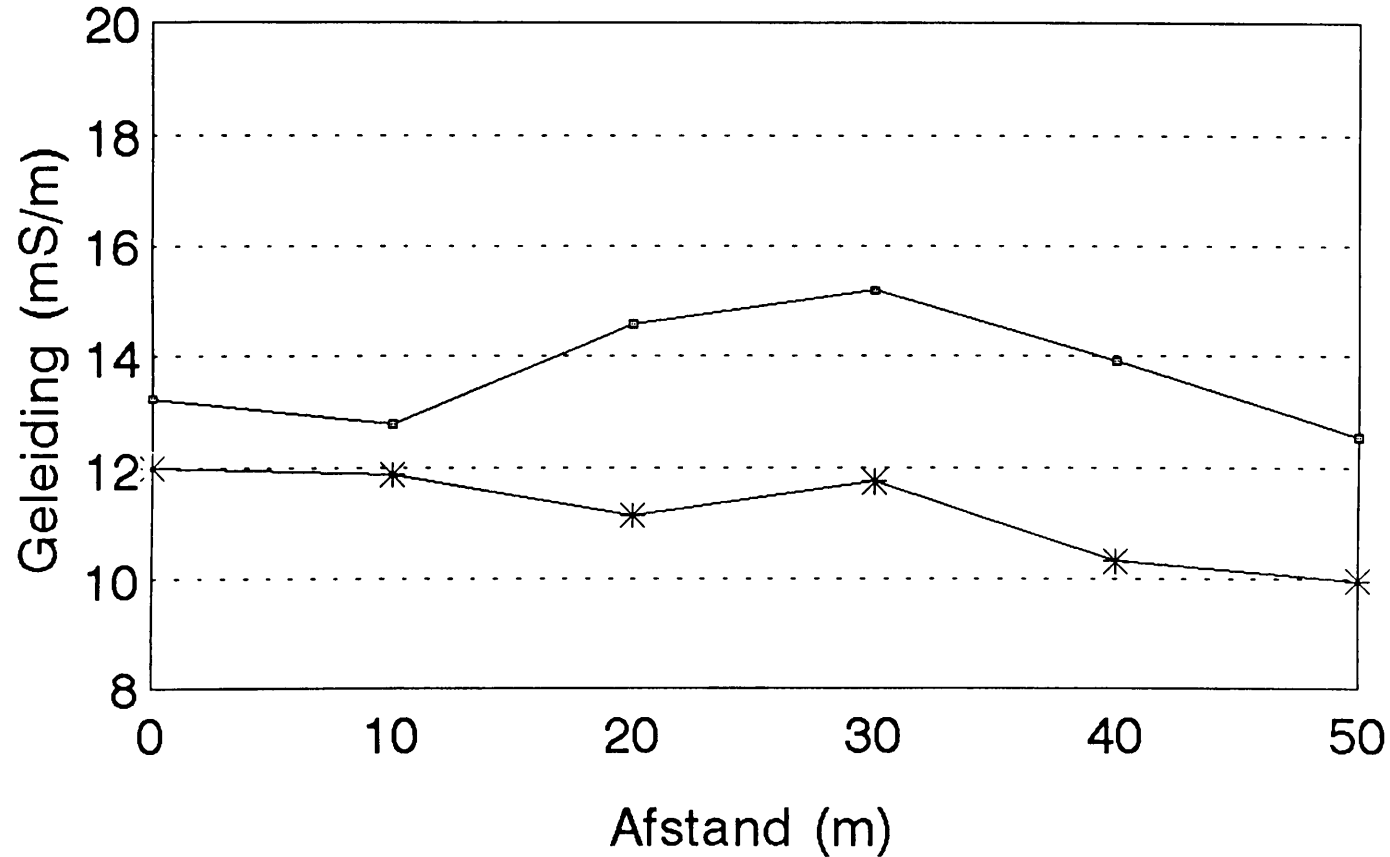
Lyn E: Geleiding (mS/m)



Rigting : Oos
Datum : 93-02-22
Tyd : 8:43

Basson

Lyn F: Geleiding (mS/m)



