

**DIE INVLOED VAN VARIËRENDE VRYWATERVLAKKE IN GROND VAN
DIE NOORDWESTELIKE O.V.S. OP VERBOUING VAN GEWASSE**

(VERAL MIELIES)

DEUR

JACOBUS ADRIAAN GERHARDUS HENNING

(B.Sc , B.Sc - BODEMKUNDE , M.Sc)

**PROEFSKRIF VOORGELê OM TE VOLDOEN AAN DIE VEREISTES VIR DIE GRAAD
Ph.D IN DIE FAKULTEIT NATUURWETENSKAPPE, DEPARTEMENT BODEMKUNDE,
AAN DIE POTCHEFSTROOMSE UNIVERSITEIT VIR CHRISTELIKE HOËR
ONDERWYS**

PROMOTOR: DR. D.J. NEL

MEDEPROMOTOR: PROF. H.J. VON M. HARMSE

POTCHEFSTROOM

1991

ABSTRACT

Results of research about the origin of water tables in yellow brown apedal sands which occur extensively in the northwestern O.F.S. and its influence on the production of maize are discussed.

Morphologic characteristics, typically associated with soils are grey matrix colours, soft plinthite, yellow brown apedal B-horizons and E-horizons. Observations in piezometers, installed at various localities in the research area, suggest that the free water accumulates on paleo-surfaces. The paleo-surfaces, covered by solums derived from aeolian sand, consists of gleyed clayey paleosols or the weathering products of underlying rocks. The free water is phreatic and its presence over long periods can be inferred from the morphology of the soil.

High concentrations of cations and anions in the free water reach the root zones and influence the nutrition of plants.

The height of capillary rise to the rootzone for different flood densities was calculated to evaluate the influence of fluctuating water tables on the supply of water to plants. The maximum height of capillary rise in clay, calcrete, hard plinthite and sand was measured. A technique was developed for this purpose.

Various implements used by farmers in the area for tillage of sandy soils, were evaluated. A threetine ripper gave the best results.

Experiments to evaluate the influence of water content and various implements on the compaction of soils were used to set guidelines for tillage-practices in the area investigated.

Collapse settlement took place with saturation, causing consolidation which eliminate the positive effect of tillage. In oedometer tests, the internal resistance against compaction exceeded matrix potential at void ratio's of 0,71 and less. The pore diameter, where the internal resistance against compression equals matrix potential, was calculated experimentally as 0,0327 mm.

Extremely high water tables are unfavourable for the cultivation of maize. Water tables that reach the roots, through capillary action, but fluctuates deeper than the depth of tillage, will supply water to plants during dry periods, without resulting in harmful anaerobic conditions.

Soils with water tables fluctuating within this reach during the growth season, could be advantageous for the cultivation of maize. Soil in which water tables are too deep for capillary water to reach the root zone, may regarded be as high risk soils.

INHOUD

HOOFSTUK	BLADSY
1. INLEIDING	1
2. VERSPREIDING EN FLUKTUERING VAN VRYWATERVLAKKE	4
2.1 OORSIG	4
2.2 VERSPREIDING EN SEISOENSFLUKTUASIES VAN VRYWATER- VLAKKE	5
2.2.1 Inleiding	5
2.2.2 Materiaal en metodes	6
2.2.3 Resultate en bespreking	8
2.3 VERWANTSKAP TUSSEN DIE DIEPTE VAN WATERVLAKKE EN GRONDKENMERKE	13
2.3.1 Inleiding	13
2.3.2 Materiaal en metodes	13
2.3.3 Resultate en bespreking	16
2.4 OPSOMMING	24
3. SAMESTELLING VAN VRYWATER	26
3.1 OORSIG	26
3.2 MATERIAAL EN METODES	27
3.3 RESULTATE EN BESPREKING	28
3.4 OPSOMMING	35

4. KAPILLÊRE STYGHOOGTES	37
4.1 OORSIG	37
4.2 MATERIAAL EN METODEDES	39
4.3 RESULTATE EN BESPREKING	44
4.4 OPSOMMING	52
5. GRONDBEWERKING EN VERDIGTING	54
5.1 OORSIG	54
5.2 VERWANTSKAP TUSSEN WATERINHOUD EN VERDIGTING	55
5.2.1 Inleiding	55
5.3.2 Materiaal en metodes	56
5.3.3 Resultate en bespreking	57
5.3 BEWERKING MET VERSKILLENDE Tipes SKEURPLOë	60
5.3.1 Inleiding	60
5.3.2 Materiaal en metodes	61
5.3.3 Resultate en bespreking	62
5.4 DIE INVLOED VAN BEWERKINGSDIEPTE OP WORTEL- ONTWIKKELING EN OPBRENGS	66
5.4.1 Inleiding	66
5.4.2 Materiaal en metodes	67
5.4.3 Resultate en bespreking	68
5.5 DIE INVLOED VAN VERSADIGING EN UITDROGING OP VERDIGTING	76

5.5.1	Inleiding	76
5.5.2	Materiaal en metodes	78
5.5.3	Resultate en bespreking	79
5.5.3.1	Insitu-proef	79
5.5.3.2	Oedometer-toets	81
5.6	OPSOMMING	85
6.	DIE INVLOED VAN HOË VRYWATERVLAKKE OP GROEI EN PRODUKSIE VAN MIELIES (<u>ZEA MAYS</u>)	89
6.1	OORSIG	89
6.2	MATERIAAL EN METODEDES	90
6.3	RESULTATE EN BESPREKING	91
6.4	OPSOMMING	96
7.	ALGEMENE BESPREKING	98
	LYS VAN VERKLARENDE TERME	105
	TABELLE	107
	FIGURE	109
	VERWYSINGS	113
	DANKBETUIGINGS	125
Bylae 1.	Enkele morfologiese kenmerke van grond wat in die ondersoekgebied geleë is en wat in hierdie ondersoek ter sprake kom	i

Bylae 2.	Reënval (mm) gedurende die ondersoekperiode by 'n aantal waarnemingspunte in die ondersoekgebied	x
Bylae 3.	Morfologiese beskrywing van grond op die terrein waar die invloed van oppervlak- en paleotopografie op die voorkoms van vrywatervlakke ondersoek is	xi
Bylae 4.	Die invloed van die diepte van bewerking op mielie-opbrengste	xiv
Bylae 5.	Die invloed van die diepte van bewerking op wortelontwikkeling	xiv

HOOFSTUK 1

INLEIDING

In vroeëre ondersoeke na die invloed van grondbewerking op fisiese eienskappe van apedale sandgronde en opbrengsresultate van mielies in die noordwestelike O.V.S., het dit na vore gekom dat bestendige opbrengste op hierdie grond selfs gedurende droë periodes verkry kan word (Koch, 1974; Mallett, 1982; Mallett, Koch, Visser & Botha, 1985). Hierdie outeurs skryf die verskynsel toe aan doeltreffende benutting van ondergrondse waterreserwes deur mielieplante met goed ontwikkelde wortelstelsels.

Volgens Harmse (1969) en Eloff (1984) het die bogrond van die noordwestelike O.V.S. hoofsaaklik uit eoliese moedermateriaal ontstaan wat ten tye van verskillende droë periodes gedurende die Pleistoseene periode afgesit is. Volgens Harmse (1963, 1969) kom ondergrondse waterreserwes periodiek of permanent in die noordwestelike O.V.S. voor waar 'n opeenvolging van grys grond van eoliese oorsprong en kleierige verweringsprodukte van onderliggende gesteentes teenwoordig is. As gevolg van die konfigurasie van die pre-sand oppervlak en die verweringsprodukte van die verskillende materiale waarop eoliese sand afgesit is, is dreineringsdikwels sodanig dat vrywater nie gereedelik na somerreëns dreineer (Harmse, 1969).

Grond met vrywater in die noordwestelike O.V.S. word volgens Harmse (1969) gekarakteriseer deur hidromorfologiese eienskappe soos die teenwoordigheid van grys matrikskleure, sagte plintiet en nie-diagnostiese G-horisonte. Harmse (1963) het die geografiese verspreiding van grys eoliese sand in die noordwestelike O.V.S. op 'n skaal van 1:150 000 voorgestel. Volgens hierdie voorstelling is daar 'n area in dië gebied met 'n oppervlakte van nagenoeg 160 000 hektaar waar vrywater periodiek, of selfs in sekere gevalle permanent, voorkom.

Ten spyte van die teenwoordigheid van vrywater binne 'n diepte van twee meter en vlakker, dit is binne die bereik van goed ontwikkelde wortelstelsels van mielies, gebeur dit tog dikwels dat produksie op hierdie grond deur periodieke droogtes beïnvloed word. Mallett *et al.* (1985) het gevind dat die teenwoordigheid van verdigte lae in apedale sand van die noordwestelike O.V.S. indringing van mieliewortels na diep waterreserwes voorkom. Hierdie outeurs het gevind dat 'n gepaardgaande verlaging in opbrengs van soveel as 2000 kg ha⁻¹ voorkom. Verlaging in opbrengs het slegs gedurende droë seisoene plaasgevind.

Verdigting is volgens Koch & Badenhorst (1977) 'n probleem wat in die geval van die meeste landbougrond in die Hoëveldstreek voorkom en slegs deur toepassing van korrekte bewerkingsmetodes voorkom kan word. Indien die totale oppervlak met gryssand in die noordwestelike O.V.S. vir mielieverbouing aangewend word en getipeer word deur die teenwoordigheid van potensiëel benutbare vrywater, kan afgelei word dat foutiewe bewerkingsstelsels gedurende 'n droë seisoen die mielie-opbrengs met nagenoeg 320 000 ton kan verlaag. 'n Ondersoek na die grond wat uit eoliese sand ontwikkel het, se vermoë om water vanaf die watervlak aan wortels te voorsien asook meer inligting oor seisoensfluktuasies van watervlakke is nodig om die geldigheid van so 'n afleiding te toets.

Diep skeurploegbewerkings word algemeen vir die sandgrond van die noordwestelike O.V.S. voorgestel (Koch, 1974; Koch & Badenhorst, 1977; Mallett, *et al.*, 1985). Volgens Henning (1984) kan foutiewe toepassing van hierdie metode van bewerking soms verdigting op bewerkingsdiepte tot gevolg hê wat nadelig is. Navorsing is dus nodig om grond waarop hierdie metode van bewerking en variasies daarvan suksesvol toegepas kan word, te karakteriseer. Volgens laasgenoemde outeur moet fluktuasies van vrywatervlakke* en die hoogte van kapillêre styging* bo die watervlak tydens so 'n navorsingsprogram aandag geniet.

Die teenwoordigheid van vrywatervlakke word tans nie as kriteria vir die ontwikkeling van grondbenuttingstelsels gebruik nie. Aangesien die teenwoordigheid van ondergrondse waterreserwes gewasproduksie beïnvloed, sal die grond van die noordwestelike O.V.S. se vermoë om as 'n bron van plantbeskikbare water op te tree, tydens hierdie ondersoek geëvalueer word. Vir die optimale benutting van vrywater in 'n stelsel van rasionele grondbenutting, sal gepoog word om sekere verskynsels wat met die teenwoordigheid van vrywatervlakke geassosieër word, bevredigend te verklaar. In Hoofstuk 2 word gerapporteer oor die gedeelte van die ondersoek wat ingestel is na die verspreiding van watervlakke asook seisoensfluktuasies in diepte van watervlakke. In Hoofstuk 3 word aandag geskenk aan die samestelling en kwaliteit van die vrywater en die implikasies daarvan. In die daaropvolgende hoofstuk word die faktore wat die oordrag van hierdie water vanaf die watervlak na die wortelsone beïnvloed, ondersoek.

*(Lys van verklarende terme)**

Die oorsake en gevolg van verdigting in grond met hoë watervlakke en die invloed van bewerking op beskikbaarstelling van ondergrondse waterreserwes word in Hoofstuk 5 bepaal. In Hoofstuk 6 word die invloed van uitermate hoë watervlakke op die groei en ontwikkeling van Zea mays eksperimenteel geëvalueer.

Die impak van hoë watervlakke op die landbou word in die samevattende hoofstuk geëvalueer en riglyne vir toekomstige navorsing word neergelê.

Die uiteindelige mikpunt van hierdie ondersoek was dus om inligting in te win aan die hand waarvan die effek van vrywatervlakke op gewasverbouing (veral mielies) verklaar en gekwantifiseer kan word, asook om riglyne vir optimisering van ondergrondse waterreserwes neer te lê.

HOOFSTUK 2

VERSPREIDING EN FLUKTUERING VAN VRYWATERVLAKKE

2.1 OORSIG

Volgens die landtipekaart van Kroonstad en Wes-Rand (Landtipe-opnamepersoneel, 1984) word die prominente gronde in die noordwestelike O.V.S., volgens die eerste uitgawe van die Suid-Afrikaanse binominale stelsel (Macvicar, Loxton, Lambrechts, Le Roux, De Villiers, Verster, Merryweather, Van Rooyen & Harmse, 1977), geklassifiseer as grond van die Avalon-, Clovelly-, Hutton- en Bainsvleivorm. Verskillende grondkenmerke, wat soms 'n weerspieëling is van hidromorfe eienskappe, dien as kriteria in laasgenoemde klassifikasiesisteem. Voorbeelde van sodanige kenmerke is grondkleur, tekstuur en die teenwoordigheid van sagte plintiet. Soortgelyke grondkenmerke kan, volgens die bevindinge van verskeie Europese en Amerikaanse navorsers (Daniëls, Gamble & Nelson, 1971; Boersma, Simonson & Watts, 1972; Franzmeier, Yahner, Steinhardt & Sinclair, 1983; Zobeck & Ritchie, 1984) gebruik word om die teenwoordigheid van vrywatervlakke te voorspel.

Die tweede uitgawe van die Suid-Afrikaanse grondklassifikasiesisteem (Macvicar, Lambrechts, Bennie, Bruce, De Villiers, Dohse, Ellis, Eloff, Fey, Grey, Harmse, Hartmann, Hensley & Idema, 1991), maak in 'n nog groter mate as die eerste uitgawe (1977) van tekens van natheid in die ondergrond gebruik. Grondkaart (byvoorbeeld die huidige reeks landtipekaart opgestel deur die NIGB) wat opgestel is volgens norme neergelê deur die Suid-Afrikaanse grondklassifikasiesisteem van 1977 of 1991, kan daarom moontlik gebruik word om verspreiding van vrywatervlakke aan te dui.

Volgens Harmse (1963) se geografiese voorstelling van die grond wat uit eoliese sand ontstaan het, is daar in die noordwestelike O.V.S. 'n oppervlakte van ongeveer 160000 hektaar wat gekenmerk word deur die teenwoordigheid van grys matrikskleure in gedeeltes van die profiel. Hierdie grys matrikskleure is volgens Harmse (1969) 'n weerspieëling van hidromorfe eienskappe wat in die noordwestelike O.V.S. op die teenwoordigheid van hoë vrywatervlakke* dui.

*(Lys van verklarende terme)**

Die grondvormende prosesse wat 'n rol gespeel het tydens grondvorming in die noordwestelike O.V.S. word deur Harmse (1963) en Eloff (1984) bespreek. Die bogrond het hoofsaaklik uit eoliese moedermateriaal ontstaan wat ten tye van verskillende droë periodes gedurende die Pleistoseene periode afgesit is. Daar word deur Harmse (1963) na die oppervlak waarop die eoliese sand afgesit is, as die paleo-oppervlak* verwys. Die paleolaag* bestaan uit goed gedreineerde dolerietaprotiet of swak gedreineerde kleierige en vergleyde verweringsprodukte van skalie, doleriet, kalkkreet en moddersteen (Harmse, 1963; Eloff, 1984).

Volgens Harmse (1963) het 'n verandering in kleur van die eoliese sand van die noordwestelike O.V.S. plaasgevind nadat die sand op kleierige materiaal met 'n beperkte dreineringsafgesit was en is die geelbruin kleur van die A- en B-horisonte by Avalonvorme nog 'n kenmerk wat op die teenwoordigheid van vrywater dui. 'n Kleurverandering van rooi na geel het waarskynlik plaasgevind as gevolg van mineralogiese transformasie van hematiet (αFe_2O_3) na goethiet ($\alpha - FeOOH$) wat volgens Schwertman (1971) onder anaërobiese toestande moontlik is.

2.2 VERSPREIDING EN SEISOENSFLUKTUASIES VAN VRYWATERVLAKKE

2.2.1 Inleiding

Alhoewel vrywatervlakke reeds deur Harmse (1969) met die teenwoordigheid van sekere hidromorfologiese eienskappe van grond in die noordwestelike O.V.S. geassosieër is, is dit onbekend of die watervlakke se dieptes seisoenaal fluktueer. Een van die doelstellings van hierdie gedeelte van die ondersoek is dan onder andere om meer inligting te verkry oor die invloed van reënval en grondkenmerke op die verspreiding, gemiddelde diepte en seisoensfluktuasie in diepte van watervlakke in die noordwestelike O.V.S.

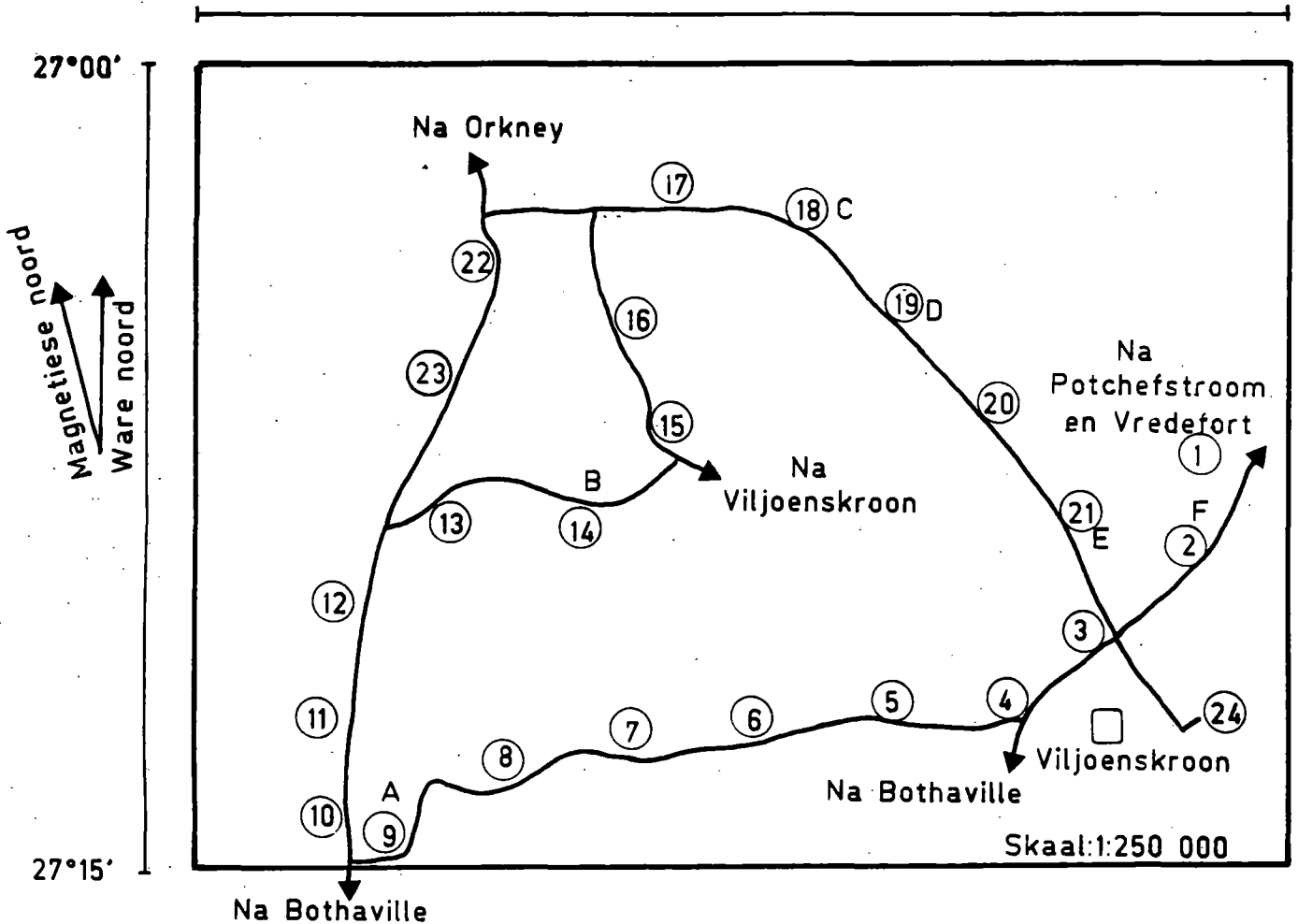
*(Lys van verklarende terme)**

2.2.2 Materiaal en metodes

Vanweë die uitgestrektheid van die noordwestelike O.V.S. is besluit om die ondersoek tot 'n kleiner area waarin al die dominante grondvorme van die noordwestelike O.V.S. voorkom, te beperk. Die gebied is so gekies dat dit proefterreine insluit waar daar tydens droë seisoene bestendige mielie-opbrengste as gevolg van doeltreffende benutting van vrywater deur Koch (1974), Mallett (1982) en Mallett *et al.* (1985) waargeneem was. Die gebied, waarna verder verwys sal word as die ondersoekgebied, is naby Bothaville en Viljoenskroon tussen die 27°00' en 27°15' lengtegrade en 26°40' en 27°11' breedtegrade (Figuur 1) geleë.

'n Sirkelroete (Figuur 1) is in die ondersoekgebied uitgesoek en 24 lokaliteite is op vyf kilometer gespasiëerde afstand langs die roete as waarnemingspunte gekies. Ten einde die grond in die ondersoekgebied te beskryf, is die volgende inligting by die waarnemingspunte ingesamel:

- (i) Grond is geklassifiseer volgens die eerste (1977) en tweede (1991) uitgawes van die binominale grondklassifikasiesisteen van Suid-Afrika;
- (ii) Monsters is geneem en tekstuur is op 300 mm diepte-intervalle tot op 'n diepte van 1 500 mm bepaal. Die sif en pipet-metode is gebruik (Day, 1965).
- (iii) Die diepte in die profiel vanwaar daar, volgens die Munsell kleurkaart, grys matrikskleure voorkom, is genoteer.
- (iv) Die onderliggende materiale en gesteentes is waar moontlik, geïdentifiseer.
- (v) Ten einde die diepte van die watervlakke by die verskillende waarnemingspunte te meet, is piezometers by elke waarnemingspunt geïnstalleer. Die piezometers het, soos aanbeveel deur Zobeck & Ritchie (1984), uit geperforeerde plastiekpype bestaan. By elke waarnemingspunt is drie piezometers, tien meter van mekaar, tot op 'n diepte van twee meter geïnstalleer.



Figuur 1. Die ondersoekgebied

1-24	Waarnemingspunte met piezometers waarin seisoensfluktuasies in die diepte van watervlakke gemeet is (Hoofstuk 2).
1, 6, 18	Waarnemingspunte met piezometers wat gebruik is om vas te stel of die watervlakke freaties is (Hoofstuk 2).
1	Waarnemingspunt waar ondersoek ingestel is na (i) die verwantskap tussen die diepte van watervlakke en grondkenmerke wat met die oppervlak- asook paleotopografie geassosieër word (Hoofstuk 2), (ii) die invloed van versadiging en uitdroging op verdigting (Hoofstuk 5) en (iii) die invloed van hoë watervlakke op groei en produksie van mielies (Hoofstuk 6).
1, 2, 3, 6, 8, 10, 18, 20, 24	Waarnemingspunte waar die kwaliteit van vrywater ondersoek is (Hoofstuk 3).
1, 3, 10, 11, 14, 24	Waarnemingspunte waar die hoogte van kapillêre styging <u>in situ</u> bepaal is (Hoofstuk 4).
10	Waarnemingspunt waar grondbewerkingsondersoeke uitgevoer is (Hoofstuk 5).
A-E	Waarnemingspunte waar die kwaliteit van ondergrondse water ondersoek is (Hoofstuk 3).
21	Waarnemingspunt waar Mallett <i>et al.</i> (1985) hoë opbrengste a.g.v. doeltreffende benutting van vrywater waargeneem het

Waar ondeurdringbare lae, byvoorbeeld doleriet, vlakker as twee meter voorgekom het, was die piezometers slegs tot op die diepte van hierdie laag geïnstalleer. Die ontwerp van die piezometers word diagrammadies in figuur 2 (bladsy 17) aangedui.

2.2.3 Resultate en bespreking

Klassifikasie van grond tot op vorm- en serievlak (1977 uitgawe van die grondklassifikasiesisteem van Suid-Afrika) en tot op vorm- en familievlak (1991 uitgawe van die grondklassifikasiesisteem van Suid-Afrika) word in Bylae 1 gegee. In Bylae 1 word die deeltjiegrootte-verspreiding, kleur en 'n aanduiding van die teenwoordigheid van plintiet ook gegee. Die onderliggende materiale is ook geklassifiseer. Reënvalgegewens word in Bylae 2 gegee. In tabel 1 word 'n beknopte samevatting van die inligting in Bylae 1 gegee. Die diepte van die watervlakke by die verskillende waarnemingspunte soos waargeneem vanaf 1987 tot en met 1989, verskyn in tabel 2.

Hidromorfe gronde (hoofsaaklik van die Avalonvorm) kom by meer as vyftig persent van die waarnemingspunte voor. Die bogrond is tipies geelbruin apedale fynsand met 'n klei-inhoud van ongeveer sewe persent. Daar is meestal 'n duidelike toename in klei-inhoud op 'n diepte waar sagte plintiet en tekens van vergleying, gemanifisteer in die vorm van grys matrikskleure, voorkom. Hierdie oorgang verteenwoordig moontlik die posisie van die swak gedreineerde paleo-oppervlak wat volgens Harmse (1963) en Eloff (1984) uit kleierige en vergleyde verweringsprodukte van doleriet, skalie en moddersteen bestaan. Slegs in die geval van enkele waarnemingspunte met grond van die Avalonvorm ontbreek die duidelike oorgang van sand na klei. By hierdie waarnemingspunte kom nie-diagnostiese hardebank karbonaat horisonte (waarnemingspunte 9, 10 en 11) of nie-diagnostiese harde plintiet (waarnemingspunte 21 en 24) onder die sand voor.

Tabel 1. Enkele kenmerke van grond in die ondersoekgebied (kyk Bylae 1 vir volledige besonderhede)

WAARNEMINGS-PUNT	GRONDVORM *		DIEPTE VAN PALEO-OPPERVLAK (mm)	DIEPTE VANWAAR GRYS KLEURE VOORKOM	ONDERLIGGENDE MATERIALE
	1977	1991			
1	Avalon	Avalon	1120	1050	Tvl-skalie
2	Longlands	Longlands	1200	1200	Tvl-skalie
3	Avalon	Avalon	1200	1200	Harde plintiet
4	Hutton	Hutton	-	-	Doleriet
5	Bainsvlei	Bainsvlei	-	-	Doleriet
6	Avalon	Avalon	975	900	Tvl-skalie
7	Avalon	Avalon	520	450	Tvl-skalie
8	Avalon	Avalon	670	750	Tvl-skalie
9	Avalon	Avalon	520	450	Kalkreet
10	Avalon	Avalon	-	1050	Kalkreet
11	Avalon	Avalon	-	-	Kalkreet
12	Bainsvlei	Bainsvlei	-	-	Doleriet
13	Hutton	Bloemdai	-	1400	Doleriet
14	Avalon	Avalon	820	750	Ecce moddersteen
15	Clovelly	Clovelly	-	-	Sandsteen
16	Glenrosa	Glenrosa	-	-	Doleriet saproliet
17	Avalon	Avalon	820	750	Ecce moddersteen
18	Clovelly	Avalon	1420	1400	Ecce moddersteen
19	Glenrosa	Glenrosa	-	-	Doleriet saproliet
20	Pinedene	Pinedene	-	600	Ecce moddersteen
21	Clovelly	Avalon	1350	1350	Ecce moddersteen
22	Avalon	Avalon	-	-	Ecce moddersteen
23	Clovelly	Clovelly	-	-	Tvl-skalie
24	Clovelly	Avalon	1050	1500	Harde plintiet

* Grond is geklassifiseer volgens die 1977 en 1991 uitgawes van die Suid-Afrikaanse Grondklassifikasiesisteen

Tabel 2. Diepte van vrywatervlakke by verskillende waarnemingspunte

WAARNEMINGS-PUNT	DIEPTE VAN WATERVLAK (mm)											
	FEB 1987	MEI 1987	SEPT 1987	NOV 1987	FEB 1988	MEI 1988	SEPT 1988	NOV 1988	FEB 1989	MEI 1989	SEPT 1989	NOV 1989
1	900	1200	660	500	230	650	680	500	300	700	820	900
2	1200	-	-	1350	800	1050	1350	1200	200	800	1300	1300
3	1440	-	-	1600	1300	1400	1500	1500	1200	1300	1400	1400
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	650	900	1000	1050	500	550	900	920	900	1000	1000	1010
7	-	-	-	900	1200	-	-	-	600	900	-	-
8	700	-	-	800	800	900	900	700	800	850	900	
9	1200	-	-	-	1500	-	-	-	1000	1500	-	-
10	1800	-	-	-	1200	2000	-	600	100	1000	-	-
11	-	-	-	-	1800	-	-	-	600	1800	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	1500	-	-	-
14	-	-	-	-	900	-	-	-	700	900	-	900
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	620	850	900	900	500	900	900	900	600	900	900	900
18	-	-	-	-	1600	1800	1800	1300	700	1800	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	300	400	400	400	200	300	300	400	350	300	400	400
21	-	-	-	-	1400	1400	-	1200	1100	-	-	-
22	-	-	-	-	1800	-	-	-	1700	1800	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	2000	-	-	-	1300	1800	1800	1800	550	1200	1800	1800

Hoë vrywatervlakke is by die meeste van die waarnemingspunte waar grond van die Avalonvorm is (kyk Tabel 2), waargeneem. Gedurende die 1986/87-groeiseisoen (Zea mays), wat gekenmerk was deur lae reënvalsifers (Bylae 2), was watervlakke by nege van die waarnemingspunte geregistreer. By sewe van hierdie waarnemingspunte kom grond van die Avalonvorm voor. Die ander twee waarnemingspunte word gekenmerk deur die teenwoordigheid van grond van die Longlands- of Pinedenevorm. Die vrywater was telkens in die omgewing van die paleo-oppervlak waargeneem. Laasgenoemde dui daarop dat die water op of in die paleolaag akkumuleer. Gedurende die daaropvolgende maande (Mei tot September 1987) was min reën aangeteken. Die watervlakke het gedaal en was gedurende September slegs by vier waarnemingspunte teenwoordig. By al vier hierdie waarnemingspunte kom grond van die Avalon- of Longlandsvorms voor.

Die 1987/88 groeiseisoen se reënval was verteenwoordigend van die langtermyn gemiddeld van die gebied (600 mm), terwyl daar gedurende die 1988/89-groeiseisoen hoër reënvalsifers as die langtermyn gemiddeld geregistreer was (Bylae 2). Vrywater was gedurende hierdie twee seisoene by al die waarnemingspunte met vergleyde verweringsprodukte van skalie en moddersteen teenwoordig. Met die uitsondering van waarnemingspunt 13 waar grond van die Bloemdalvorm (1991 uitgawe van die Suid-Afrikaanse Grondklassifikasiesisteen) voorgekom het, was geen vrywater by ander waarnemingspunte waargeneem nie. Die watervlakke was aansienlik hoër as gedurende die droër 1986/87-groeiseisoen. By sommige waarnemingspunte was die watervlak gedurende die 1988/89 groeiseisoen soms digby die grondoppervlak. Soos in die geval van die droë 1986/87-groeiseisoen, was seisoenfluktuasies in watervlakdiepte waargeneem. Daar was slegs gedurende die reënseisoen hoë watervlakke en gedurende die droë wintermaande (Mei en September) het dit telkens gedaal (Tabel 2).

Aangesien die goeie dreineervermoë van onderliggende dolerietaprotiet die opbou van 'n watervlak voorkom, was vrywater nie in grond van die Hutton- en Bainsvleivorm, wat volgens Eloff (1984) op hierdie materiale ontstaan het, waargeneem nie.

Dit wil voorkom of die binominale Grondklassifikasiesisteen van Suid-Afrika met sukses gebruik kan word om die teenwoordigheid van vrywatervlakke oor die langtermyn in die omgewing van die studiegebied te voorspel. Daar word

ook in die literatuur aanduidings gevind dat die kenmerkende eienskappe van grond van die Avalonvorm hidromorfe eienskappe is wat op die teenwoordigheid van vrywater in grond dui. Tekens van vergleying asook die teenwoordigheid van sagte plintiet is beide kenmerke wat onderskeidelik deur onder andere Mason (1958) en Schwertman (1971) beskou is as die gevolg van versadigde toestande. Hierdie kenmerke, asook die geelbruin kleur van grond van die Avalonvorm in die ondersoekgebied, is volgens die literatuur (Harmse, 1969) 'n verdere kenmerk wat die gevolg is van tydelike anaërobiese toestande.

Dit is veral die 1991 uitgawe van die grondklassifikasiesisteen van Suid-Afrika (Macvicar *et al.*, 1991) wat met groot sukses gebruik kan word om die teenwoordigheid van vrywatervlakke in die ondersoekgebied te voorspel. Die 1977 uitgawe (Macvicar *et al.*, 1977) was dikwels ontoereikend omdat die teenwoordigheid van sagte plintiet op 'n diepte van 1,2 tot 1,5 m nie diagnosties was. Die gevolg was dat sommige gronde van die Avalon- en Bloemdalvorms met vrywater voorheen as lede van die Clovelly- en Huttonvorm geklassifiseer was. Voorbeelde hiervan word by waarnemingspunte 13, 18, 21 en 24 aangetref (kyk Tabel 1). Volgens hierdie ondersoek word daar nie vrywatervlakke in grond van die Clovelly- en Huttongrondvorms in die studiegebied verwag nie, terwyl vrywater dikwels in grond van die Avalon-, Pinedene- en Longlandsvorm en gedurende nat periodes ook in grond van die Bloemdalvorm verwag word.

Volgens Harmse (1963) word ongeveer 160 000 hektaar deur die teenwoordigheid van hierdie gronde getipeer. Slegs in enkele gevalle, telkens waar grond van die Avalonvorm of Pinedenevorm voorkom, was vrywater permanent gedurende nat sowel as droë seisoene waargeneem. In alle gevalle het die diepte van die watervlakke gedurende seisoene gefluktueer. Die gebruiksimplikasies van die verskynsels wat gedurende hierdie gedeelte van die ondersoek waargeneem was, is ook ondersoek en die resultate daarvan word in die samevattende hoofstuk geïntegreer.

2.3 VERWANTSAP TUSSEN DIE DIEPTE VAN WATERVLAKKE EN GRONDKENMERKE

2.3.1 Inleiding

Die inligting weergegee in afdeling 2.2 dui daarop dat watervlakke gedurende periodes met 'n gemiddelde of hoë reënval algemeen in grond van die Avalon-, Pinedene-, Longlands- en moontlik ook Bloemdalvorm, voorkom. Dit is verder ook duidelik dat die diepte van die watervlakke gedurende die seisoen fluktueer, met min of geen vrywater gedurende die droë wintermaande. Alhoewel die literatuur (Harmse, 1963, 1969) daarop dui dat die vrywater op die paleo-oppervlak akkumuleer, bestaan daar beperkte inligting oor die invloed van die huidige topografie en paleotopografie op die verskynsels waarvan in afdeling 2.2 melding gemaak is. Die doel van hierdie gedeelte van die ondersoek is om die invloed van die huidige topografie en paleotopografie op die ontstaan en fluktuasies van watervlakke te ondersoek.

2.3.2 Materiaal en metodes

Hierdie gedeelte van die ondersoek was naby Viljoenskroon op 'n ondersoekterrein met 'n oppervlakte van ongeveer 100 000 m² uitgevoer. Waarnemingspunt een is in die sentrale gedeelte van die ondersoekterrein en die ligging word in figuur 1 getoon. Die grond by hierdie waarnemingspunt is van die Avalonvorm en soos in die geval van die meeste ander waarnemingspunte waar hierdie grondvorm teenwoordig is, is daar op 'n diepte van 1 000 mm 'n duidelike oorgang vanaf sand van eoliese oorsprong na swak deurlaatbare kleierige verweringsprodukte van skalie van die Transvaal Opeenvolging. In Bylae 1 word die teksturele eienskappe van grond by waarnemingspunt een volledig gegee.

'n Vooraf ondersoek het daarop gedui dat die diepte van die vrywatervlak by verskillende posisies op die terrein verskil. Dit, tesame met die feit dat die grond op die terrein verteenwoordigend van die ondersoekgebied is, het hierdie terrein 'n ideale keuse vir 'n ondersoek na die ontstaan en fluktuasies van watervlakke gemaak.

Ten einde 'n isopagkaart op te stel wat die watervlakdiepte tydens die aanvang van die ondersoek aandui, was die volgende inligting ingewin:

- (i) Die topografie van die grondoppervlak was op 'n skaal van 1:100 gekarteer en
- (ii) gedurende Julie 1987 is piezometers, soos diagrammaties voorgestel in figuur 2, op elke 1 000 m² van die ondersoekterrein tot op 'n diepte van twee meter geïnstalleer. Die diepte van vrywatervlakke was sewe dae later (17 Julie 1987) in elke piezometer gemeet. Die piezometers is daarna verwyder.

Ten einde die invloed van topografiese verskynsels en grondkenmerke op die teenwoordigheid van vrywatervlakke en verspreiding van grondtipes te bepaal, is die volgende inligting versamel:

- (i) Tydens die installering van die piezometers vir die verkryging van data vir die opstel van 'n isopagkaart, is die diepte van die paleo-oppervlak met behulp van 'n grondboor waargeneem;
- (ii) Profielgate is gegrawe en grond is geklassifiseer volgens die taksonomiese grondklassifikasiesisteen van Suid-Afrika (Macvicar *et al.*, 1991);
- (iii) Monsters is by elke profielgat geneem om tekstuur op 300 mm diepte-intervalle tot op 'n diepte van 1 500 mm te bepaal. Hierdie data is gebruik ter bevestiging van die diepte van die paleo-oppervlak.
- (iv) Onversadigde hidrouliese geleivermoë van onversteurde grondmonsters, van die eoliese sand en ook 500 mm en 1 000 mm onder die paleo-oppervlak, was deur middel van die vallende hoogtetoets (Bowles, 1970) bepaal.

Ten einde fluktuasies in diepte van vrywatervlakke te ondersoek, was die proefterrein vir verdere waarnemings in vier persele verdeel. Elke perseel was opgedeel in drie subpersele. Die subpersele was 30 meter van mekaar en die afmetings van elke subperseel was 15 m X 15 m. Die diepte van die watervlak het ten opsigte van die persele verskil.

Verskillende waarnemings is by elke perseel uitgevoer, nl:

- (i) Om inligting te verkry oor seisoensfluktuasies in watervlakdieptes was die diepte van die watervlakke gedurende die periode Junie 1987 tot Junie 1989 maandeliks in elke subperseel gemeet. Die piezometers waarin die watervlakke gemeet was, was slegs gedurende tye waartydens bewerking plaasgevind het, verwyder. Piezometers wat soms met grond verstop geraak het, is gereeld vervang.
- (ii) Aangesien die watervlakke gedurende 1989 soms tot aan die grondoppervlak gestyg het, is fluktuering van watervlakdieptes tydens hierdie nat periodes meer gereeld (elke 48 uur) gemonitor.

Ten einde die invloed van die diepte van watervlakke op die waterinhoud van die grond bo die watervlak vas te stel, was volumetriese waterinhoude bo die watervlak met behulp van 'n neutronwatermeter gemeet. Lesings was op drie stadiums waartydens verskillende watervlakdieptes geheers het, in neutronwatermetertoegangsbuise (twee meter vanaf die piezometers), op 150 mm diepte-intervalle, geneem. Die meter is vooraf in situ vir grond van die ondersoekterrein gekalibreer.

Ten einde vas te stel of die watervlakke freaties* is, was 'n stel spesiaal ontwerpte piezometers by al drie subpersele van perseel 3 geïnstalleer. Hierdie piezometers het, soos voorgestel deur Harlan & Franzmeier (1974), uit staalpype bestaan waarvan slegs die onderste 460 mm geperforeer was.

Die pype was 25 mm in deursnit en is tot op dieptes van onderskeidelik 1, 2, 3 en 4 meter geïnstalleer, met die veronderstelling dat geen watervlak in die piezometers kan ontstaan indien die geperforeerde gedeeltes nie in die versadigde sone geleë is nie. Gedurende die ondersoekperiode was die teenwoordigheid van 'n watervlak in die pype elke tweede week gemonitor. Soortgelyke stelle piezometers was ook gedurende dieselfde ondersoekperiode by waarnemingspunte ses en 18 (kyk Figuur 1 vir ligging van die waarnemingspunte)

*(Lys van verklarende terme)**

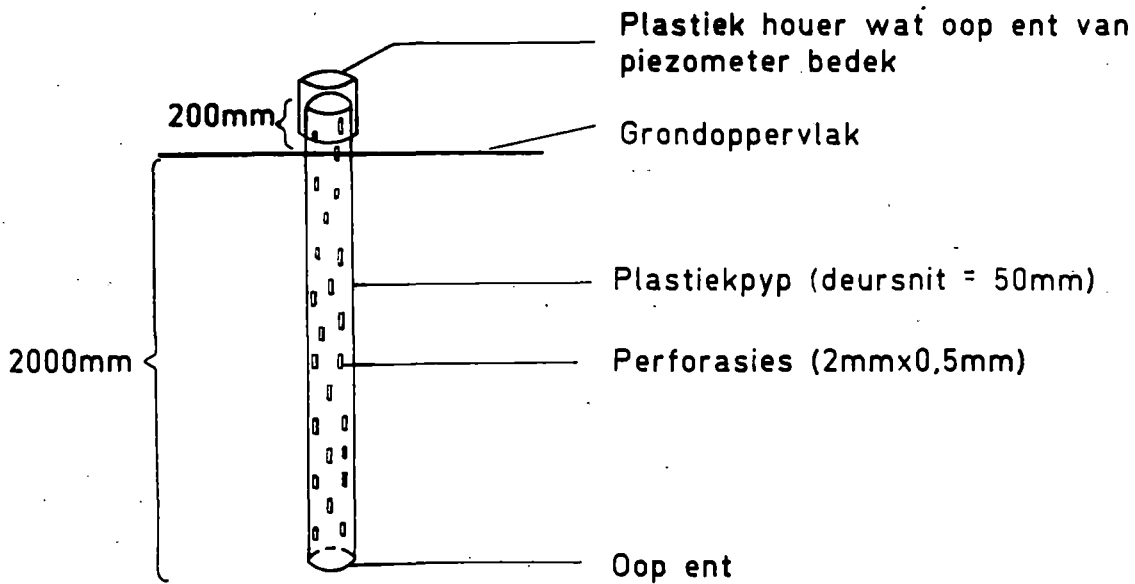
geïnstalleer. Die ontwerp van hierdie tipe piezometers is diagrammaties in figuur 3 voorgestel.