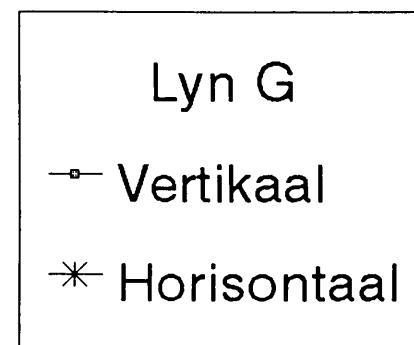
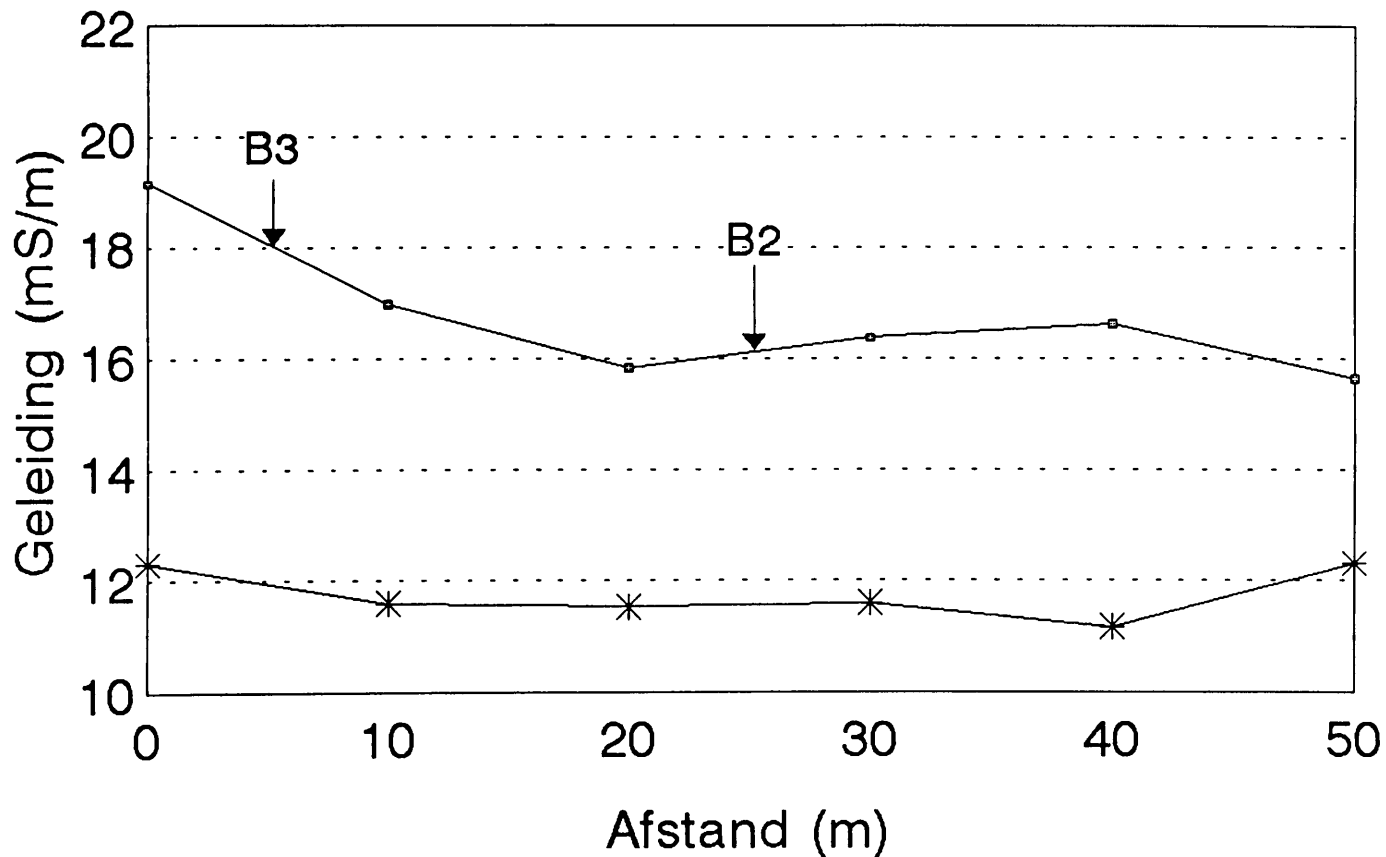
Rigting : Wes