Hierdie terrein waar die ondersoek uitgevoer is, was ook gebruik om die invloed van uitermate hoë vrywatervlakke en gepaardgaande versadigingstoestande op verdigting van grond en opbrengs van mielies te evalueer. Metodes en resultate van laasgenoemde twee ondersoekte word onderskeidelik in Hoofstukke 5 en 6 bespreek.

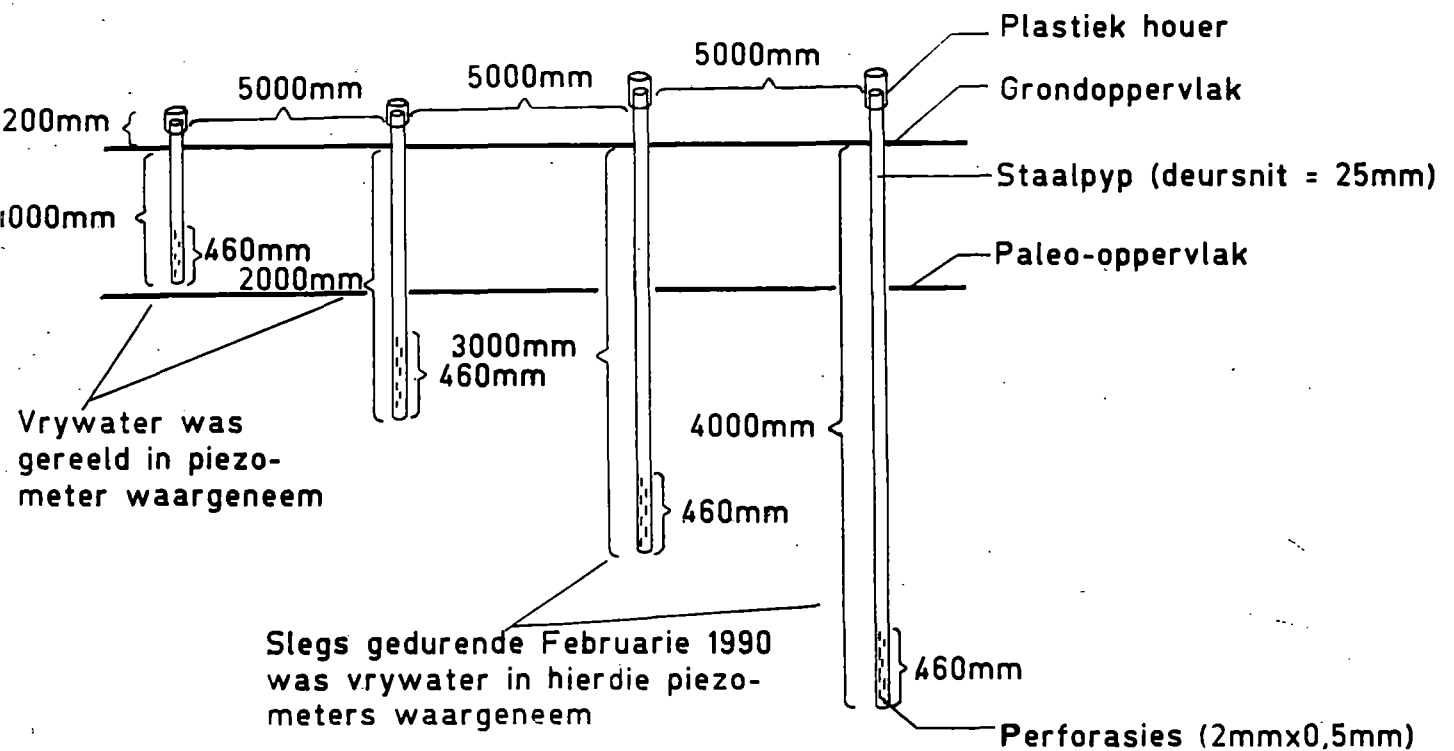
2.3.3 Resultate en bespreking

Die topografie van die grondoppervlak en die diepte waarop vrywater gedurende Junie 1987 waargeneem was, word in figuur 4 voorgestel. Die diepte van die watervlak korreleer nie met die topografie van die grondoppervlak nie. Die watervlak by die hoogste en laagste gedeeltes van die ondersoekterrein was ongeveer ewe diep onder die grondoppervlak, terwyl dit die naaste aan die grondoppervlak was teen die helling in die sentrale gedeelte van die terrein. Daar was ook gedeeltes waar geen vrywater tot op 'n diepte van twee meter gevind is nie. Slegs 30 meter aan die suidekant vanaf die gedeelte met die hoogste watervlak, was geen vrywater tot op 'n diepte van twee meter waargeneem nie. Indien in ag geneem word dat die grondoppervlak van noord na suid hel, is dit duidelik dat die teenwoordigheid en diepte van die watervlak nie deur die topografie van die grondoppervlak bepaal word nie.

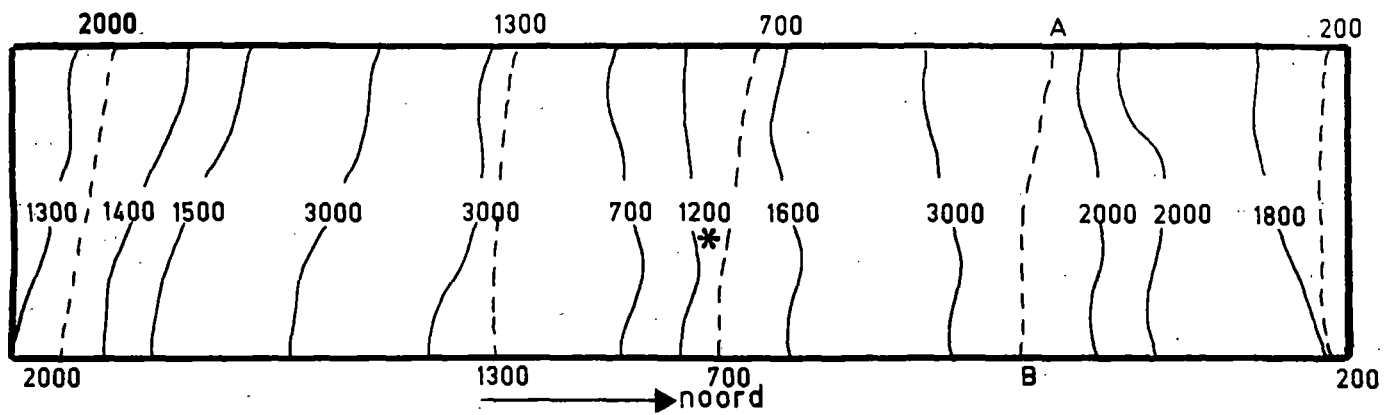
Hidromorfe Avalon- en Longlands-gronde was dominant op die proefterrein. Profielbeskrywings van profiele A tot F verskyn in Bylae 3. Die teenwoordigheid van sagte plintiese horisonte dui op swak dreinerings wat onder andere ook deur Simonson & Boersma (1972) met die teenwoordigheid van vrywater geassosieër word.



Figuur 2. Diagrammatiese voorstelling van n piezometer waarin seisoenfluktuasies in diepte van watervlakke gemeet is (posisies waar die piezometers geïnstalleer was, word in Figuur 1 getoon)



Figuur 3. Diagrammatiese voorstelling van die reeks piezometers wat gebruik is om vas te stel of die watervlakke freaties is (posisies waar hierdie piezometers geïnstalleer was, word in Figuur 1 getoon)



* Posisie van waarnemingspunt (sien Figuur 1)

— mm — Kontoer wat diepte van watervlak(mm) onder grondoppervlak aandui

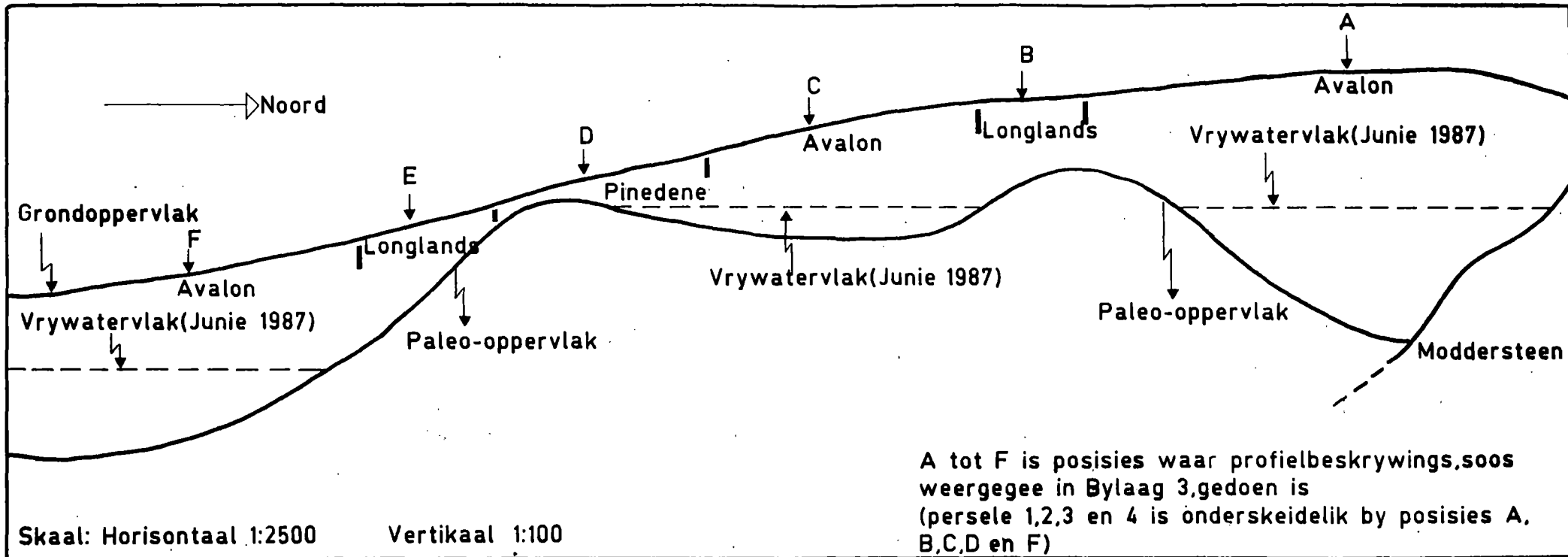
- - - mm - - - mm - Kontoer wat diepte van grondoppervlak(mm) onder verwysingslyn A-b aandui. Verwysingslyn A-B verteenwoordig die hoogste posisie op die proefterrein

Figuur 4. Isopagkaart wat die oppervlaktopografie en diepte van vrywater(mm), soos gemeet gedurende Junie 1987, aandui

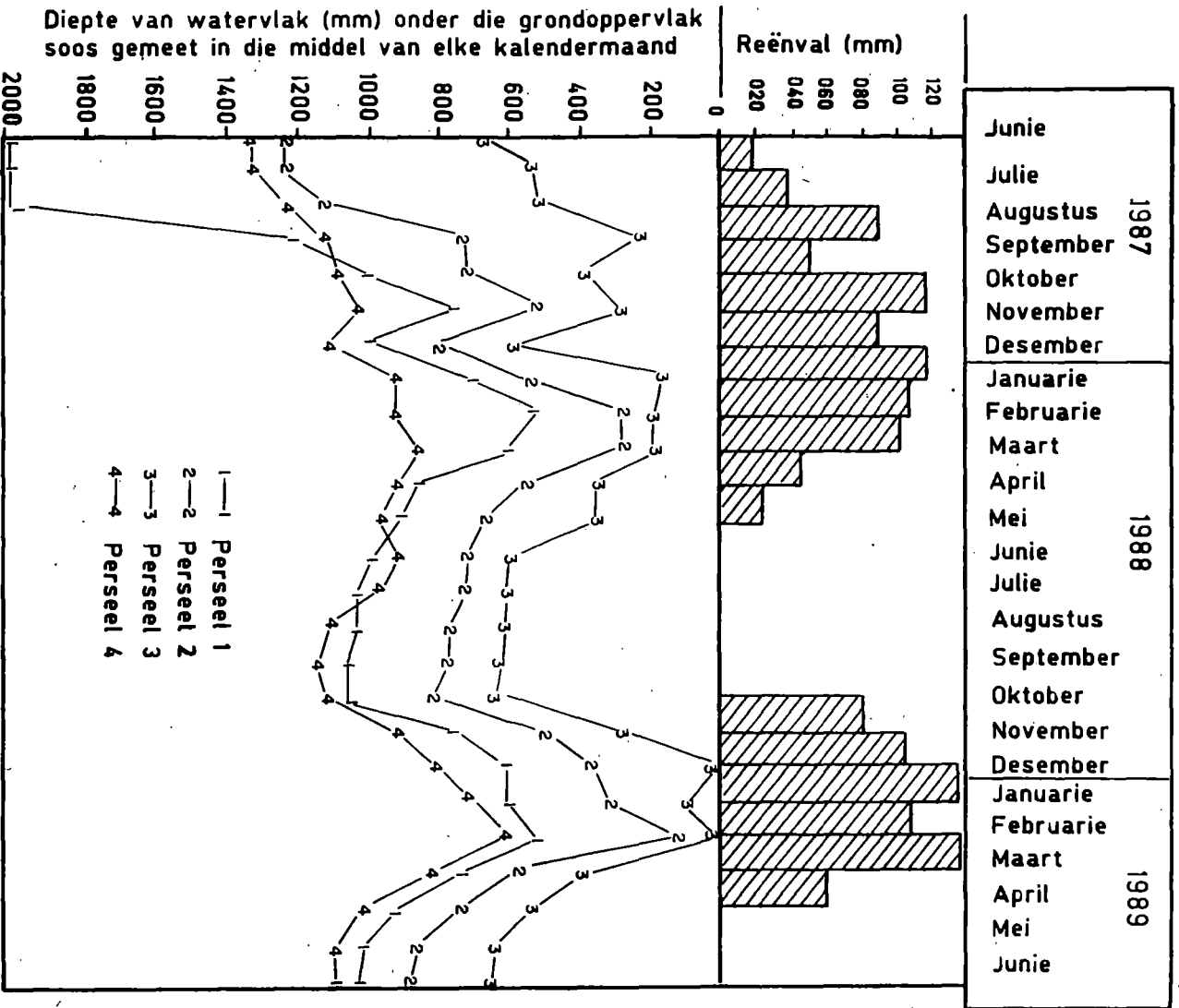
Grond van die Avalonvorm is by die gedeeltes waar die paleo-oppervlak dieper is waargeneem, terwyl grond van die Longlandsvorm voorkom waar die paleo-oppervlak vlakker is. E-horisonte (kenmerkend van die Longlandsvorm) word volgens Simonson & Boersma (1972) met freatische watervlakke geassosieër.

Figuur 5 is 'n dwarsnit van die ondersoekterrein waarin die posisie van die paleo-oppervlak en verspreiding van grondtipes getoon word. Die teenwoordigheid van vrywater korreleer ooglopend met die paleotopografie. Die paleotopografie is golwend en water akkumuleer in sand in laagliggende gedeeltes van die paleo-oppervlak. Die gedeeltes waar geen vrywater waargeneem was nie, stem ooreen met die hoogliggende gedeeltes van die paleo-oppervlak, maar nie noodwendig met die grondoppervlak nie. Die diepte van die watervlak word deur die dikte van die laag sand bo die paleo-oppervlak beïnvloed. Gedurende nat seisoene het hoë watervlakke voorgekom waar daar slegs 'n dun laag sand op 'n laagliggende gedeelte van die paleo-oppervlak afgesit is of oorgebly het.

Veranderings in die diepte van watervlakke gedurende verskillende seisoene was gedurende hierdie ondersoek 'n kenmerkende verskynsel. In figuur 6 word maandelikse fluktuasies, wat gedurende die tweede week van elke maand gemeet is, getoon. Watervlakke het gedurende periodes van oorfloedige reëns gestyg en daarna gedaal om klaarblyklik 'n ewewigstoestand te bereik. Twee weke nadat 100 mm reën op 17 Februarie 1989 geregistreer was, het die watervlakke van persele een, twee, drie en vier onderskeidelik met 350 mm, 350 mm, 440 mm en 140 mm (kyk Figuur 7, bladsy 23) gedaal. Dit is onwaarskynlik dat hierdie daling die gevolg kon wees van evapotranspirasie alleen. Die lae versadigde hidrouliese geleivermoë van die onderliggende kleileem (onderskeidelik 40- en 4 mm dag⁻¹ op dieptes van 500- en 1 000 mm onder die paleo-oppervlak) dui daarop dat dit ook nie die gevolg van interne dreinerings in die klei kon wees nie. Die hoë versadigde hidrouliese geleivermoë van die sand (700 mm dag⁻¹) dui daarop dat die daling moontlik die gevolg van laterale vloei van water in die laag sandgrond direk bo die klei kon wees. Die diepte van die watervlak tydens die ewewigstoestand wat twee weke na die reënbui bereik was, korreleer met die golwing van die paleo-oppervlak tussen persele 1 en 2 en tussen persele 3 en 4, soos aangetoon in figuur 5. Vloeiing oor die kruin van die paleo-oppervlak vanaf



Figuur 5. Skematiese dwarsnit van die proefterrein wat die invloed van die paleo-topografie op teenwoordigheid van vrywater en verspreiding van grondvorme aandui

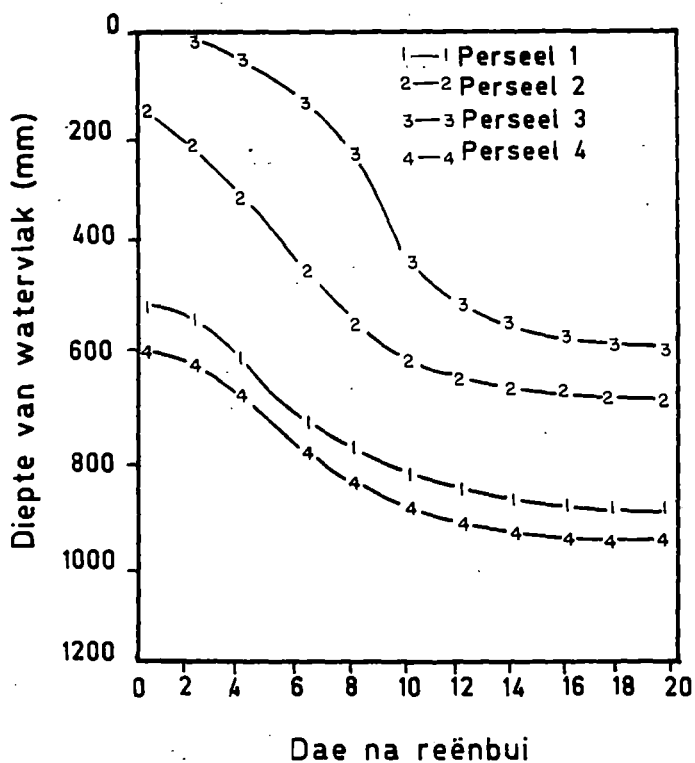


Figur 6. Die invloed van reënval op verandering in diepte van watervlakke

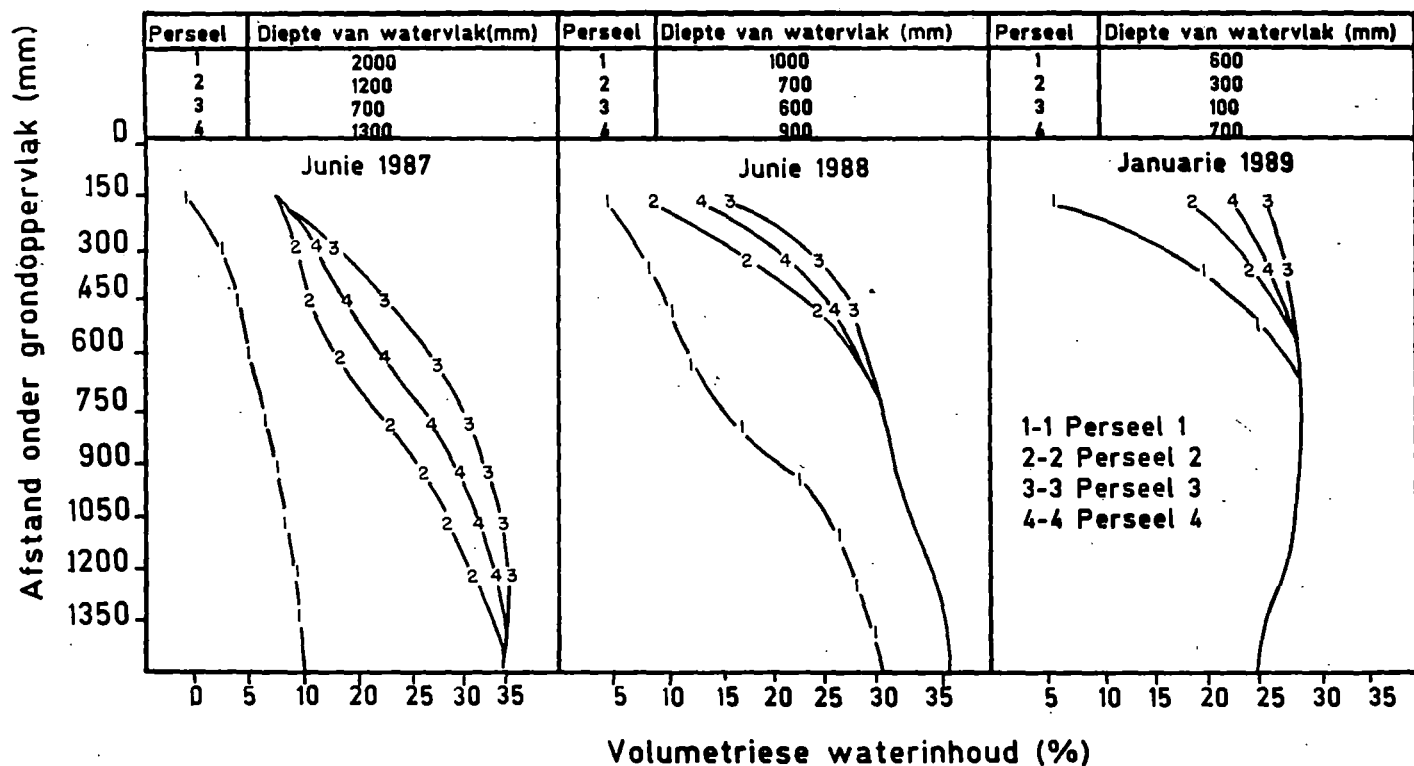
perseel 1 na perseel 2, het waarskynlik die aanvanklike daling in watervlakdiepte by perseel 1 tot gevolg gehad. Op dieselfde wyse het vloei vanaf persele 2 en 3 na perseel 4 plaasgevind (Figuur 5). Sodra die watervlak laer as die hoogte van die kruine van die paleo-oppervlak tussen die persele gedaal het, het vloei gestop en verdere verlaging in die diepte van die watervlakke het teen 'n verlaagde tempo plaasgevind. Die verdere daling kan die gevolg wees van water wat as gevolg van evapotranspirasie verlore gaan, of moontlik as gevolg van laterale vloei in ander rigtings as suid.

By al die lokaliteite waar vasgestel is of die watervlakke freaties is, het die diepte van die watervlakke in die piezometers wat op 'n diepte van 1 en 2 meter geïnstalleer was (Figuur 3) met die watervlak soos gemeet in die geperforeerde plastiek piezometers (kyk Figuur 2) ooreengekom. In die piezometers wat op 'n diepte van 3 en 4 meter geïnstalleer was, was daar egter alleen gedurende Februarie 1989 vrywater waargeneem. Dit impliseer dat die watervlakke freaties is en óp die kleilaag akkumuleer. Slegs gedurende nat seisoene word die onderliggende klei versadig.

In figuur 8 word die invloed van watervlakke se diepte op die volumetriese waterinhoud van die bogrond aangetoon. Hieruit is dit duidelik dat die bogrond bo die hoogste watervlakke telkens die natste was. Gedurende Junie 1987 was die volumetriese waterinhoud op 'n diepte van 150 mm by 'n 2 000 mm diep watervlak slegs vier persent. Gedurende die ooreenstemmende tyd van die daaropvolgende jaar was die volumetriese waterinhoud op 'n diepte van 150 mm bo 'n 600 mm diep watervlak soveel as 17 persent. Gedurende hierdie periodes het geen reën voorgekom nie. Die bogrond was dus nie deur reënwater benat nie maar waarskynlik deur water wat kapillêr vanaf die watervlak na die bogrond beweeg het. Hierdie verskynsel kan moontlik 'n groot bydra lewer tot die hoeveelheid water in die bogrond en sal in Hoofstuk 4 volledig bespreek word.



Figuur 7. Verandering in diepte van watervlakke na 100mm reën op 17 Februarie 1989



Figuur 8. Die invloed van die diepte van die watervlak op bogrondse volumetriese waterinhoud

2.4 OPSOMMING

In hierdie hoofstuk is topografiese verskynsels en die invloed van grondkenmerke en reënval op die teenwoordigheid van hoë watervlakke ondersoek.

Grys matrikskleure, sagte plintiet, geelbruin apedale A-horisonte en E-horisonte is algemeen met die teenwoordigheid van fretatiese vrywatervlakke in die ondersoekgebied geassosieer. Vrywater akkumuleer in sand van eoliese oorsprong bo 'n paleolaag wat as gevolg van 'n lae hidrouliese geleivermoë diep dreinerings voorkom. Die duidelike skeiding tussen kleierige en vergleyde verweringsprodukte van diepliggende gesteentes en die oorliggende sand van eoliese oorsprong, verteenwoordig die paleo-oppervlak waarvan Harmse (1963) melding maak. Die grys matrikskleure, sagte plintiet en E-horisonte by die skeiding is morfologiese kenmerke wat duidelik uit die gegewens die gevolg is van anaërobiese toestande wat deur periodieke versadiging met water veroorsaak is.

In enkele gevalle is vrywatervlakke ook met kalkkreet en harde plintiet onder die sand van eoliese oorsprong geassosieer.

Seisoensveranderings in watervlakdiepte kom voor. Dit is die gevolg van variasie in reënval gedurende die verskillende seisoene. Die diepte van watervlakke word deur die oppervlak- en paleotopografie beïnvloed. Die huidige topografie is egter nie 'n weerspieëling van die paleotopografie nie. Laasgenoemde is golwend en water akkumuleer in laagliggende gebiede wat met die topografie van die paleo-oppervlak geassosieër word.

Styging van watervlakke as gevolg van oorvloedige reëns was tydelik. Daling was waarskynlik die gevolg van horisontale vloei bo die paleo-oppervlak en het verminder wanneer hierdie vloei beperk was deur die paleolaag se topografie.

Die taksonomiese Grondklassifikasiesisteen van Suid-Afrika (Macvicar, *et al.*, 1991) kan gebruik word om die aanwesigheid van vrywatervlakke in die ondersoekgebied te voorspel.

Uit die resultate wat weergegee is in hierdie hoofstuk, is dit duidelik dat ongeveer 160 000 hektaar in die noordwestelike O.V.S. periodiek deur die teenwoordigheid van freatiese vrywatervlakke getipeer word. Alvorens riglyne vir benutting van hierdie ondergrondse waterreserwes neergelê kan word, is dit nodig om inligting in te win oor die invloed van vrywatervlakke op gewasverbouing sodat die voorsiening van water aan plante gekwantifiseer kan word en die faktore wat dit beïnvloed geïdentifiseer word. Met hierdie doel in gedagte handel die volgende hoofstuk oor die resultate van 'n ondersoek na die kwaliteit van die water wat op die paleo-oppervlak akkumuleer.

HOOFSTUK 3

SAMESTELLING VAN VRYWATER

3.1. OORSIG

Die gebruiksimplikasies van grond met variërende vrywatervlakke kan grootliks beïnvloed word deur die water se chemiese samestelling, veral wat die moontlike teenwoordigheid van nadelige elemente òf voordelige plantvoedingstowwe betref. Dit was daarom nodig om die chemiese samestelling van die water te ondersoek.

Uit die data wat in Hoofstuk 2 verstrekkend is, is dit duidelik dat oortollige water in die ondersoekgebied dikwels deur goed gedreineerde sandgrond tot op die paleo-oppervlak vloei, vanwaar dit lateraal vloei na komme in die paleo-oppervlak. Die kationuitruilkapasiteit (KUK) van sanderige Clovelly- en Avalongronde in die Hoëveldstreek (insluitende die ondersoekgebied) is laag (Hattingh, 1986). Die gevolg is dat opgeloste ione wat nie deur plantwortel onttrek word nie, saam met vrywater kan beweeg om in komme op die paleo-oppervlak te akkumuleer.

Die ondersoekgebied is van die belangrikste mielie-produiserende gebiede in Suid-Afrika. Daar kan daarom verwag word dat toegediende plantvoedingstowwe en plaag- sowel as onkruidbeheermiddels waarskynlik in groot hoeveelhede teenwoordig kan wees. Bemestingstowwe is die mensgemaakte produk wat die grootste invloed uitoefen op die kwaliteit van vrywater (Freeze & Cherry, 1979). Die hoë hidrouliese geleidingsvermoë en lae KUK van die bogrond in die ondersoekgebied skep ideale toestande waaronder uitloging van plantvoedingstowwe kan plaasvind. In soortgelyke goed gedreineerde grond het Johnson, Ittihadieh, Daum & Pillsbury (1965) byvoorbeeld waargeneem dat 70 persent van toegediende stikstof uitgeloog het.

Alhoewel daar geen inligting oor die konsentrasie van ione in vrywater van die ondersoekgebied bestaan, dui 'n ondersoek deur du Preez & Burger (1986) op uitermate hoë konsentrasies NO_3^- op dieptes van $\pm 1\ 200$ mm in die sandgrond van die O.V.S.. Volgens laasgenoemde outeurs is daar gedurende droë seisoene voldoende stikstof in die ondergrond teenwoordig om kriterium van bemestingsriglyne te beïnvloed. In 'n onlangse ondersoek het Van der Walt & du

Preez (1991) vasgestel dat residuele nitraat in grond met planttyd 'n betekenisvolle bydrae tot gerealiseerde opbrengste van mielies in die noordwestelike O.V.S. lewer. Laasgenoemde outeurs het drumpelwaardes afgelei wat gebruik kan word om opbrengsreaksies met mielies te voorspel. Resultate verkry in hierdie ondersoek sal ook onder andere gebruik word om vas te stel of stikstofontledings van vrywater gebruik kan word om die huidige stikstofbemestingsriglyne in die noordwestelike O.V.S. te verfyn. 'n Verfyning van die huidige stikstofbemestingsriglyne sal lei tot 'n meer koste-effektiewe bestuur van stikstofbemesting.

Ten spyte van onvoldoende bewyse wat deur die literatuur verstrekkend word, dui die KUK en interne dreineringseienskappe van grond in die ondersoekgebied, tesame met verwagte bemestingspraktyke, op die teenwoordigheid van opgeloste ione in vrywater van die ondersoekgebied. Ten einde watervlakke as 'n potensiële bron van plantbeskikbare water te evalueer, word die resultate van 'n ondersoek na die water se kwaliteit en nitraat-inhoud gevolglik in hierdie hoofstuk weergegee.

3.2 MATERIAAL EN METODEDES

Die maandelikse akkumulering van stikstof en ander ione in vrywater bo die paleo-oppervlak is in water wat afkomstig is van waarnemingspunte 1, 2, 3, 6, 8, 10, 18, 20 en 24 ondersoek. Hierdie nege waarnemingspunte (Figuur 1) is gebruik omdat dit die posisies is waar permanent watervlakke gedurende die ondersoekperiode in piezometers wat twee meter diep geïnstalleer is, waargeneem was (Tabel 2). By elkeen van hierdie waarnemingspunte word swak gedreineerde kleileem deur goed gedreineerde sand van eoliese oorsprong oorlê. Vergelying, gemanifesteer in die teenwoordigheid van grys matrikskleure, kom in die nabye omgewing van die oorgangsones van die sandgrond na die klei voor (Tabel 1). By elkeen van die waarnemingspunte was mielies (*Zea mays* L.) aangeplant en 'n totaal van 50 tot 60 kg N ha⁻¹ was toegedien. Tydens aanplanting is 150 tot 180 kg 3:2:1 (32) ha⁻¹ gebandplaas en vier tot ses weke daarna is 80 tot 100 kg K.A.N. ha⁻¹ toegedien.

Watermonsters vanuit die piezometers by die verskillende waarnemingspunte is vir die doel van hierdie ondersoek gebruik:

- (i) Ten einde vas te stel of daar hoë konsentrasies ione in die vrywater voorkom en of die ione versouting en 'n alkalie-gevaar inhou, is die water geklassifiseer soos voorgestel deur Richards (1969) volgens soutinhoud en natriumadsorpsieverhouding (NAV). Die elektriese geleivermoë (EG) sowel as die konsentrasie Na^+ , Ca^{2+} en Mg^{2+} is bepaal volgens die metodes voorgestel deur Richards (1969).
- (ii) Akkumulاسie van stikstof in die versadigde sone bo die paleo-oppervlak, asook seisoensfluktuاسies in die konsentrasie stikstof, is gedurende die 1988/89-groeiseisoen ondersoek. Die konsentrasie nitraat en ammonium in die vrywater is tydens planttyd, gedurende die middel en aan die einde van die groeiseisoen bepaal. Nitraat-elektrodes en tegnieke soos beskryf deur Keeney & Nelson (1982), is vir die analise gebruik. Om omsetting van stikstof deur bakteriese aktiwiteit te voorkom, is die watermonsters met $0,1 \text{ mg l}^{-1}$ kwikchloried gepreserveer.

Ten einde vas te stel of beweging van stikstof in die ondersoekgebied tot in diepte plaasvind, is die konsentrasie nitraat en ammonium in ondergrondse watermonsters* van ses verspreide beskikbare boorgate bepaal. Die ligging van die boorgate word in figuur 1 aangedui. Die monsters is verkry nadat gekontameneerde water wat moontlik in die pype as gevolg van oppervlakafloop kon akkumuleer, uitgepomp was.

3.3 RESULTATE EN BESPREKING

Die konsentrasie ione, NAV en EG van water wat vanuit die piezometers by die onderskeie waarnemingspunte verkry is, word in tabel 3 gegee. Die gemiddelde konsentrasie Na^+ was $16,5 \text{ mg l}^{-1}$. Die afwyking van die gemiddeld was egter groot. Die EG varieër van 30 mS m^{-1} tot 96 mS m^{-1} met 'n gemiddeld van 56 mS m^{-1} . Alhoewel die konsentrasie Na^+ hoog was, was die NAV vanweë die teenwoordigheid van groot hoeveelhede kalsium en magnesium laag (0,2 tot 0,8). Die alkalie-gevaar, indien geklassifiseer volgens standarde vir besproeiingswater gestel deur Richards (1969), was dus laag, terwyl die soutgevaar medium tot hoog was (kyk Tabel 3). Volgens die norme gestel deur Richards (1969) is die water in die kategorieë C₂ S₁ en C₃S₁ verdeel. Daar moet in ag geneem word dat die ondergrond permanent met hierdie water versadig was, en dat kapillêre styging vanaf die versadigde ondergrond 'n voortdurende beweging van natrium en soute na die wortelsone tot gevolg kan hê.

*(Lys van verklarende terme)**

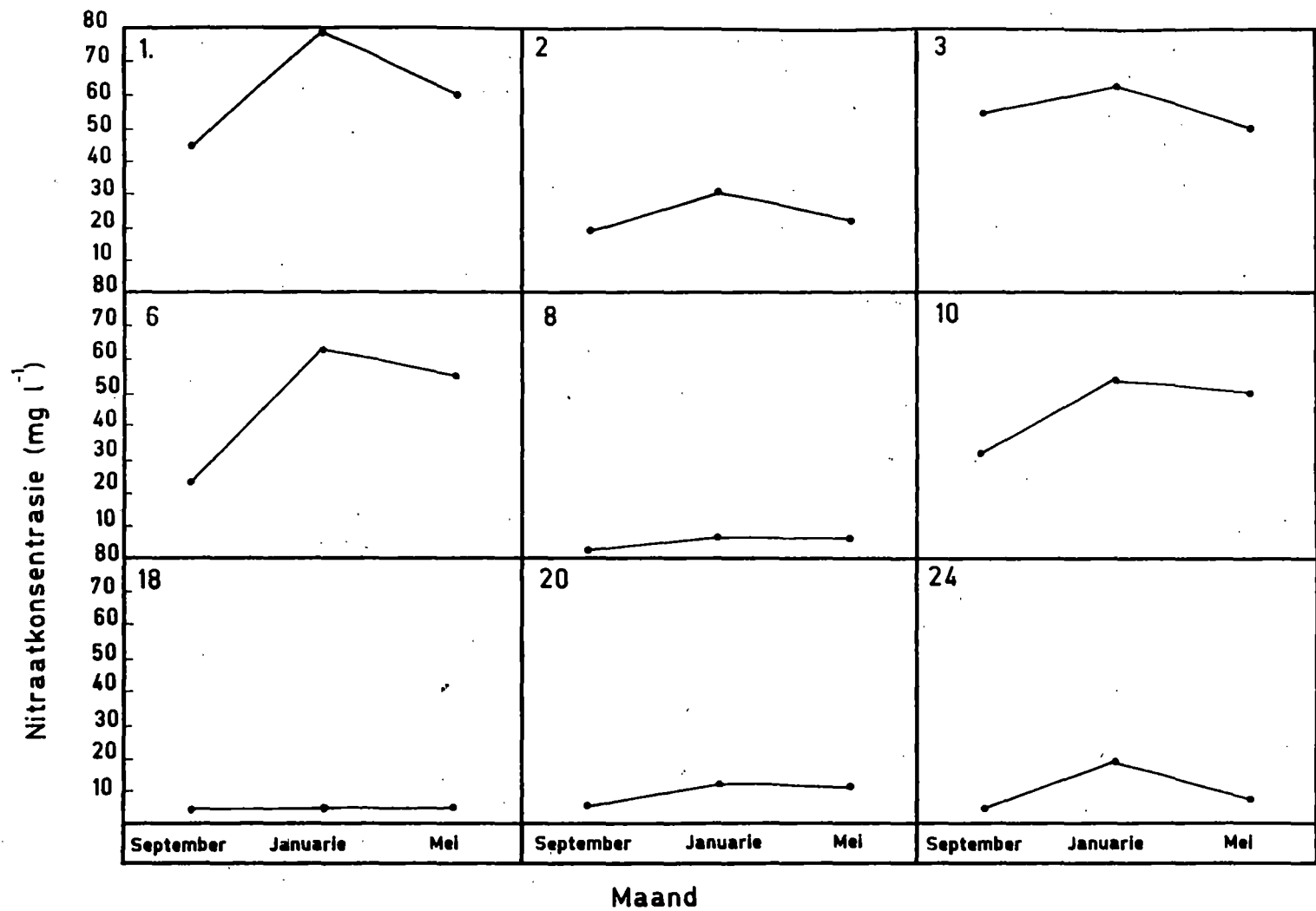
Volgens norme gestel deur Sonneveld & de Kreij (1986) sal die teenwoordigheid van hierdie water in die wortelzone nadelig vir soutgevoelige gewasse wees.

Tabel 3. Samestelling van vrywater in die ondersoekgebied gedurende Januarie 1989

WAARNE- MINGSPUNT	KATIONE (mg l ⁻¹)				ANIONE (mg l ⁻¹)		NAV	EG mSm ⁻¹	SOUT GEVAAR	ALKALIE GEVAAR	pH
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻					
1	6,5	8,9	6,7	< 1,0	12	80	0,4	30	Medium	Laag	5,4
2	10,0	12,0	13,9	< 1,0	15	30	0,7	42	Medium	Laag	5,5
3	10,7	9,7	5,8	< 1,0	21	64	0,3	32	Medium	Laag	5,6
6	24,9	31,7	9,7	< 1,0	25	64	0,3	75	Hoog	Laag	6,4
8	15,8	17,8	33,7	< 1,0	7	8	1,2	61	Medium	Laag	5,4
10	25,8	20,2	21,7	< 1,0	36	53	0,8	69	Medium	Laag	5,9
18	30,2	10,9	5,0	< 1,0	20	5	0,2	62	Medium	Laag	6,1
20	29,7	33,6	42,5	< 1,0	11	12	1,3	96	Hoog	Laag	6,5
24	11,7	10,7	9,7	< 1,0	15	18	0,3	40	Medium	Laag	6,5

Lae konsentrasies NH₄⁺ (< 1,0 mg l⁻¹) is waargeneem. Hierdie resultate is in ooreenstemming met dié van Du Preez & Burger (1986) wat slegs by 15 van 279 grondmonsters uit Transvaal en die O.V.S., geneem op dieptes van 1 200 mm, meetbare hoeveelhede NH₄⁺ waargeneem het. Die bydra van NH₄⁺ tot die hoeveelheid anorganiese stikstof in die vrywater blyk dus minimaal te wees. Dit kan moontlik aan die swakker oplosbaarheid van NH₄⁺, adsorpsie van NH₄⁺ op negatief gelaaide kolloïede en nitrifikasie van NH₄⁺ na NO₃⁻ in die goed deurlugte eoliese sand toegeskryf word. Die pH van die vrywater is laag (5 tot 6,5) en aangesien ammoniumvervlugting veral by hoë pH-waardes plaasvind (Botha & Pretorius, 1988), is dit onwaarskynlik dat omsetting van NH₄⁺ na ammoniakgas die rede vir die lae konsentrasies NH₄⁺ is.