Datum : 93-02-22

Tyd : 8:46

Basson

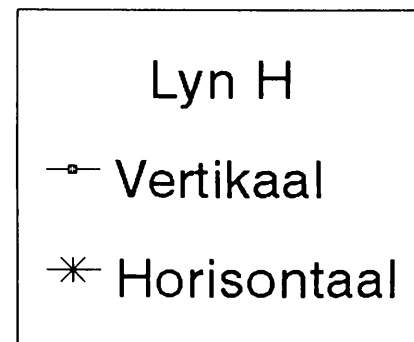
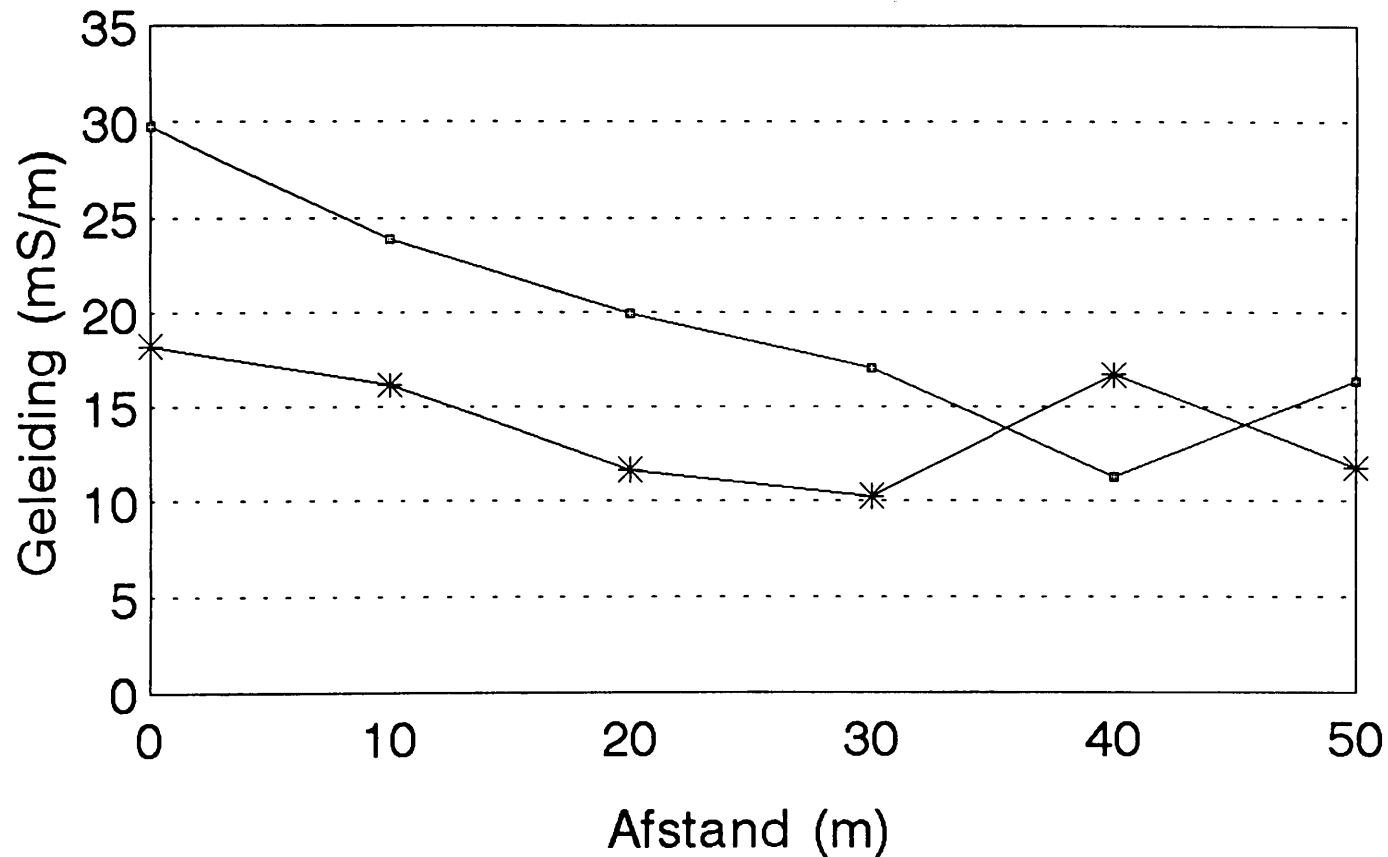
Lyn G: Geleiding (mS/m)



Rigting : Oos
Datum : 93-02-22
Tyd : 8:55

Basson

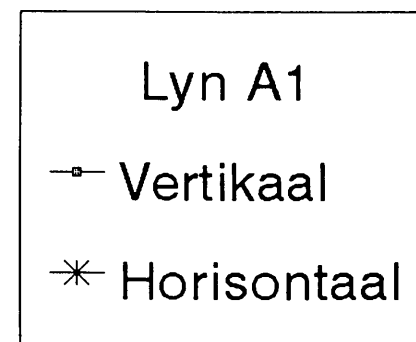
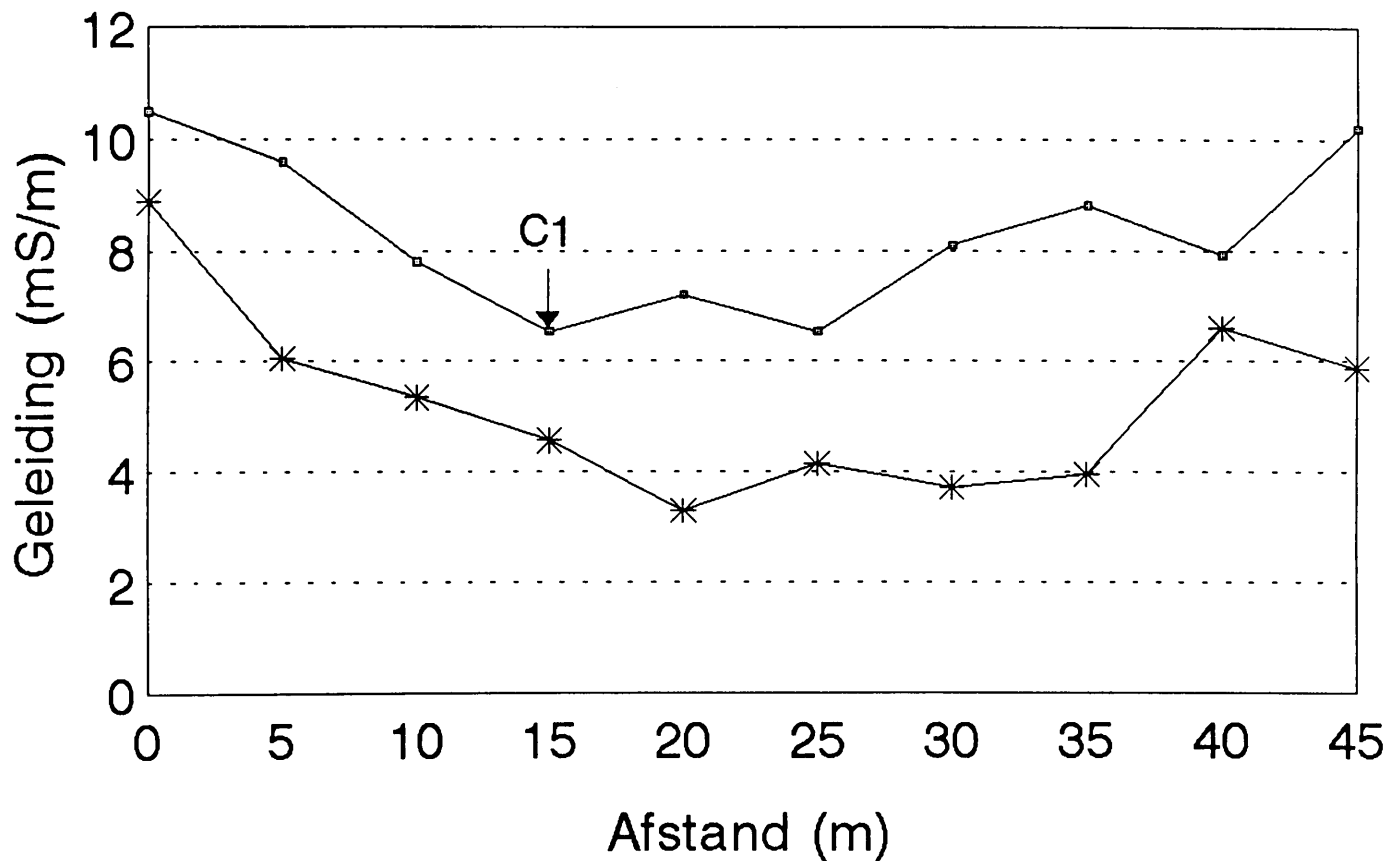
Lyn H: Geleiding (mS/m)



Rigting : Wes
Datum : 93-02-22
Tyd : 9:00

Cullinan

Lyn A1: Geleiding (mS/m)



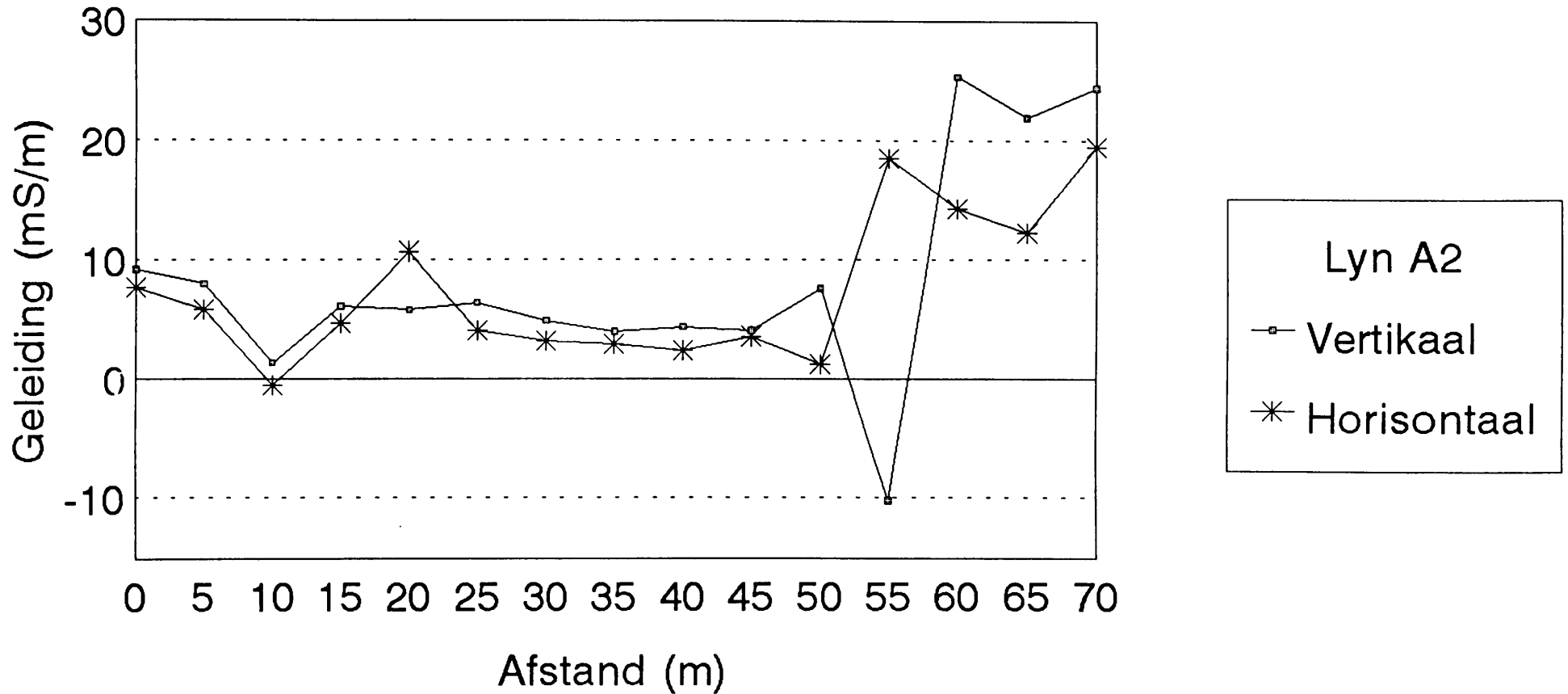
Rigting : Oos

Datum : 93-02-22

Tyd : 10:30

Cullinan

Lyn A2: Geleiding (mS/m)