Hoë konsentrasies NO₃⁻ (Figuur 9) is in die geval van die meeste monsters waargeneem. Die gemiddelde konsentrasie gedurende Januarie was 38,2 mg l⁻¹. Die hoogste konsentrasie NO₃⁻ (80 mg l⁻¹), is in water van waarnemingspunt een gemeet. Uit figuur 9 is dit duidelik dat die konsentrasie NO₃⁻ in die vrywater bo die swak deurlaatbare klei vanaf September 1988 tot Januarie 1989 toegeneem het. Hierdie toename was, soos aangedui in figuur 9, opgevolg deur 'n afname in konsentrasie.



Figuur 9. Nitraat(mg l⁻¹)in vrywater by waarnemingspunte 1,2,3,6,8,10,18,20 en 24 gedurende September 1988 , Januarie 1989 en Mei 1989

Hierdie ondersoek dui op 'n aantal faktore waaraan hierdie skommeling in konsentrasie NO_3^- toegeskryf kan word:

- (i) In die literatuur (Johnson *et al.*, 1965) is aangetoon dat loging van groot hoeveelhede stikstof, toegedien as bemesting, vanuit sand met 'n hoë hidrouliese geleivermoë moontlik is. 'n Aanduiding van die toename in stikstof in die versadigde sone bo die paleo-oppervlak, uitgedruk as 'n persentasie van die hoeveelheid stikstof toegedien tydens bemesting, word in tabel 4 weergegee. Die gemiddelde toename in stikstofinhoud (September 1988 tot Januarie 1989), in die vrywater bo die kleilaag, was 26,8 persent van die hoeveelheid toegedien stikstof. Indien hierdie toename die gevolg was van uitloging, het daar dus 26,8 persent van die toegedien stikstof uit die goed gedreineerde sand na die versadigde sone bo die paleolaag geloog.

Tabel 4 Toename van NO_3^- -N in vrywater bo die paleo-oppervlak vanaf September 1988 tot Januarie 1989

WAARNEMINGSPUNT	TOENAME VAN NO_3^- -N (%)	TOENAME UITGEDRUK AS 'N PERSENTASIE VAN DIE HOEWEELEHEID STIKSTOF TOEGEDIEN HEKTAAR ⁻¹ TYDENS BEMESTING
1	38,3	63,8
2	14,9	29,8
3	44,8	89,6
6	3,31	8,0
8	-	-
10	11,2	22,4
18	-	-
20	-	-
24	14	28

- (ii) Soos reeds bespreek onder afdeling 2.3.2, vloei water in die ondersoekgebied soms lateraal in grond van eoliese oorsprong op die paleo-oppervlak. Nitraat, wat hoofsaaklik in die grondoplossing voorkom (Barber, 1984), sal dus saam met water vanaf hoogliggende dele van die paleo-oppervlak beweeg, en in laagliggende posisies konsentreer. Verskille in die konsentrasie nitraat kan dus gedeeltelik aan laterale vloei, veroorsaak deur die paleotopografie, toegeskryf word.

- (iii) Die lae versadigde hidrouliese geleivermoë van die onderliggende kleierige verweringsprodukte (40- en 4 mm dag⁻¹ op dieptes van 500- en 1000 mm onder die paleo-oppervlak) dui daarop dat verliese van stikstof as gevolg van diepdreinerings deur die kleilaag minimaal is. Waar uitlopers van goed gedreineerde saproliet voorkom, kan dieper dreinerings van nitraat egter nie uitgesluit word nie.
- (iv) Volgens Poinke, Glotfelty, Lucas & Urban (1988) word waarneembare konsentrasies Atrazien (2-chloro-4-etielamino-6-isopropielamino-1, 2, 5-triasien) in vrywater geassosieër met Cl⁻ en NO₃⁻-N konsentrasies wat respektiewelik hoër as 3 mg l⁻¹ en 4 mg l⁻¹ is. Hoër konsentrasies Cl⁻ (kyk Tabel 3) was gedurende Januarie 1989 by al die waarnemingspunte waargeneem. Ongeveer 3 kg Atrazien ha⁻¹ word jaarliks algemeen in die ondersoekgebied vir beheer van onkruid toegedien. Verdere ondersoek moet ingestel word om vas te stel of 'n gedeelte van die NO₃⁻ en Cl⁻ in die vrywater nie afbraakprodukte van Atrazien kan wees nie.
- (v) Indien die grond van die ondersoekgebied instaat is om water vanaf die laagliggende gebiede op die paleo-oppervlak kapillêr na die wortelsone oor te dra, kan onttrekking van stikstof deur plante ook fluktuering in die konsentrasie stikstof in die vrywater tot gevolg hê. Die hoeveelheid anorganiese stikstof in vrywater word tot dusvêr nie in berekening gebring gedurende bemestingsaanbevelings in die noordwestelike O.V.S. nie. Indien die vrywater met hoë konsentrasies NO₃ kapillêr na die wortelsone kan beweeg, kan dit verreikende implikasies inhou. Dit kan tot gevolg hê dat beide die konsentrasie stikstof in die solum en die konsentrasie stikstof in vrywater, in berekening gebring moet word. Afhangende van die diepte van die watervlak en die kapillêre oordragvermoë van die grond kan die konsentrasie stikstof in die vrywater aansienlike besparing in die hoeveelheid stikstof wat jaarliks tydens bemestingsaksies toegedien word indien dit in berekening gebring word, teweegbring. Die kapillêre oordragvermoë van die grond in die ondersoekgebied word in die volgende hoofstuk bespreek.

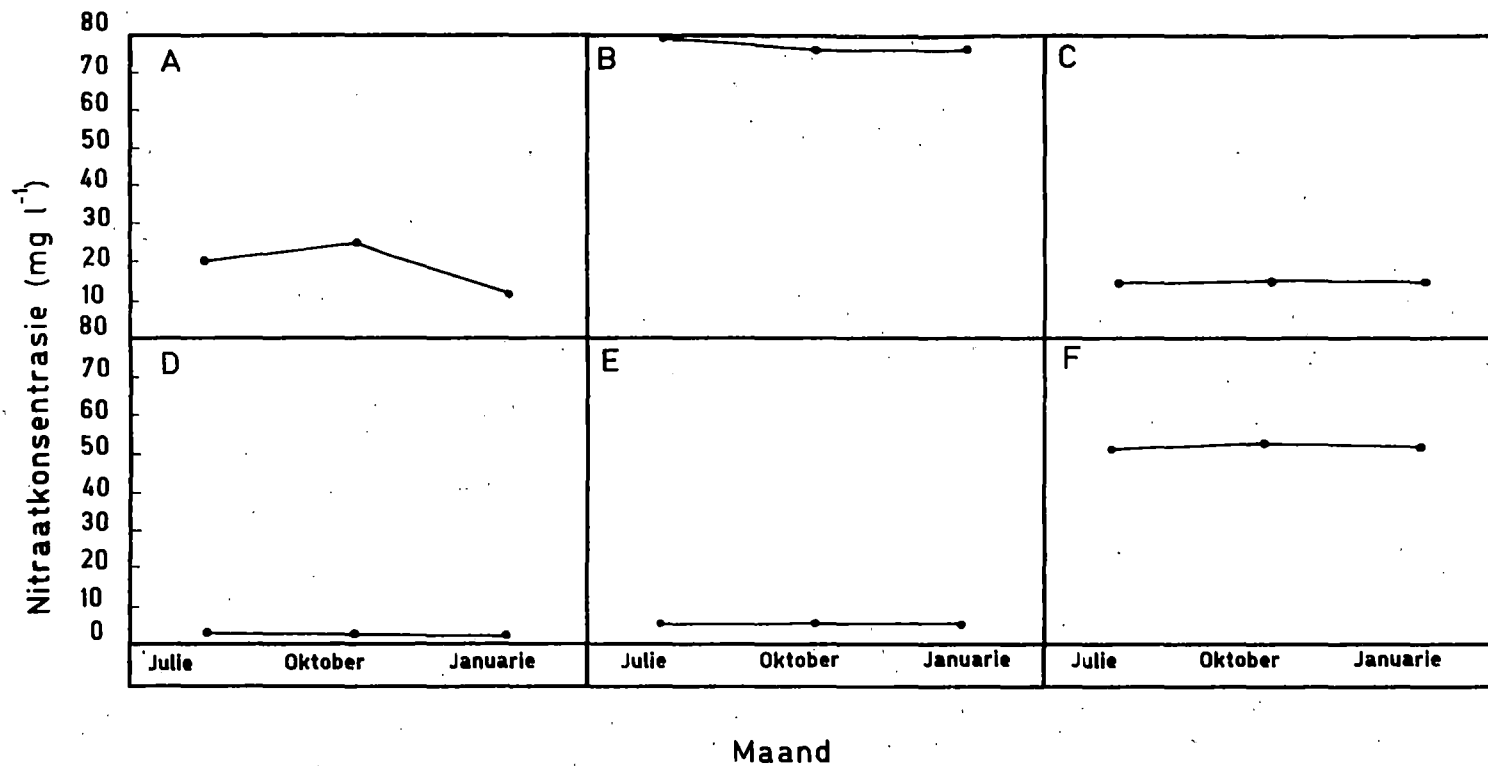
Onverwagte hoë konsentrasies nitraat was in boorgatwater waargeneem (Figuur 10). By twee van die boorgate was die nitraatkonsentrasie hoër as 45 mg l⁻¹. Hierdie konsentrasie word beskou as die maksimum toelaatbare konsentrasie vir dierlike gebruik (U.S. Environmental Protection Agency, 1973). Water uit drie van die ses

boorgate het meer stikstof bevat as die maksimum aanbevole konsentrasie van 6 mg l^{-1} vir drinkwater in Suid-Afrika (Pieterse, 1989). Indien hierdie hoë konsentrasies die gevolg is van bemesting kan die implikasies verreikend wees. Onoordeelkundige N-bemesting is duur omdat die stikstof uitloog en die watervlak kan bereik en sodoende die omgewing besoedel.

Die vraag wat ontstaan is op watter wyse beweging van die stikstof tot op so 'n groot diepte deur die swak gedreineerde kleileem plaasvind? Dit is moontlik dat beweging deur die goed gedreineerde sones wat volgens Eloff (1984) met uitlopers van dolerietplate geassosieër is, plaasvind. Dit moet egter in gedagte gehou word dat NO_3^- 'n anioon is en dat dit dus nie deur negatiewe ladings op klei geadsorbeer kan word nie. Diffusie deur die klei is 'n meganisme wat verantwoordelik mag wees vir die beweging.

Hierdie ondersoek dui daarop dat die kwaliteit van die vrywater in die ondersoekgebied sodanig is dat voortdurende kapillêre vloei van water vanaf die watervlak na die wortelsone, versouting tot gevolg kan hê. Die teenwoordigheid van groot hoeveelhede NO_3^- in die vrywater verlaag die bruikbaarheid vir mens en dier. Dit wil voorkom asof onoordeelkundige gebruik van bemestingstowwe en landbouchemikalië die hoë potensiaal landbougronde van die ondersoekgebied se geskiktheid vir verbouing van gewasse en gebruik deur die mens oor die langtermyn kan benadeel. Indien die kwaliteit van die vrywater verder verswak, kan die waarde van die grondwatervlak as potensiele waterbron vir gewasse tydens droogtes, verminder.

Indien die voedingselemente in die vrywater van die ondersoekgebied vir plante beskikbaar is, kan dit 'n belangrike bydrae tot produksie van mielies lewer. Anorganiese stikstof in die wortelsone is bykans geheel en al planttoeganklik en behoort waarskynlik gedurende bemestingaanbevelings in berekening gebring te word (Ris, Smilde & Wijnen, 1981).



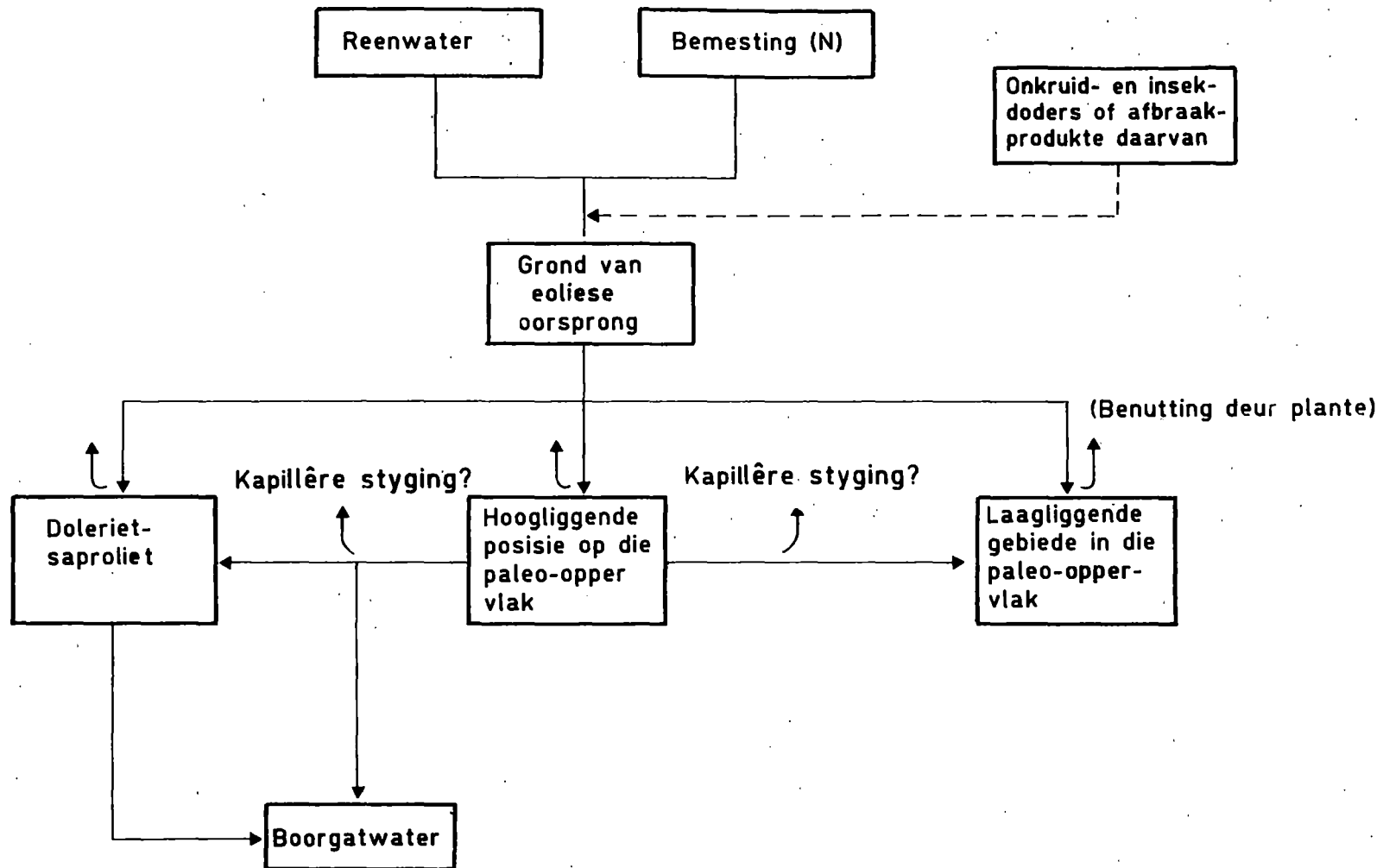
Figuur 10. Nitraat (mg l⁻¹) in ondergrondse water wat by waarnemingspunte A,B,C,D,E en F gedurende Julie 1989, Oktober 1989 en Januarie 1990 geneem is

Ten einde vas te stel of dit moontlik is om hierdie NO_3^- aan die wortelsone oor te dra, is dit nodig geag om die hoogte van die kapillêre styging bo die vrywatervlak te bepaal.

3.4 OPSOMMING

Die belangrikste uitvloeisels van die waarnemings wat in hierdie hoofstuk gerapporteer is, kan aan die hand van 'n skematiese voorstelling (Figuur 11) geïllustreer word. Opgeloste nitraat, afkomstig vanaf anorganiese bemestingstowwe, beweeg deur eoliese sand tot op diverse materiale van die paleo-oppervlak. Vanaf die hoogliggende posisies op die paleo-oppervlak vind horisontale vloei na laagliggende posisies plaas waar dit akkumuleer. Dit kan ook horisontaal na beter deurlaatbare sones vloei vanwaar diffusie kan plaasvind met die gevolg dat dit op groter dieptes akkumuleer. Ione in die vrywater kan ook moontlik versouting van die bogrond tot gevolg hê.

Kapillêre beweging van water, waarin opgeloste soute teenwoordig is, na die bogrond sal in die volgende hoofstuk aandag geniet.



Figuur 11. Diagrammatiese voorstelling van die paleo-oppervlak se invloed op beweging van water waarin opgeloste soute teenwoordig is

HOOFSTUK 4

KAPILLÊRE STYGHOOGTES

4.1 OORSIG

In die vorige hoofstukke is die teenwoordigheid van vrywater waarin 'n hoë konsentrasie stikstof en ander bestanddele voorkom met die paleo-oppervlak in die ondersoekgebied geassosiëer. Hierdie watervlakke kan slegs as 'n bron van plantbeskikbare water en stikstof dien indien die diepte van wortelindringing en hoogte van kapillêre styging* sodanig is dat die wortelsone deur water vanaf die watervlak benat word.

Uit die inligting wat in tabel 2 en figuur 7 verstrekkend en in Hoofstuk 2 bespreek word, is dit duidelik dat watervlakke in die ondersoekgebied soms tot digby die grondoppervlak voorkom. Die kapillêre grenssone bo sulke hoë watervlakke kan gemaklik deur mielieplante se wortels bereik word. Volgens Reicosky, Millington, Klute & Peters (1972) kan 'n klein hoeveelheid wortels in hierdie sone verantwoordelik wees vir opname van die grootste gedeelte van die water wat deur die plant gebruik word.

Watervlakke is egter dikwels veel dieper (kyk Tabel 2) met die gevolg dat die kapillêre grenssone slegs binne die bereik van goed ontwikkelde wortelstelsels sal voorkom. Uit die literatuur (Mallett, 1982; Henning, 1984; Mallett, *et al.*, 1985) is dit duidelik dat beperkende lae, gemanifesteer in die vorm van verdigte sones, wortelontwikkeling in die ondersoekgebied dikwels tot bewerkingsdiepte beperk en sodoende indringing van wortels na die ondergrond voorkom. Die hoogte wat water kapillêr vanaf watervlakke kan styg, bepaal die maksimum diepte wat 'n watervlak onder die wortelsone kan wees om as bron van plantbeskikbare water te dien (Hopmans & Immerzeel, 1988). Stuff & Dale (1978) het in goed gedreineerde slikleem waargeneem dat 'n watervlak, waarvan die diepte gedurende 'n droë periode van 1 000 mm tot 900 mm gedaal het, se bydra tot evapotranspirasie gedurende hierdie periode 22 persent was. 'n Verdigte laag op 'n diepte van 750 mm het indringing van mieliewortels na die ondergrond voorkom.

*(Lys van verklarende terme)**

Gedurende 'n soortgelyke ondersoek op 'n kleigrond het Ragab & Amer (1986) 'n daaglikse kapillêre vloeï van 4,33 mm vanaf 'n watervlak wat 680 mm diep is na 'n 450 mm diep stelsel van mieliewortels waargeneem.

Die hoogte van kapillêre styging word deur die geleidingeïenskappe van grond bepaal (Brandyk & Wesseling, 1985; Hopmans & Immerzeel, 1988). In profiele van die ondersoekgebied kom horisonte met verskillende geleidingeïenskappe voor. Die grond wat uit sand van eoliese oorsprong bo die kleierige verweringsprodukte van die onderliggende gesteentes ontwikkel het, het 'n eenvormige tekstuur (kyk Bylae 1) en het 'n hoë hidrouliese geleidingsvermoë. Onder die eenvormige sand kom nie-eenvormige swakker deurlaatbare sones voor. Uit die resultate wat weergegee is in hoofstuk 2, is dit duidelik dat hierdie sones hoofsaaklik uit kleileem bestaan, terwyl swak deurlaatbare sones in die vorm van nie-diagnostiese hardebank karbonaat horisonte en harde plintiet ook soms voorkom.

In gelaagde profiele kan verskeie modelle, gebaseer op Darcy se vloeivergelyking, gebruik word vir teoretiese berekening van kapillêre stygheightes (Brandyk & Wesseling, 1985; Memon, Madramootoo, Prasher & Broughton, 1986; Hopmans & Immerzeel, 1988). Die versadigde hidrouliese geleidingsvermoë en verwantskap tussen hidrouliese geleidingsvermoë en matrikspotensiaal van die horisonte bo die watervlak, moet bekend wees alvorens hierdie berekening gedoen kan word. Daar bestaan verskeie modelle wat gebruik kan word om laasgenoemde verwantskap te bepaal. Hierdie modelle maak hoofsaaklik gebruik van waterretensie-eïenskappe van grond en word ook bespreek deur Bouwer & Jackson (1974) en Brandyk & Wesseling (1985).