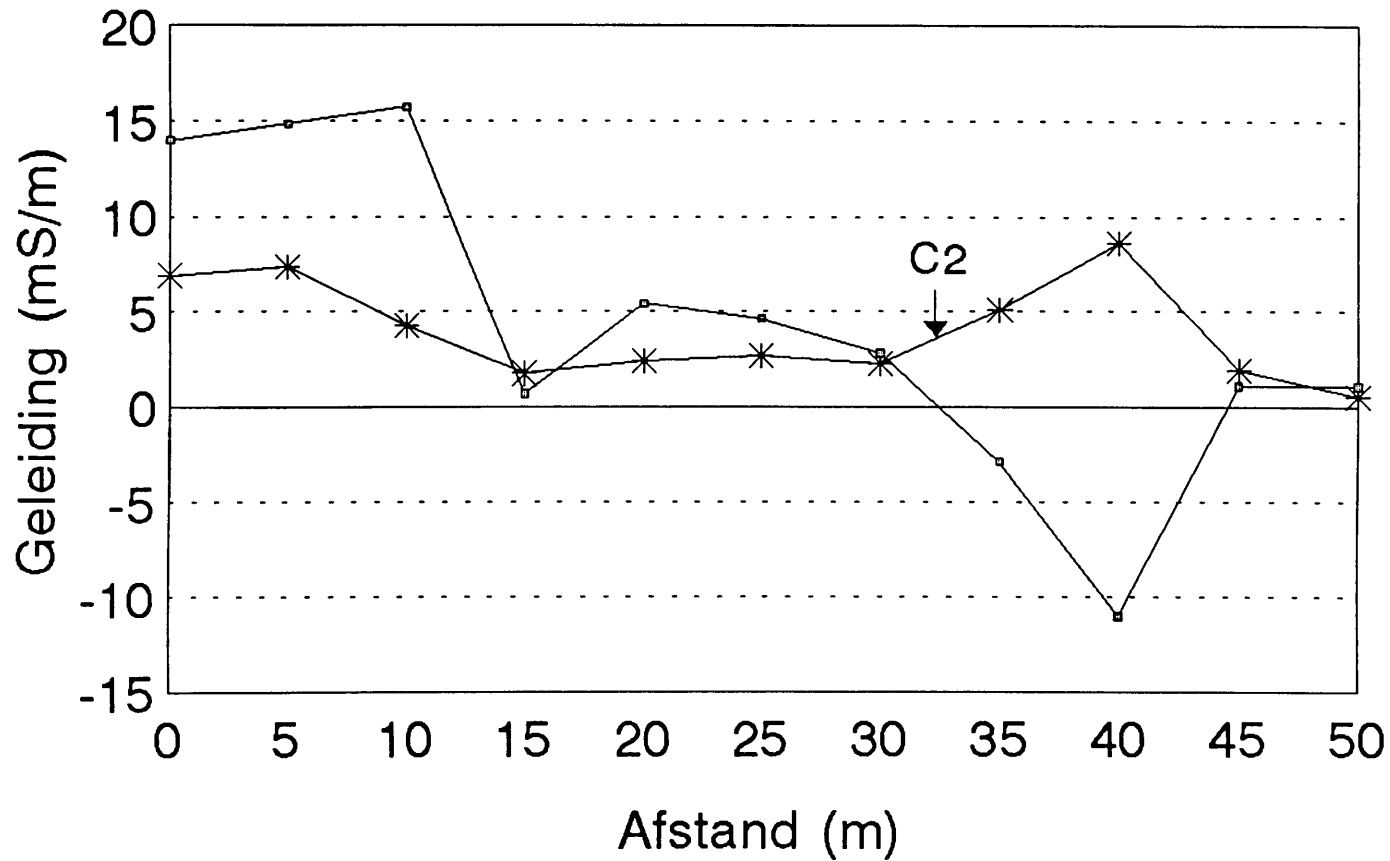
Rigting : Suid

Datum : 93-02-22

Tyd : 10:41

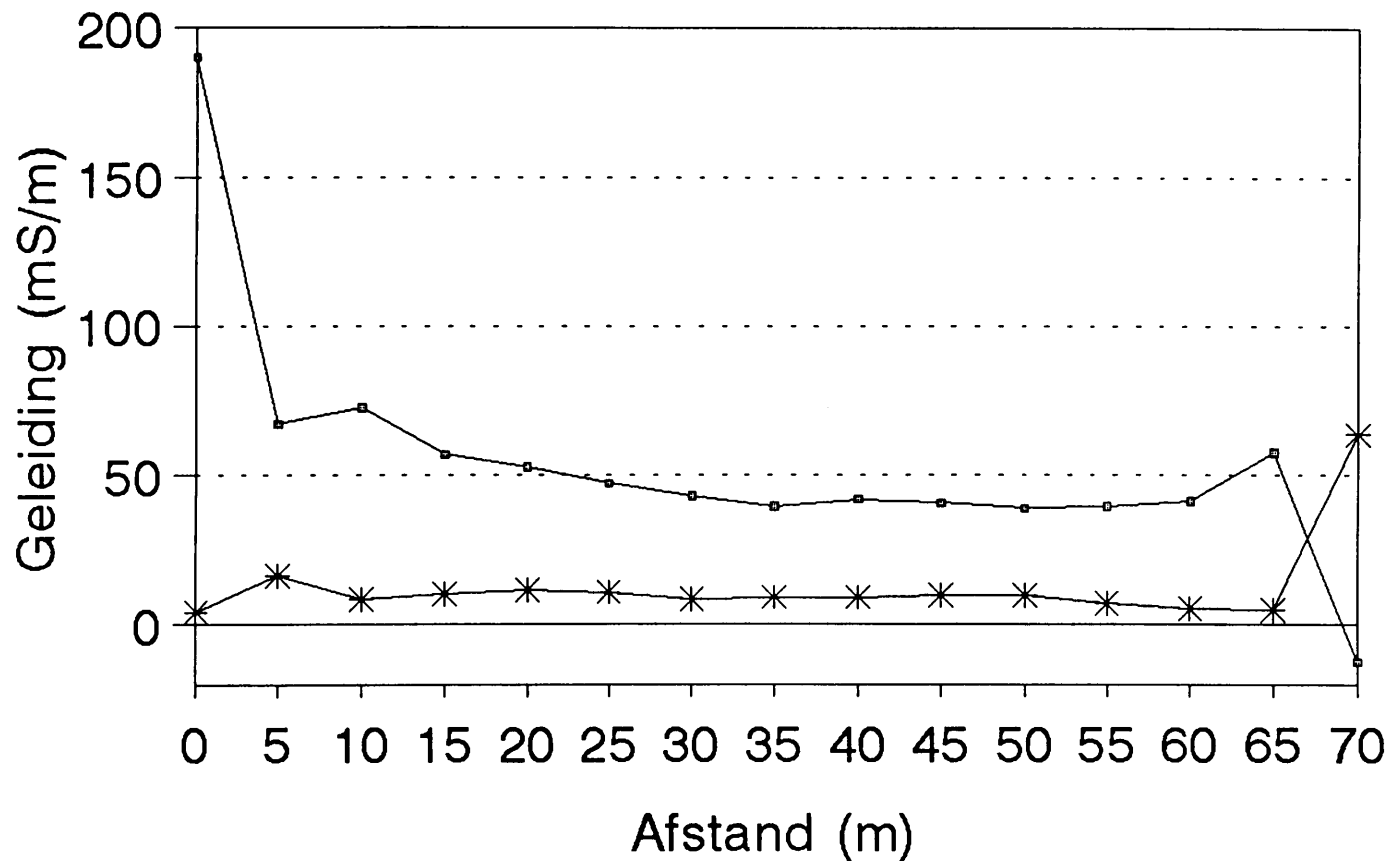
Cullinan

Lyn A3: Geleiding (mS/m)



Rioolwerke

Lyn A: Geleiding (mS/m)



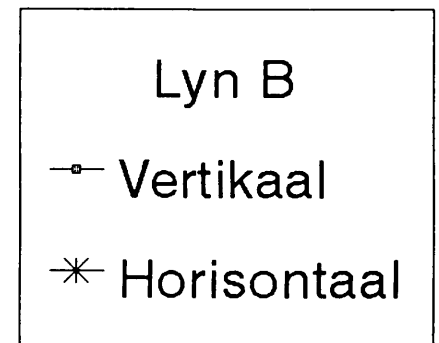
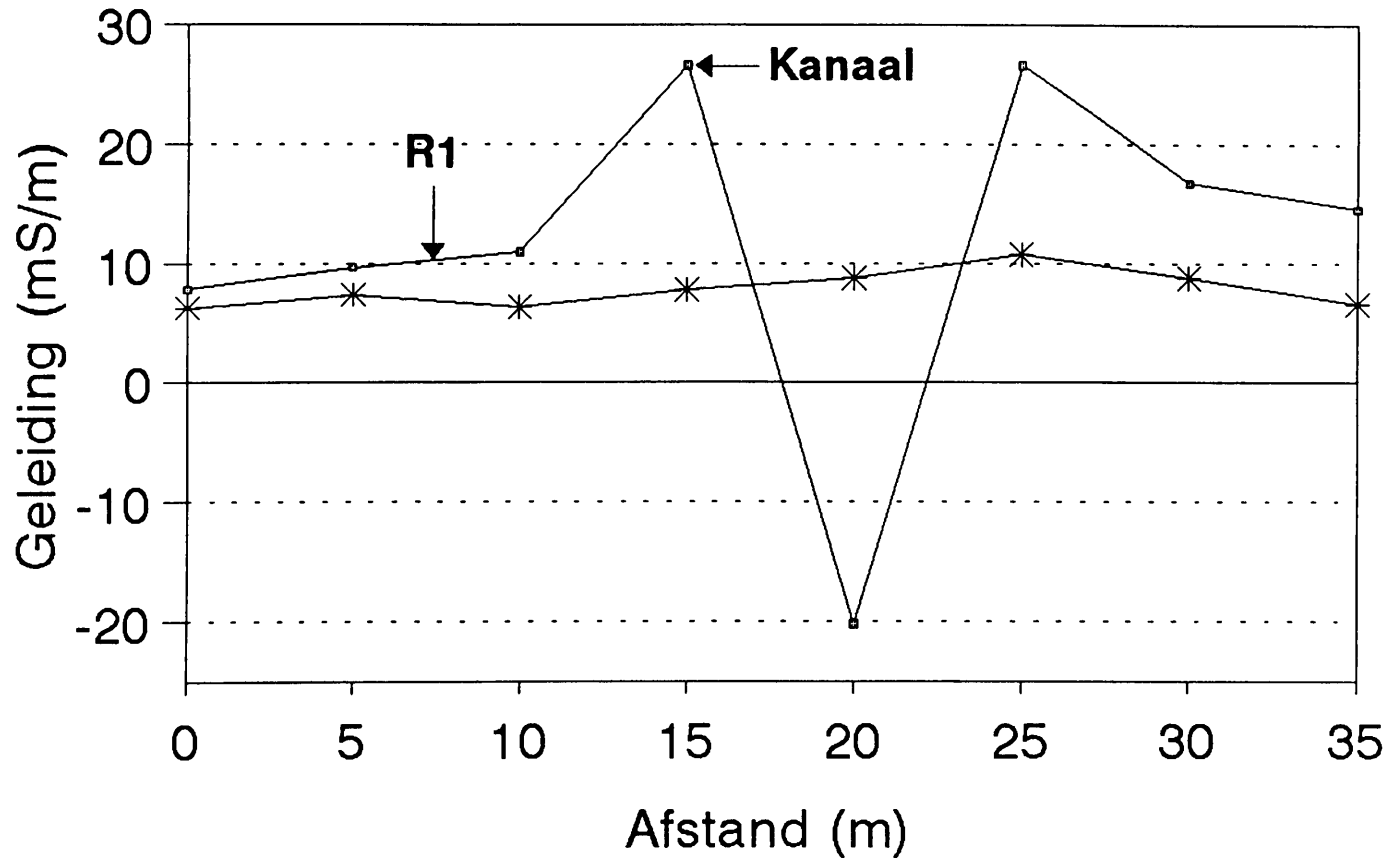
Rigting: Noord