In hierdie gedeelte van die ondersoek is aandag gegee aan die vermoë van die grond van die ondersoekgebied om water kapillêr van 'n watervlak na die bogrond oor te dra.

4.2 MATERIAAL EN METODEDES

Vir die bepaling van kapillêre styging in sand en kleileem is grond afkomstig vanaf waarnemingspunte 1 en 14 gebruik. Die ligging van hierdie waarnemingspunte word in figuur 1 aangedui. Volgens die data weergegee in tabel 1 en Bylae 1 is die teksturele eienskappe van hierdie grond verteenwoordigend van dié by die meeste ander waarnemingspunte met hoë vrywatervlakke. Aangesien die teenwoordigheid van harde plintiet (waarnemingspunte 21 en 24) en nie-diagnostiese hardebank karbonaathorisonte (waarnemingspunte 10 en 11) ook soms, veral gedurende seisoene met 'n hoë reënval, met vrywater geassosiëer word (kyk Tabel 2), is kapillêre styging ook by hierdie vier waarnemingspunte ondersoek.

Soos voorgestel deur die literatuur (Brandyk & Wesseling, 1985; Memon, *et al.*, 1986; Ragab & Amer, 1986; Hopmans & Immerzeel, 1988) is die hoogte van kapillêre styging deur sand en kleileem teoreties bepaal deur gebruik te maak van Darcy se formule vir opwaartse vloei:

$$q = K(\Psi m) \left(\frac{d\Psi m}{dz} - 1 \right); \text{ waar}$$

q = die vloeddigtheid (mm dag⁻¹)

z = die hoogte bo die watervlak (mm)

Ψm = die matrikspotensiaal (kPa)

$K(\Psi m)$ = die hidrouliese geleivermoë (mm dag⁻¹) by 'n spesifieke matrikspotensiaal. Volgens Brandyk & Wesseling (1985) gee die metodes wat gebruik kan word om hierdie verwantskap te bepaal, nie ewe betroubare resultate. Die $K(\Psi m)$ verwantskap van die eenvormige eoliese sand en daaropvolgende laag kleileem, is gedurende hierdie ondersoek bepaal deur gebruik te maak van die Green & Corey-model (Luxmoore, 1973). Vir hierdie model word versadigde hidrouliese geleidingsvermoë en 'n grondwaterkenkromme benodig. Volgens Brandyk & Wesseling (1985), wat verskeie modelle vir bepaling van die $K(\Psi m)$ verwantskap geëvalueer het, kan laasgenoemde grondeienskappe met sukses gebruik word vir bepaling van hierdie verwantskap. Die versadigde hidrouliese geleivermoë van onversteurde grondmonsters is bepaal deur

middel van die vallende-hoogtetoets (Bowles, 1970), en grondwaterkenkrommes is verkry deur versadigde onversteurde monsters in 'n tempesel aan toenemende suigspannings te onderwerp.

Integrasie van die vergelyking gee:

$$\int_{z_1}^{z_2} dz = \int_{\psi_{m1}}^{\psi_{m2}} \frac{-1}{1+q/k(\psi m)} d\psi m$$

Deur gebruik te maak van laasgenoemde vergelyking met die watervlak as datavlak ($\psi m \text{ en } z = 0$), is vloeddigthede vir hoogte-inkremente van 25 mm bo die watervlak, bereken. Waar styging deur beide lae (sand en kleileem) plaasgevind het, is dz bepaal deur die vergelyking in integrale te verdeel:

$$z = - \int_0^{\psi_{m1}} \frac{d\psi m}{1+q/K_1(\psi m)} - \int_{\psi_{m1}}^{\psi_{m2}} \frac{d(\psi m)}{1+q/K_2(\psi m)}$$

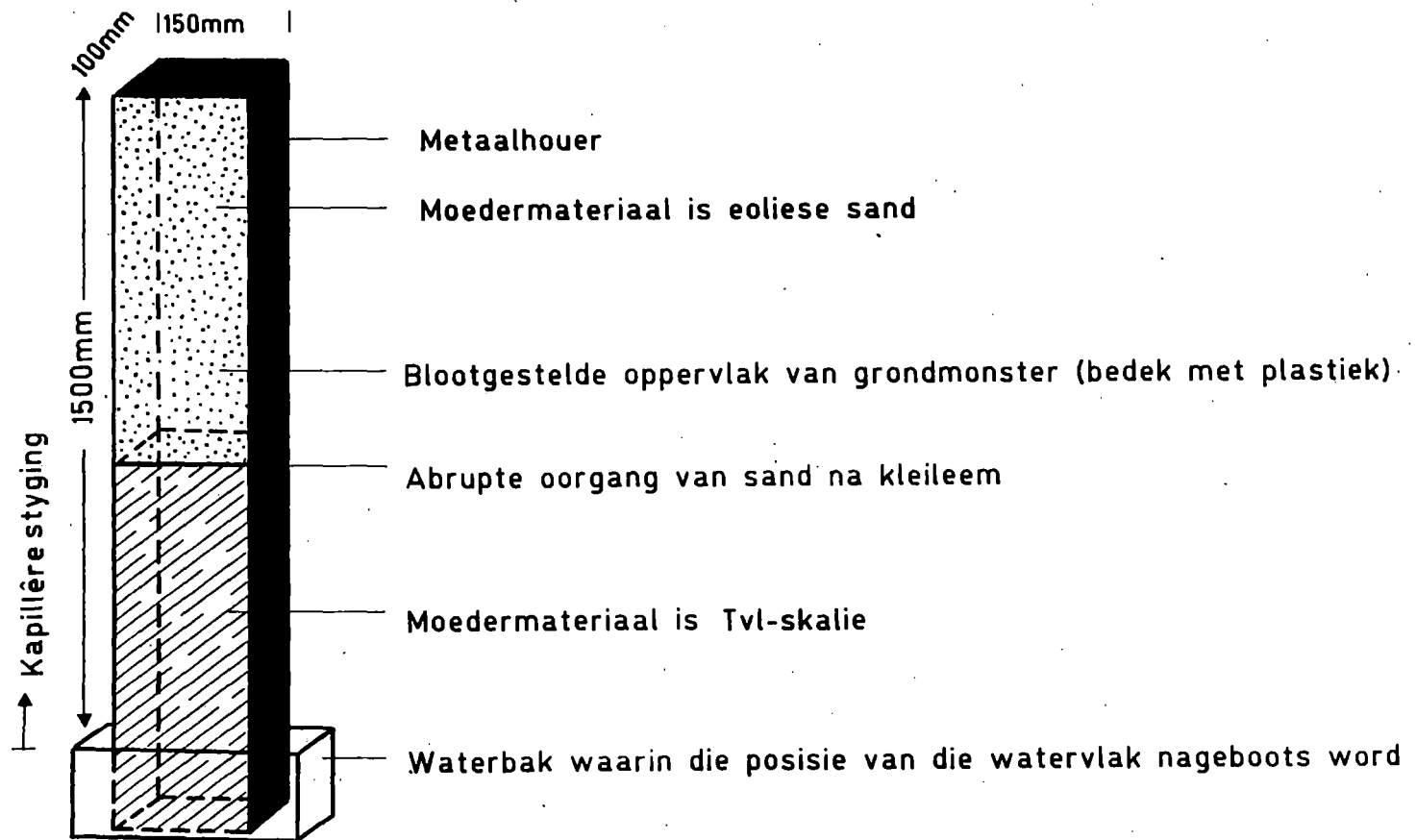
As gevolg van die hardheid en brokkelrigheid van die harde plintiet en kalkreet was dit nie moontlik om inligting vir hierdie materiale te verkry om die verwantskap $K(\Psi m)$ te bereken nie. Kapillêre stygheightes vir hierdie tipes materiale kan dus nie deur die toepassing van Darcy se vloeivergelyking bereken word nie.

Daar is ook gedurende die ondersoek gepoog om tegnieke te ontwikkel met behulp waarvan stygheightes onder so na as moontlik aan die natuurlike veldtoestande bepaal kan word. Ten einde hierdie doel te verwesenlik, is kapillêre styging vanaf 'n kunsmatig geïnduseerde watervlak deur onversteurde profiele ondersoek. In die geval van waarnemingspunte 1 en 14 (sand van eoliese oorsprong ooreël kleileem) is die ondersoek op onversteurde monoliete uitgevoer. Om te verseker dat alle horisonte in die profiel in ag geneem word, is monoliete vanuit ses verskillende dieptes gehaal. Vir elke diepte is vier monoliete, waarvan die vierde as 'n kontrole gedien het, gebruik. Vir verkryging van die monoliete is die oop ente van metaalbakke (1 500 mm X 150 mm X 100 mm) vertikaal teen profielwande geplaas. Die bakke is vervolgens met 'n hidroliese domkrag tot op 'n diepte van 100 mm (dit is die diepte van die bakke), in die profielwand gedruk.

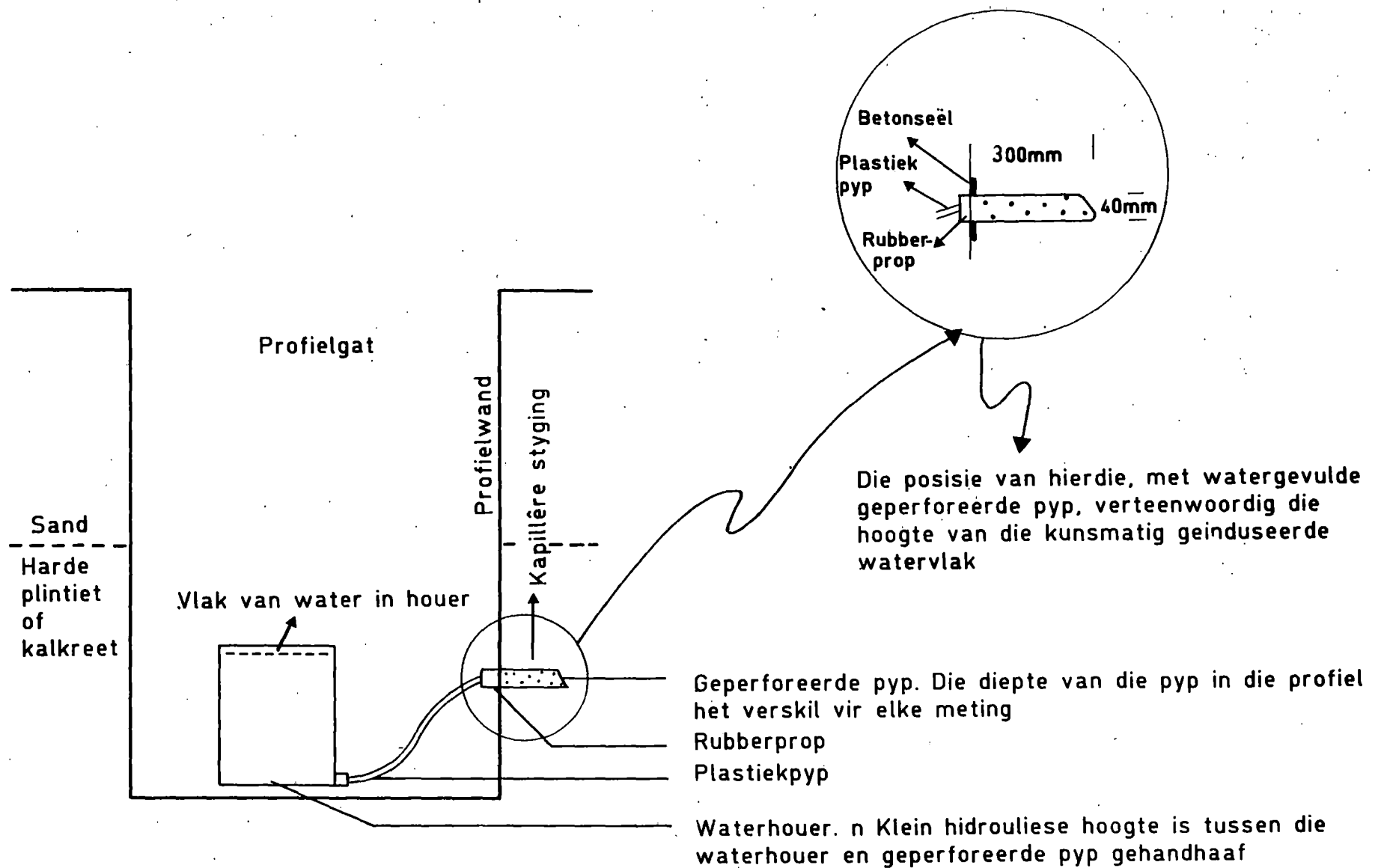
Voordat die monoliete verwyder is, was dit met 'n lem van die res van die profiel losgesny. Al die monoliete is by kamertemperatuur gedroog en met uitsondering van die kontroles is die onderkante in bakke met water geplaas. Verdamping is beperk deur die blootgestelde oppervlakke met plastiek te bedek. Die hoogte van kapillêre styging vanaf die watervlak kon visueel waargeneem word. Alhoewel dit aanvanklik voorkom asof 'n ewewig na ongeveer sewe dae bereik word, is finale waarnemings eers na 'n periode van 14 dae uitgevoer. Die gravimetriese waterinhoud en droë brutodigtheid, op 100 mm intervalle, is vervolgens bepaal. Die kluitmetode, soos beskryf deur Chancellor (1977), is gebruik vir bepaling van brutodigtheid. Die maksimum hoogte bo die watervlak waar 'n toename in volumetriese waterinhoud teenoor die betrokke monoliet se kontrole plaasgevind het, is as maksimum kapillêre styghoogte beskou. Die prosedure wat gevolg is, is skematies in figuur 12 geïllustreer.

As gevolg van die hardheid van harde plintiet en kalkreet was dit nie moontlik om versteurde monsters te bekom wat aan die lengte vir bepaling van kapillêre styghoogte voldoen het nie. 'n Gewysigde metode om kapillêre styghoogte deur hierdie materiale te bepaal, is gevolglik ontwikkel. Kapillêre styging is bo 'n watervlak wat kunsmatig in situ geïnduseer is, bepaal. Geperforeerde aluminiumpype is op verskillende dieptes horisontaal in onversteurde profielwande geïnstalleer. Hierdie pype was vir 'n periode van 14 dae met 'n waterbron verbind. 'n Lae hidrouliese hoogte is gehandhaaf. Verandering in volumetriese waterinhoud, op 100 mm intervalle bokant die pype, is bepaal. 'n Tekortkoming van dië tegniek is dat die profiele voor die bepaling droog en die natuurlike watervlak gevolglik diep moet wees. Die watervlak was tydens die ondersoek (Augustus 1986 in die geval van waarnemingspunte 3 en 24 en November 1989 in die geval van waarnemingspunte 10 en 11), dieper as 2 500 mm en die volumetriese waterinhoud van die plintiet en kalkreet was laer as 7 persent. Die prosedure word in figuur 13 geïllustreer.

Vir vergelyking tussen die twee tegnieke wat gebruik was om kapillêre styging in onversteurde profiele te bepaal, is kapillêre styging in drie kort monoliete van harde plintiet vergelyk met styging soos gemeet gedurende die bepaling wat in situ uitgevoer is. Monoliete is met 'n elektriese snylem uit profielwande gesny en sonder om dit te versteur in staalbakke geplaas. Aangesien alleen kort monoliete uit die plintiet



Figuur 12. Illustrasie van die monoliete wat gebruik is om kapillêre styging in sand en onderliggende kleileem te evalueer



Figuur 13. Diagrammatiese voorstelling van die metode wat gebruik is om kapillêre styging in harde plintieten kalkreet in situ te evalueer

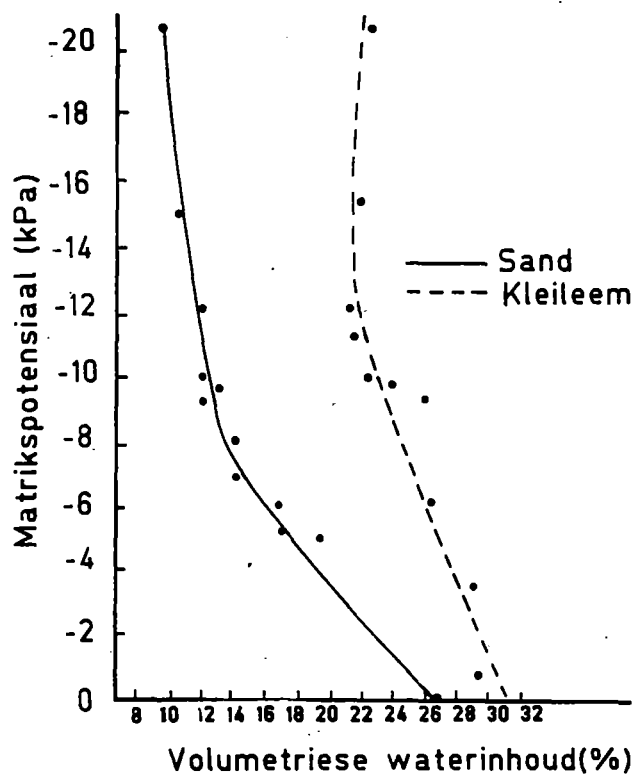
verkry kon word, was dit onmoontlik om maksimum styg hoogte te bepaal. Die tempo van styging tydens die eerste 6 uur nadat die watervlakke op die twee verskillende wyses bewerkstellig is, is met mekaar vergelyk. 'n Gemiddelde styging van 270 mm is na 6 ure verkry. Die maksimum afwyking van die gemiddeld was slegs 10 mm.

4.3 RESULTATE EN BESPREKING

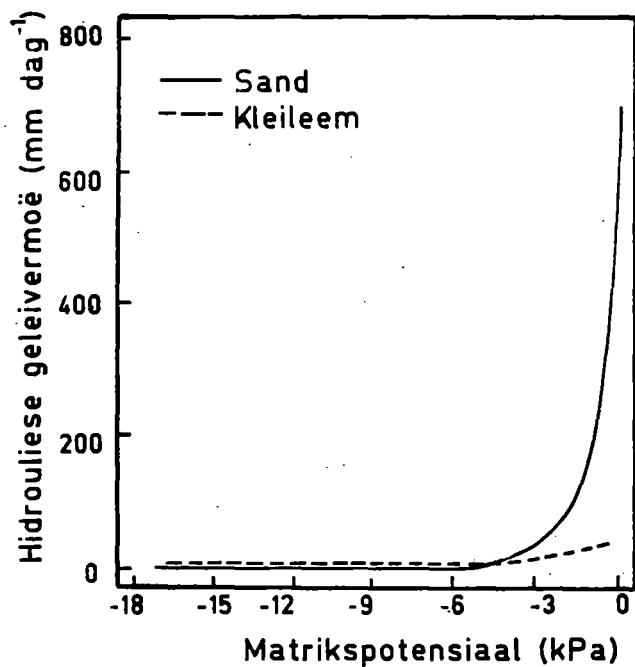
Figuur 14 is 'n voorstelling van grondwaterkenkrommes wat vir grond van die ondersoekgebied verkry is nadat versadigde onversteurde monsters in 'n tempesel aan toenemende suigspannings onderwerp was. Soos bepaal met behulp van die vallende-hoogtetoets is die versadigde hidrouliese geleivermoë van sand en kleileem van die ondersoekgebied respektiewelik 700 mm dag^{-1} en 40 mm dag^{-1} . Die $K(\Psi m)$ verwantskap, soos bepaal met behulp van inligting weergegee in figuur 14 en met in agneming van die versadigde hidrouliese geleivermoë, word in figuur 15 verstrekk.

Die hoogte van kapillêre styging vir verskillende vloeddighede in grond wat uit eoliese sand ontwikkel, bereken met behulp van Darcy se vloeivergelyking, word in figuur 16 aangedui. Die hoogte van kapillêre styging in nat grond met 'n klein matrikssuigspanning word grootliks deur klein veranderinge in matrikssuigspanning beïnvloed (Figuur 16). Dit is in teenstelling met droër grond met 'n groter matrikssuigspanning ($> 7 \text{ kPa}$) waar verdere verhogings in matrikssuigspannings nie verdere verhoging in die hoogte van kapillêre styging tot gevolg het nie. Hierdie bevinding is in ooreenstemming met die resultate verstrekk deur Brandyk & Wesseling (1985) en Ragab & Amer (1986) wat die hoogte van kapillêre styging bepaal het deur onderskeidelik gebruik te maak van metodes vir bepaling van die $K(\Psi m)$ verwantskap soos voorgestel deur Kunze, Vehara & Graham (1968) en Jackson (1972). Beide laasgenoemde metodes het, soos die metode van Green & Corey (Luxmoore, 1973) wat gedurende hierdie ondersoek gebruik was, die $K(\Psi m)$ verwantskap bepaal deur die grond se versadigde hidrouliese geleidingsvermoë en 'n grondwaterkenkromme as inset te gebruik.