Datum: 93-02-22

Tyd: 11:30

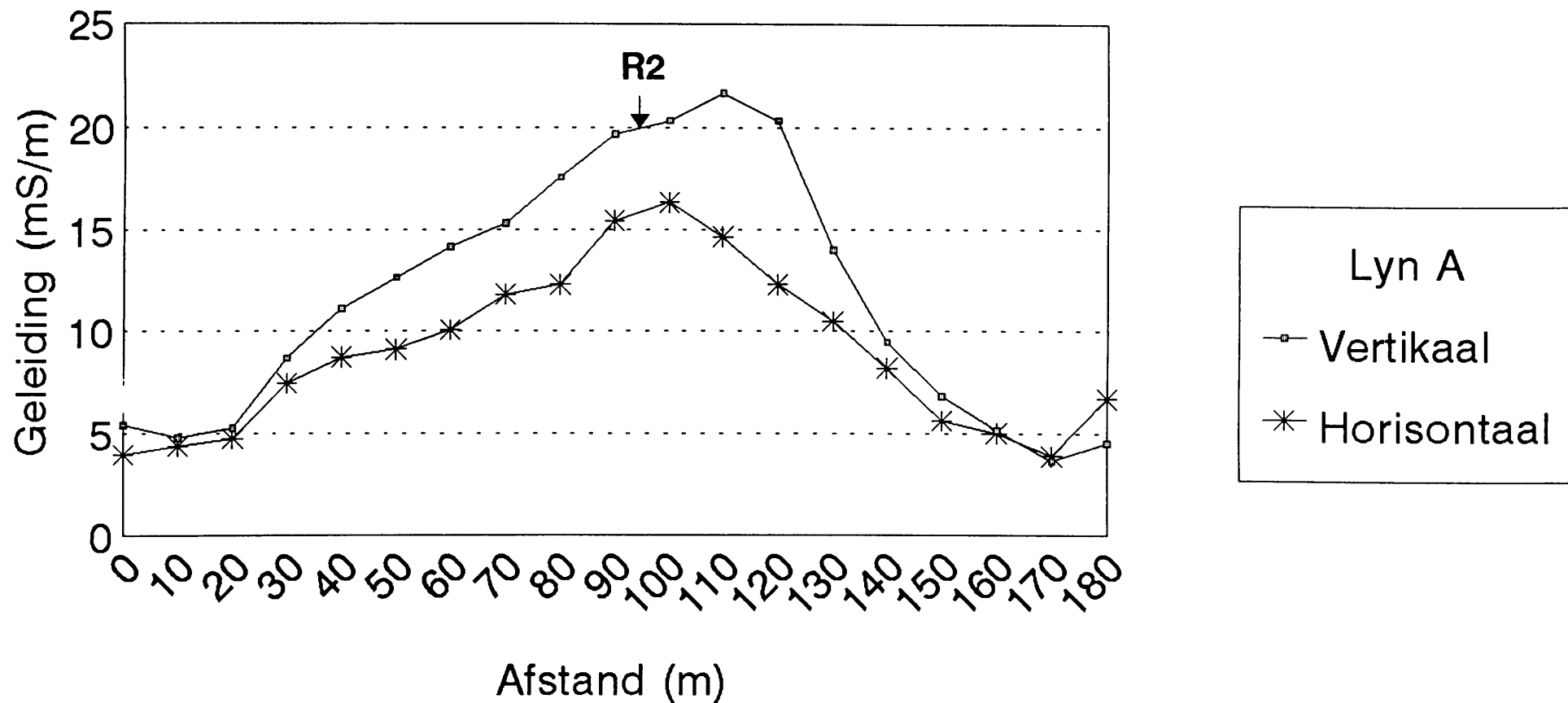
Rioolwerke

Lyn B: Geleiding (mS/m)



Oos van Rioolwerke

Lyn A: Geleiding (mS/m)



Rigting : Oos

Datum : 93-02-22

Tyd : 12:30

BYLAE D
RESULTATE VAN DIE WATERONTLEDINGS

**WATERLAB RESEARCH (EDMS) BPK
SERTIFIKAAT VAN ANALISES**

ERSLAG NR : 1244

ESULTATE VAN ANALISES : Prof. van Schalkwyk

DATUM : 1992-07-07

MONSTER	AANBEVOLE GRENS VOLGENS SABS-SPEC 241-1984	RR RIVIER	WP BOORGAT	BP ₂ BOORGAT	BP ₃ BOORGAT	BP ₁ BOORGAT
RESULTATE in mg/l						
TOTALE OPGELOSTE STOWWE 105°C		404	304	332	678	480
SULFAAT as SO ₄	200	89	30	18	111	82
NITRIET as N		0,4	NUL	NUL	0,01	NUL
NITRAAT as N	6	9,5	4,2	1,8	2,7	1,7
FLUORIED as F	1,0	1,3	NUL	NUL	NUL	0,10
KOLIVORMIGE ORGANISMES /100 ml	MAKS.5	15500	NUL	NUL	NUL	6
ES. COLI I /100 ml	NUL	15000	NUL	NUL	NUL	NUL

**WATERLAB RESEARCH (EDMS) BPK
SERTIFIKAAT VAN ANALISES**

VERSLAG NR : 1244

RESULTATE VAN ANALISES : Prof. van Schalkwyk

DATUM : 1992-07-28

MONSTER	AANBEVOLE GRENS VOLGENS SABS-SPES 241-1984	BP,	BR	CP	C.R
RESULTATE in mg/l					
TOTALE OPGELOSTE STOWWE 105°C	-	-	-	404	520
SULFAAT as SO ₄	200	-	-	31	52
NITRAAT as N	6	-	-	7,3	19
KOLIVORMIGE ORGANISMES per 100 ml	MAKS.5	NUL	2600	9	4000
E.COLI I per 100 ml	NUL	NUL	1000	NUL	1500

C:\FABELLE\PROPSCH2

**WATERLAB RESEARCH (EDMS) BPK
SERTIFIKAAT VAN ANALISES**

VERSLAG NR : 1244

RESULTATE VAN ANALISES : Prof. van Schalkwyk DATUM : 1992-08-04
 Universiteit van Pretoria - Dept. Geologie

MONSTER	AANBEVOLE GRENS VOLGENS SABS-SPEC 241-1984	IP	IR	VR	LP
R ^e ULTATE in mg/l					
TOTALE OPGELOSTE STOWWE 105°C	-	-	396	406	638
SULFAAT as SO ₄	200	-	55	53	50
NITRAAT as N	6	-	11,2	15,0	5,0
KOLIVORMIGE ORGANISMES /100 ml	MAKS.5	NUL	28600	10000	NUL
E.COLI I /100 ml	NUL	NUL	520	470	NUL

C:\TABLEL\PRVCH3

WATERLAB RESEARCH (EDMS) BPK
SERTIFIKAAT VAN ANALISES

VERSLAG NR : 1244

RESULTATE VAN ANALISES : Prof. van Schalkwyk **DATUM** : 1992-10-21
 Universiteit van Pretoria - Dept. Geologie

MONSTER RESULTATE in mg/l	AANBEVOLE GRENS VOLGENS SABS-SPEC 241-1984	PR	PI	BR
TOTALE OPGELOSTE STOWWE 105°C	-	365	168	-
SULFAAT as SO ₄	200	80	2.0	-
NITRAAT as N	6	1.3	1.1	-
E. COLI 1 /100 ml	NUL	350000 (na 20000X verdun)	NUL	120000 (na 10000X verdun)

01/PABELE/PAVSCB

**WATERLAB RESEARCH (EDMS) BPK
SERTIFIKAAT VAN ANALISES**

VERSLAG NR : 1244

RESULTATE VAN ANALISES : Prof. van Schalkwyk **DATUM** : 1992-11-04
 Universiteit van Pretoria - Dept. Geologie

MONSTER RESULTATE in mg/l	AANBEVOLE GRENS VOLGENS SABS-SPEC 241-1984	SP	PR
TOTALE OPGELOSTE STOWWE 105°C	-	900	-
SULFAAT as SO ₄	200	30	-
NITRAAT as N	6	19	-
E.COLI I /100 ml	NUL	NUL	890000

C:\TABLEL\PRV8CH

WATERLAB RESEARCH (EDMS) BPK
SERTIFIKAAT VAN ANALISES

RS'LAG NR : 1244

RESULTATE VAN ANALISES : Prof. van Schalkwyk DATUM : 1993-03-11
 Universiteit van Pretoria - Dept. Geologie

MONSTER	AANBEVOLE GRENS VOLGENS SABS-SPEC 241-1984	RP1	RP2
RESULTATE in mg/l			
TOTALE OPGELOSTE STOWWE 105°C	-	533	524
SULFAAT as SO ₄	200	18	45
AMMONIAK as N	6	7	7.5
CHLORIDE /100 ml	NUL	8	10

C:\TABELLE\PRV8C03