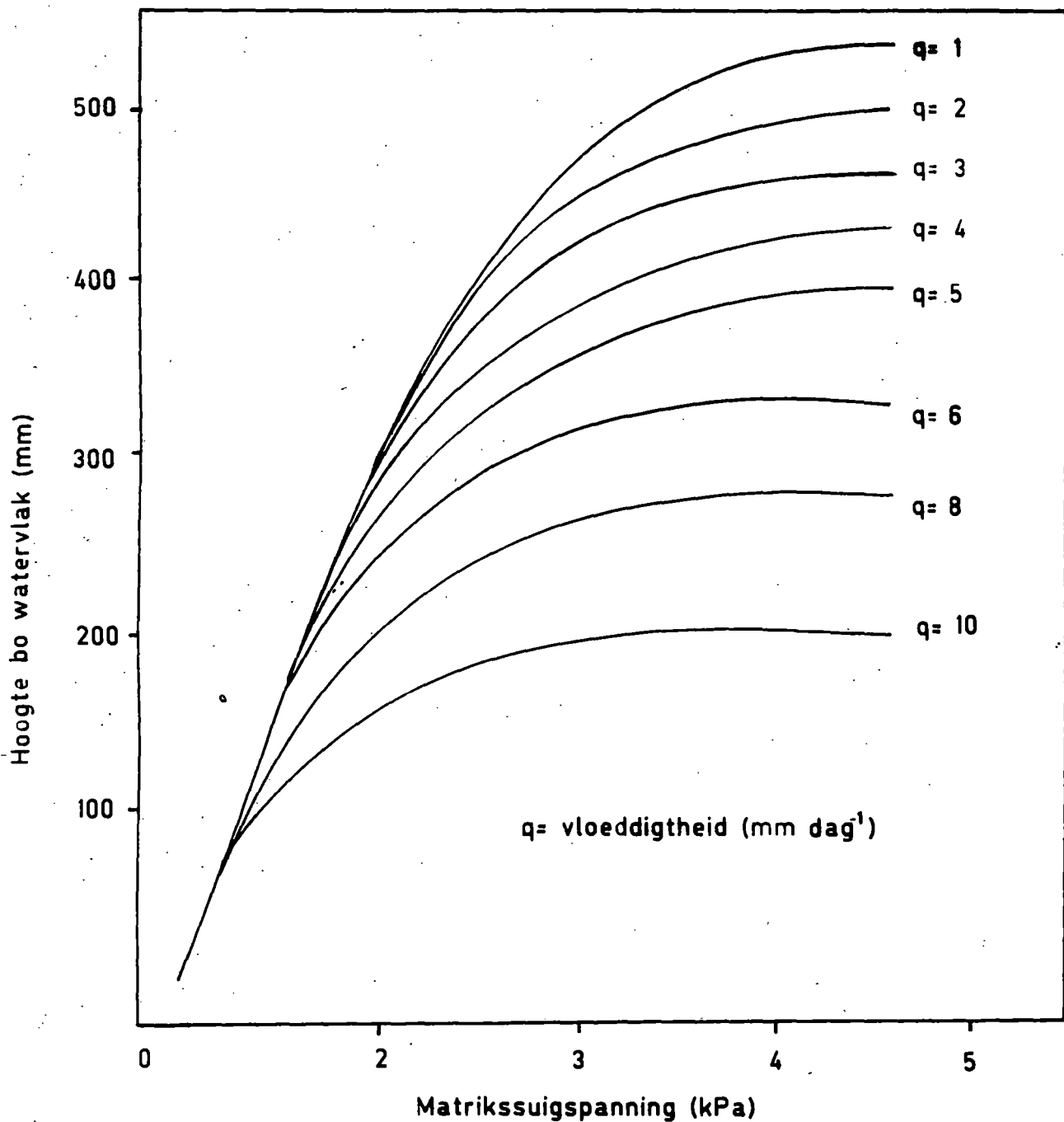
Die styg hoogte, soos aangedui in figuur 16, is in ooreenstemming met die hoogtes soos bepaal deur Brandyk & Wesseling (1985) vir eenvormige sand. Uit figuur 16 is dit duidelik dat in die geval van 'n watervlak op 'n diepte van 600 mm in sand van eoliese



Figuur 14. Grondwaterkenkrommes, soos bepaal met behulp van tipeselle, van sand en kleileem afkomstig vanaf die ondersoekgebied



Figuur 15. Die verwantskap tussen hidrouliese geleidingsvermoë en matrikspotensiaal vir sand en kleileem uit die ondersoekgebied

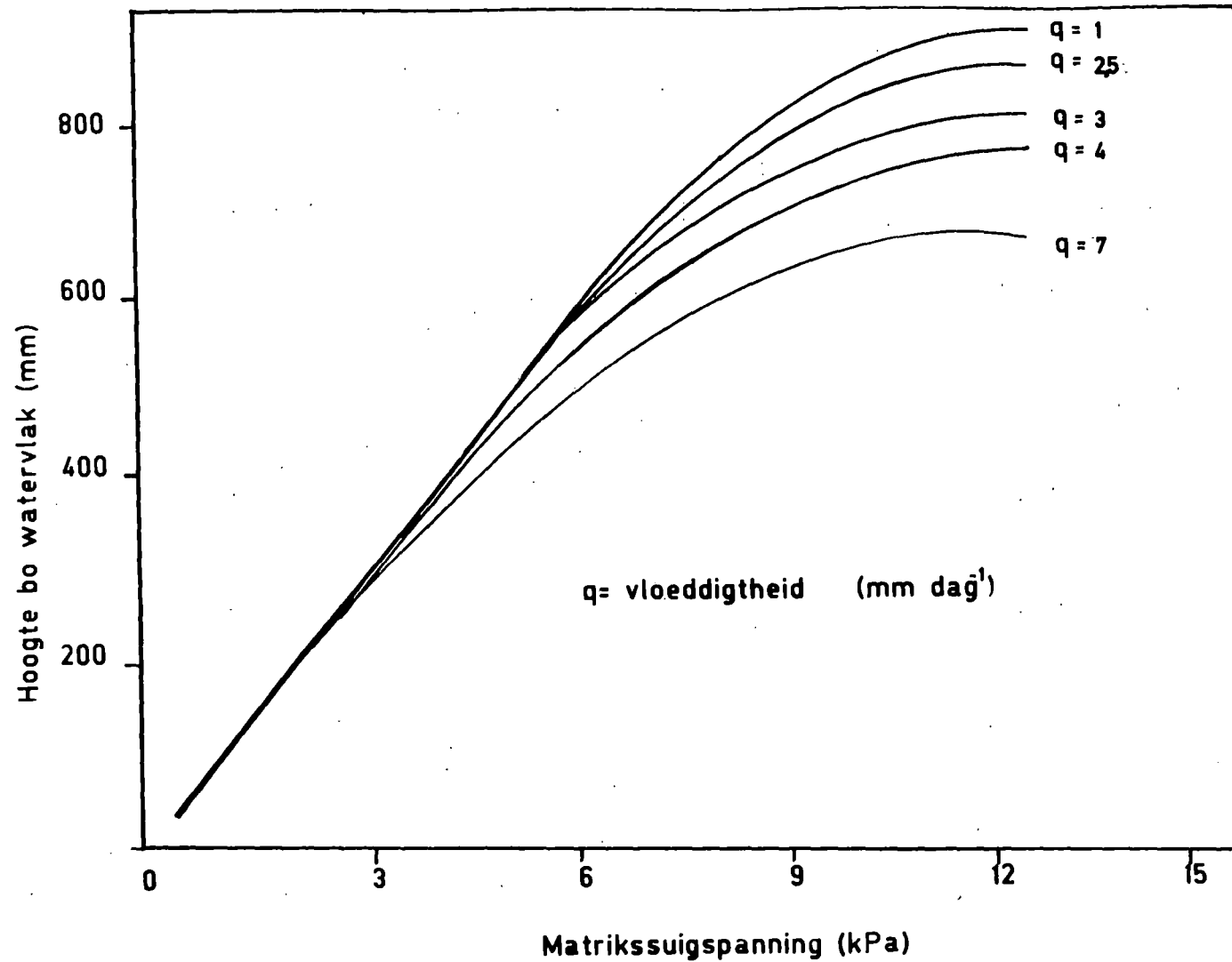


Figuur 16. Hoogte van kapillêre styging vir verskillende vloeddigthede, soos bepaal met behulp van Darcy se vloeivergelyking, in grond wat uit eoliese sand ontwikkel het

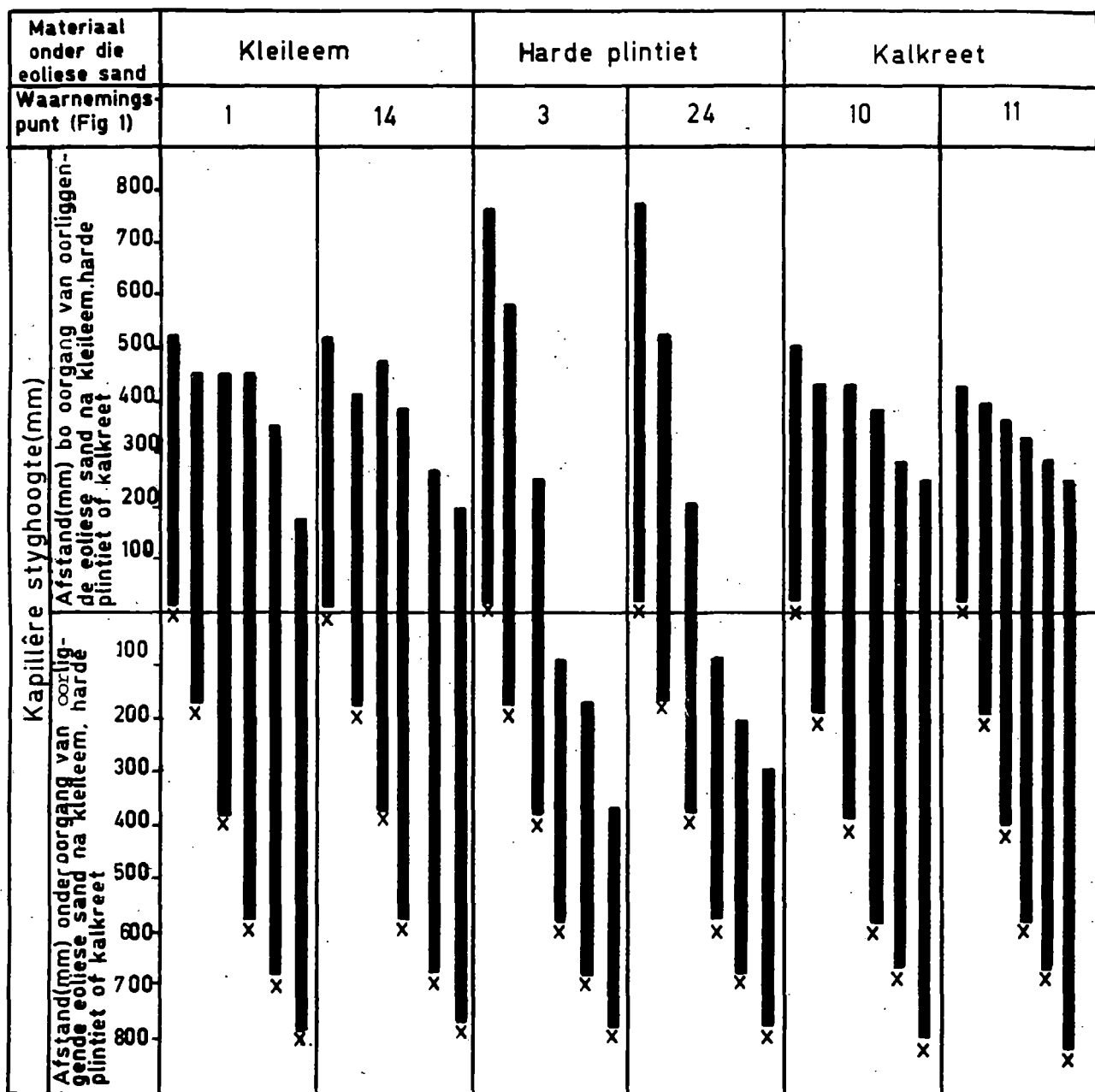
oorsprong, 1 mm water dag⁻¹ die grondoppervlak vanaf die watervlak kan bereik. Dit beteken dat, vir 'n konstante watervlak op 'n diepte van 600 mm, tot 1 mm water per dag deur evaporasie byvoorbeeld verlore kan gaan sonder dat die profiel uitdroog. Wanneer die watervlak styg, sal groter hoeveelhede water die grondoppervlak kan bereik. Met 'n watervlak op 'n diepte van byvoorbeeld 400 mm kon daar tot 4,5 mm water dag⁻¹ kapillêr van die watervlak na die grondoppervlak beweeg. Indien die diepte van die wortelsone bekend is, kan figuur 16 ook gebruik word om die hoeveelheid water wat kapillêr vanaf die watervlak na die wortels kan beweeg te bepaal. Gedurende die droë periode tydens Februarie 1987 kon daar byvoorbeeld 4,5 mm water dag⁻¹ vanaf die 900 mm diep watervlak (die diepte van die watervlakke by die verskillende waarnemingspunte gedurende Februarie 1987 word in tabel 2 aangetoon) by waarnemingspunt 1 na die diepte van grondbewerking (500 mm) beweeg het. Indien wortels slegs in die bewerkingsone voorkom, beteken dit dat die bydrae van die vrywatervlak tot 'n beraamde gemiddelde potensiële evapotranspirasie van 6 mm per dag (Green, 1985) soveel as 75 persent kan wees.

Die maksimum hoogte van kapillêre styging vir verskillende vloeddigthede wat bereken is met behulp van Darcy se vloei vergelyking, bo 'n watervlak wat 800 mm diep in 'n kleilaag onder die sandgrond is, word in figuur 17 gegee. Uit Figure 16 en 17 is dit duidelik dat hoër kapillêre styging in sand as in die geval van kleileem plaasvind wanneer die matrikssuigspanning klein is. By droër grond is die matrikssuigspanning hoër en die omgekeerde is waar. Die rede vir hierdie verskynsel kan in die verwantskap $K(\Psi m)$ gevind word. Volgens figuur 15, wat dieselfde tendens toon as wat in die literatuur (Nath & Singh, 1954; Gardner & Fireman, 1957) verskyn, is die hidrouliese geleidingsvermoë by lae matrikssuigspannings in sand hoër as in die geval van kleileem. Die gevolg is hoër kapillêre styging in sand. By groter matrikssuigspannings ($\Psi m > \pm 5 kPa$) is die omgekeerde waar met gevolglik hoër styging in kleileem.

Die hoogte van kapillêre styging wat in eoliese sand en kleileem in monoliete waargeneem is, word in figuur 18 aangedui. Die maksimum styg hoogte in kleileem was 950 mm en in eenvormige sand 550 mm. Uit figure 16 en 17 verteenwoordig hierdie



Figuur 17. Hoogte van kapillêre styging vir verskillende vloeddighede, soos bepaal met behulp van Darcy se vloeivergelyking, in kleileem wat oorlê word deur grond wat uit eoliese sand ontwikkel het



x-Verteenwoordig telkens die posisie van die watervlak

Figuur 18. Voorstelling van die invloed van onderskeidelik kleileem, harde plintiet en kalkreet op die hoogte van kapillêre styging in monoliete of in situ

hoogtes dié vlak waar 'n vloeddigheid van ongeveer 1 mm dag^{-1} sal wees. Deur toepassing van Darcy se vloeivergelyking is die hoogte van kapillêre styging dus ietwat hoër as wat die geval is in onversteurde monoliete. Aangesien vloeddighede van kleiner as 1 mm dag^{-1} slegs 'n geringe bydra tot die daaglikse potensiële evapotranspirasie kan bydra, kan dit egter aanvaar word dat die hoogte van kapillêre styging soos verkry deur toepassing van die twee metodes goed vergelyk.

Die hoogte van kapillêre styging in harde plintiet en kalkreot, wat in situ gemeet is, word in figuur 18 gegee. Die maksimum styghoogte van 1 500 mm in kalkreot dui op 'n groter kapillêre oordragvermoë as in die geval van die ander materiale. Die laagste kapillêre oordragvermoë was by harde plintiet gemeet waar die maksimum hoogte van kapillêre styging slegs 400 mm was. Indien die harde plintiet nie deur plantwortels binnegedring word nie, kan vrywater wat dieper as 400 mm in harde plintiet is dus nie deur plante benut word nie.

Volgens die resultate wat in Hoofstuk 3 (kyk Figuur 9) verstrekk is, is daar soms 'n hoë konsentrasie nitraat in vrywater direk bo die paleo-oppervlak. Nitraat is maklik oplosbaar in water en dit kan dus verwag word dat dit met saam water kapillêr vanaf die watervlak na die bogrond sal beweeg. Indien die vloeddigheid op 'n gegewe verwysingsvlak, asook die hoeveelheid $\text{NO}_3\text{-N}$ in die vrywater, bekend is, kan die hoeveelheid $\text{NO}_3\text{-N}$ wat met kapillêre water na die verwysingsvlak sal beweeg, bereken word. In Tabel 5 word die data wat benodig is vir hierdie berekening, asook die hoeveelheid $\text{NO}_3\text{-N}$ wat volgens die berekening daaglik saam met kapillêre water die bewerkingsone gedurende die waarnemingsperiode bereik het, weergegee. Die gemiddelde hoeveelheid $\text{NO}_3\text{-N}$ wat daaglik vanaf die watervlak na die bewerkingsone beweeg het, was $0,6 \text{ kg ha}^{-1}$. Die waargenome daling in die konsentrasie NO_3^- in die vrywater vanaf Januarie 1989 tot Mei 1989 (kyk Figuur 9), kan dus gedeeltelik aan opwaartse beweging van NO_3^- vanuit die versadigde ondergrond na die bogrond toegeskryf word. Aangesien daar 'n seisoensfluktuasie in konsentrasie NO_3^- in die vrywater (kyk Figuur 9) en in die diepte van die vrywatervlak (Tabel 2) waargeneem was, sal die hoeveelheid stikstof wat saam met kapillêre water vanaf die watervlak na die bogrond beweeg, ook fluktueer.

Tabel 5. Diffusietempo van stikstof vanaf die watervlak na die bewerkte sone

WAARNEMINGS-PUNT	HOOGTE VAN VRYWATER-VLAK (mm) GEDURENDE JANUARIE 1989	mg l ⁻¹ NO ₃ IN VRYWATER (KYK OOK Figuur 10) SOOS GEMEET GEDURENDE JANUARIE 1989	q (mm dag ⁻¹) OP 'N BEWERKINGSDIEPTE VAN 500 mm (q IS AFGELEES VANAF Figuur 17)	KG NO ₃ -N ha ⁻¹ WAT DAAGLIKS SAAM MET KAPILLÊRE WATER NÀ DIE BEWERKINGSONE BEWEEG HET
1	300	80	>10	1,8
2	500	30	>10	0,7
3	1 000	64	2	0,3
6	800	64	7	1,0
8	680	8	>10	0,2
18	900	5	4	0,04
20	400	12	>10	0,3
24	950	18	3	0,1

Die resultate wat in hoofstukke 3 en 4 verstrekk is, bevestig die aanname van Du Preez & Burger (1986) en Van der Walt & du Preez (1991) dat die konsentrasie stikstof in die ondergrond as 'n kriterium gebruik moet word tydens die opstel van bemestingsriglyne. Vir grond met hoë watervlakke word dit op die basis van resultate wat in hierdie ondersoek bekom is, aanbeveel dat die diepte van die vrywatervlak, diepte van die wortelsone en konsentrasie stikstof in die vrywater, bepaal moet word alvorens stikstof toegedien word. Die hoeveelheid stikstof wat sonder inagneming van hierdie riglyne toegedien sou word, moet verminder word met die hoeveelheid wat saam met kapillêre water na die wortelsone kan beweeg. Meer gereelde toediening van kleiner hoeveelhede stikstof sal minder uitloging van stikstof vanaf die bogrond na die ondergrond en beter benutting van die stikstof in die vrywater tot gevolg hê. Terselfdertyd sal die hoë konsentrasie NO_3^- in die vrywater verminder.

4.4 OPSOMMING

Die hoogte van kapillêre styging in sandgrond en kleileem is bereken deur toepassing van Darcy se vloeivergelyking en deur gebruik te maak van onversteurde monoliete. In die onversteurde monoliete was die maksimum styghoogtes in sand en kleileem onderskeidelik 550 mm en 950 mm. Dit is vergelykbaar met die hoogte waarop 'n vloeddigheid van 1 mm dag^{-1} deur toepassing van Darcy se vloeivergelyking bepaal is. Die maksimum hoogte van kapillêre styging vir verskillende vloeddighede in sandgrond en kleileem is grafies voorgestel. Hierdie grafieke kan, tesame met ander maklik bekombare inligting (konsentrasie N in vrywater, diepte van die vrywatervlak en diepte van die wortelstelsel), as kriteria vir die opstel van bemestingsriglyne dien.

Die hoogte van kapillêre styging in harde plintiet en kalkkreet is in situ bepaal. Die maksimum styghoogte in harde plintiet was 400 mm en in kalkkreet 1 500 mm.

Indien die diepte van wortelontwikkeling bekend is, kan die resultate verstrekk in hierdie hoofstuk handig gebruik word om die vrywatervlak as 'n potensiële bron van plantbeskikbare water te evalueer. Volgens die literatuur (Mallett *et al.*, 1985) word indringing van mieliewortels na ondergrondse waterreserwes egter dikwels deur

verdigting wat 'n algemene probleem in die grond van die ondersoekgebied (Koch, 1974) is, verhinder. Verdigting kan slegs deur toepassing van geskikte metodes van grondbewerking voorkom of opgehef word (Koch & Badenhorst, 1977). Alvorens die vrywatervlak as 'n potensiële bron van plantbeskikbare water en geassosiëerde ione geëvalueer kan word, en 'n evaluering van die invloed van vrywatervlakke op gewasproduksie gedoen kan word, is dit nodig om verdigting en bewerking van grond met hoë vrywatervlak te ondersoek. Die invloed van die teenwoordigheid van vrywatervlakke op verdigting sal in hoofstuk 5 aandag geniet.

HOOFSTUK 5

GRONDBEWERKING EN VERDIGTING

5.1 OORSIG

Uit die resultate wat in die voorafgaande hoofstukke bespreek is, is dit duidelik dat vrywater in die ondersoekgebied as 'n potensiële bron van water vir plante met goed ontwikkelde wortelstelsels kan dien. Plante kan hierdie water egter slegs ten volle benut indien die ontwikkeling van wortels nie deur verdigte lae benadeel word nie. Volgens Koch & Badenhorst (1977) is verdigting 'n algemene probleem in landbougrond in die Hoëveldstreek, insluitende hierdie ondersoekgebied. Volgens hierdie outeurs kan hierdie probleem slegs deur toepassing van korrekte metodes van bewerking voorkom of opgehef word.

Ontwikkeling van plante kan in 'n groot mate deur hoë brutodigtheid van grond beperk word. Lae mielie-opbrengste in die O.V.S. as gevolg van verdigting is gerapporteer deur Du Preez, Burger & Bennie (1980); Bennie, Botha & Ferreira (1982); Botha & Bennie (1982) en Mallett *et al.* (1985). Verdigting van sandgrond in die O.V.S. het 'n afname in wortelontwikkeling (Bennie & Burger, 1981) tot gevolg. Beperkte wortelontwikkeling is onder andere die nadelige invloed van hoë digtheid op deurlugting (Grable, 1971), beweging en mineralisering van plantvoedingstowwe (Kemper, Stewart & Porter, 1971) asook wortelpenetrasie.

Verskeie regressievergelykings (Bodman & Constantin, 1965; Van Der Watt, 1969; Moolman & Weber, 1978; Henning, Nel & Harmse, 1986; Bennie & Burger, 1988) kan gebruik word om maksimum brutodigtheid uit deeltjiegrootte-eienskappe en waterinhoud te voorspel. Van Huyssteen (1989) het 'n model opgestel met behulp waarvan digtheid van grond wat in 'n ewewigstoestand in die veld verkeer en waarvan die deeltjiegrootteverspreiding, lug tot water permeabiliteit en breukmodulus bekend is, voorspel kan word.

Die mate waartoe grond kan verdig en die weerstand wat dit teen verdigting kan bied, word in 'n groot mate deur die waterinhoud bepaal (Soehne, 1958). Aangesien 'n fluktuierende watervlak fluktuasie in die waterinhoud van die bogrond tot gevolg kan hê, kan dit 'n faktor wees wat die omvang van verdigting tydens bewerking, beïnvloed.

Die waterinhoud van grond het verder ook 'n invloed op die mate van verdigting wat 'n spesifieke verdigtingspoging tot gevolg sal hê (Freitag, 1971; Harris, 1971). Soos wat die klei-inhoud toeneem word die invloed van waterinhoud op die verdigtingspoging progressief duideliker (McKyes, Sternshorn & Bousquet, 1980; Henning *et al.*, 1986). Henning *et al.* (1986) het deur gebruik te maak van regressievergelykings, die invloed van waterinhoud op verdigting van sandgrond in die Hoëveldstreek voorspel. Hierdie regressievergelykings was verkry deur toepassing van die Proctor-metode van verdigting. Aangesien hierdie verwantskap deur die verdigtingspoging beïnvloed word (Larson, Gupta & Useche, 1979) is die vergelykings van Henning *et al.* (1986) dus slegs van toepassing vir die gekontroleerde toestande waaronder die eksperiment uitgevoer is.

Koch & Badenhorst (1977) en Mallett *et al.* (1985) stel skeurploegbewerkings op die plantry as 'n standaard grondvoorbereidingstegniek vir die maklik verdigbare sanderige grond in die O.V.S. voor. Verhoogde opbrengste was gerapporteer nadat skeurploegbewerkings toegepas was. Bewerking van nat sandgrond in die O.V.S. met skeurploë kan egter volgens Henning (1984) as gevolg van skuifskuurvervorming en deur uitoefening van druk, verdigting tot gevolg hê.

5.2 VERWANTSKAP TUSSEN WATERINHOUD EN VERDIGTING

5.2.1 Inleiding

Uit die voorafgaande bespreking is dit duidelik dat bewerking wortelontwikkeling beïnvloed en 'n belangrike invloed kan uitoefen op benutting van ondergrondse waterreserwes. Aangesien eksperimente onder gekontroleerde toestande in die laboratorium daarop dui dat die mate van verdigting grootliks bepaal word deur die omvang van die verdigtingspoging (Larson *et al.*, 1979) en die grond se

waterinhoud (Freitag, 1971; Harris, 1971), is dit nodig om gedurende hierdie gedeelte van die ondersoek die invloed van waterinhoud op verdigting in situ te evalueer.

5.2.2 Materiaal en metodes

Die invloed van waterinhoud op verdigting, wat die gevolg is van normale bewerkingspraktyke, is op 'n verteenwoordigende fynsandgrond met 'n klei-, slik-, fynsand-, mediumsand- en growwesand inhoud van onderskeidelik 5, 1, 69, 22 en 1 persent, ondersoek. Die grond van die terrein waar die ondersoek uitgevoer is se korrelgrootteverspreiding word volledig in Bylae 1 (waarnemingspunt 10) beskryf.

Nege persele van 10 m^2 ($5 \times 2 \text{ m}$) is met variërende hoeveelhede water benat. Elke perseel is 24 uur na benatting tot op 'n diepte van 800 mm bewerk. 'n Enkeltandskeurploeg met 'n 600 mm diep vlerkskaar is gebruik. Dit is 'n bewerkingsimplement wat algemeen deur landbouers in die omgewing gebruik word. Die doel hiervan was om enige bestaande verdigting in die bogrond op te hef. Dit het die bykomende voordeel gehad dat grond in so mate vermeng word dat enige benattingsfront wat as gevolg van die kunsmatige benatting kon ontstaan, onderbreek is. Ten einde die invloed van bewerking by verskillende waterinhoude op verdigting te ondersoek, is elke perseel na die primêre bewerking tot op 'n diepte van 300 mm vyf keer agtereenvolgens met die skeurploeg bewerk. Grondsterkte, wat met behulp van 'n kegelpenetro-meter gemeet is, en gravimetriese waterinhoud is onmiddellik voor en na die vyf bewerkings in drie lokaliteite in die bewerkingsry van elke perseel op 50 mm diepte-intervalle tot op 'n diepte van 600 mm bepaal.

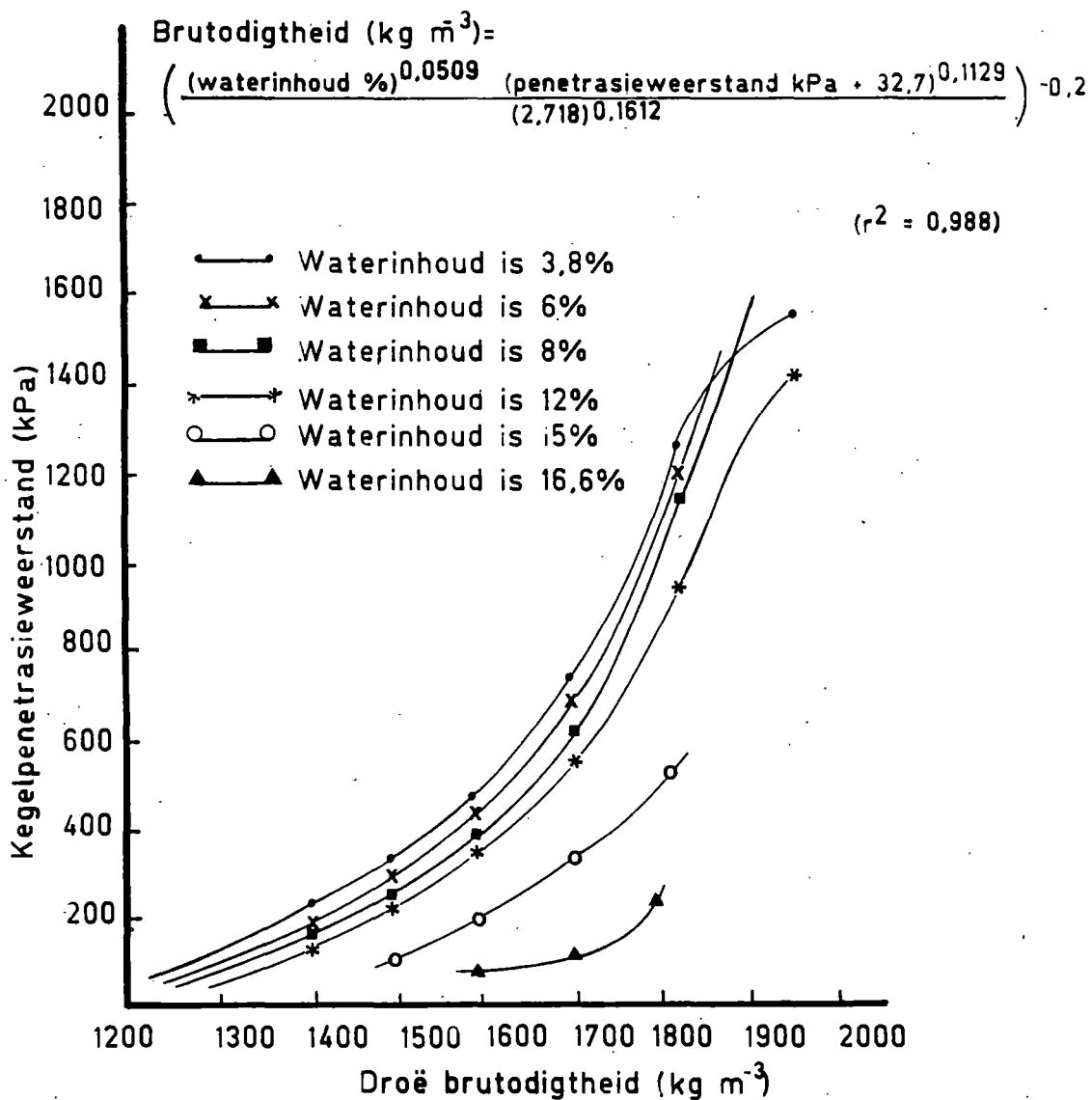
Die penetrometer (Broekman, 1982) is volgens voorskrif vir grond van die ondersoekterrein gekalibreer. Die kalibrering is uitgevoer sodat penetrasieweerstande (kPa) by verskillende waterinhoude na droë brutodigtheid (kg m^{-3}) omgerekon kon word. Penetrasieweerstande is by ses verskillende digthede en elke digtheid by ses verskillende waterinhoude bepaal. Met enkele uitsonderinge na is die tegniek soos voorgestel deur Bennie & Burger (1988)

gebruik. Hierdie outeurs het grondmonsters tot spesifieke digthede gekompakteer, versadig en daarna op 'n drukplaat tot verlangde waterinhoud gelaat om te dreineer. Gedurende hierdie ondersoek het dit na vore gekom dat versadiging verdere konsolidasie by sommige monsters tot gevolg gehad het. Die gevolg is dat die finale digtheid op daardie moment waartydens die penetrasieweerstand bepaal word, onbekend is. Om die effek van versadiging op verdigting uit te skakel, is verskillende waterinhoud verkry deur variërende hoeveelhede water met oonddroë grond te meng en dan te kompakteer. Die effek van versadiging op verdigting van sand van eoliese oorsprong word in afdeling 5.5 volledig bespreek.

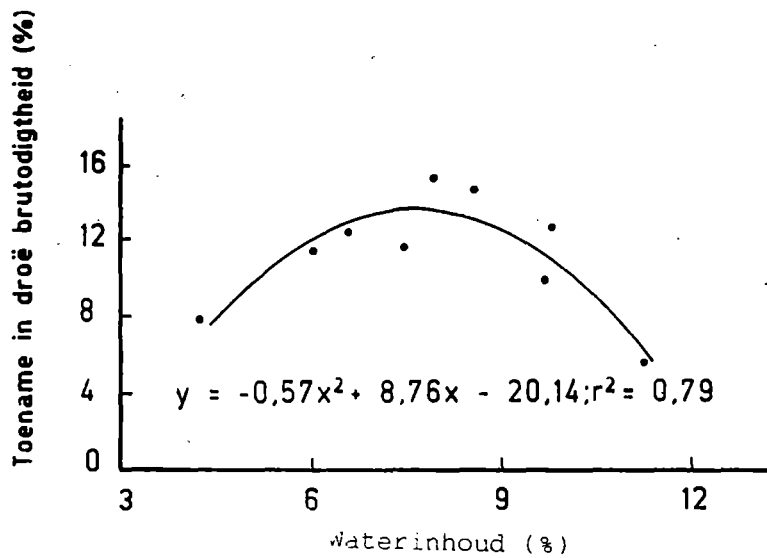
5.2.3 Resultate en bespreking

Figuur 19 is 'n grafiek waarin die verwantskap tussen penetrasieweerstand en waterinhoud by verskillende relatiewe brutodigthede en penetrasieweerstande en relatiewe brutodigtheid by verskillende waterinhoud, gegee word. Die penetrasieweerstand neem toe met toename in brutodigtheid en afname in waterinhoud. Die invloed van brutodigtheid op penetrasieweerstand is veral opsigtelik by lae waterinhoud. Indien die waterinhoud toeneem, word die penetrasieweerstand progressief minder deur die brutodigtheid beïnvloed. Dit stem ooreen met die resultate van Bennie & Burger (1988) wat die onderlinge verwantskap tussen waterinhoud, penetrasieweerstand en brutodigtheid in gronde van verskillende tekstuurklasse ondersoek het.

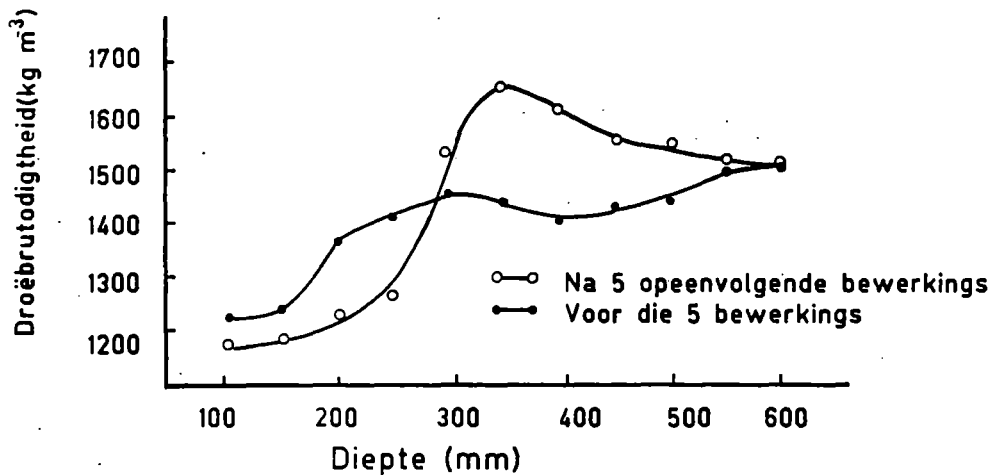
'n Toename in droë brutodigtheid direk onder die bewerkingsdiepte is by al die persele waargeneem. In figuur 20 word die relatiewe toename in droë brutodigtheid: $\frac{\text{digtheid}(na) - \text{digtheid}(voor)}{\text{digtheid}(voor)} \times 100$ wat die gevolg is van opeenvolgende bewerkings met 'n enkeltandskeurploeg by verskillende waterinhoud, getoon. Die omvang van verdigting is, in ooreenstemming met bevindinge van onder andere Soehne (1958), deur die homogene grond se waterinhoud bepaal. 'n Maksimum toename in droë brutodigtheid (13,6 persent) het by 'n kritiese waterinhoud van 7,7 persent plaasgevind. Die toename in digtheid was minder by hoër en laer waterinhoud (Figuur 20).



Figuur 19. Verwantskap tussen waterinhoud, brutodigtheid en penetrasieweerstand vir grond (aangedui as waarnemingspunt 10 in Figuur 1), wat uit eoliese moedermateriaal ontstaan het



Figuur 20. Toename in relatiewe droë brutodigtheid op bewerkingsdiepte wat vyf skeurploegbewerkings op grond met verskillende waterinhoude tot gevolg gehad het. (Die ondersoek is uitgevoer by waarnemingspunt 10)



Figuur 21. Die invloed van vyf skeurploegbewerkings op verdigting van n fynsandgrond met n waterinhoud van 8,6 persent op die bewerkingsdiepte (300mm). (Die ondersoek is uitgevoer by waarnemingspunt 10)

Dieselfde tendens soos wat voorheen vasgestel is deur Henning *et al.* (1986), is ook hier waargeneem. Volgens laasgenoemde outeurs sal sandgrond met 'n identiese klei-inhoud as die van die ondersoekgebied by 'n waterinhoud van 7,7 persent deur toepassing van die Proctor-metode van verdigting (Bowles, 1970) ook optimaal verdig.

In figuur 21 (bladsy 59) word die verandering in brutodigtheid as gevolg van bewerking van die perseel waar die waterinhoud 8,6 persent (slegs 0,9 persent hoër as die optimum) was, grafies voorgestel.

Die vyf agtereenvolgende bewerkings het die digtheid van die bogrond verlaag, maar die vorming van 'n verdigte laag, met 'n dikte van ongeveer 250 mm, direk onder bewerkingsdiepte veroorsaak. In die verdigte laag het die droë brutodigtheid met nagenoeg 200 kg m^{-3} toegeneem.

Hierdie resultate bevestig die aanname van Henning (1984) dat bewerking met 'n enkeltandskeurploeg verdigting van sandgrond in die noordwestelike O.V.S. tot gevolg kan hê. Uit die resultate is dit egter duidelik dat die gevaar van verdigting verminder of voorkom word indien waterinhoude hoër of laer is as die optimum. In die teenwoordigheid van hoë vrywatervlakke is bewerking by 'n laer waterinhoud as die optimum egter uiteraard dikwels onmoontlik. In gebiede wat gekenmerk word deur die teenwoordigheid van uitermate hoë watervlakke is bewerking gedurende die droë wintermaande, wat volgens inligting in tabel 2 en figuur 5 gekarakteriseer word deur dieper watervlakke as in die geval van die natter somermaande, wenslik. Bewerking by lae waterinhoude is onder hierdie toestande moontlik met die gevolg dat verdigting waarskynlik verhoed kan word.

5.3 BEWERKING MET VERSKILLENDE Tipes SKEURPLOË

5.3.1 Inleiding

Bewerking met skeurploë word in die literatuur (Koch & Badenhorst, 1977; Mallett *et al.*, 1985) vir die sandgrond van die ondersoekgebied aanbeveel.

Uit die resultate wat in afdeling 5.2 weergegee is, is dit duidelik dat bewerking met die spesifieke skeurploeg wat normaalweg deur landbouers in die omgewing gebruik word, verdigting van nat grond tot gevolg kan hê. Daar is egter tans verskeie ander tipes skeurploë beskikbaar en gevolglik was dit nodig om die effektiwiteit van bewerking met verskillende tipes skeurploë op verdigting te evalueer.

5.3.2 Materiaal en metodes

Onderzoek is ingestel na die relatiewe invloed van bewerking met verskillende ontwerpe van skeurploë op verdigting in die profiel. Die volgende drie tipes implemente (soos diagrammaties voorgestel in Figuur 22a) was gebruik:

- (i) 'n Enkeltandskeurploeg sonder enige skaar.
- (ii) 'n Drietandskeurploeg sonder skare. Die tande is 300 mm gespasiëer.
- (iii) 'n Enkeltandskeurploeg met 'n vlerkskaar 300 mm wyd onder aan die tand.

Navrae by verskeie landbouers van die ondersoekgebied het daarop gedui dat laasgenoemde tipe implement die algemeenste gebruik word. Die ander twee tipe implemente word egter ook dikwels vir bewerking van grond in die omgewing aangewend.

Ten einde vas te stel of grond se waterinhoud 'n faktor is, is hierdie gedeelte van die ondersoek uitgevoer by twee waarnemingspunte (10 en 17) met verskillende waterinhoude in die bogrond. Die ligging van hierdie waarnemingspunte word in figuur 1 getoon en die teksturele eienskappe van grond by die waarnemingspunte word in Bylae 1 gegee. Die grond (0-800 mm) van die twee terreine se teksturele eienskappe stem ooreen maar aangesien 'n vrywatervlak slegs by waarnemingspunt 17 voorgekom het, was daar verskille in waterinhoud. Die gravimetriese waterinhoud was by beide persele op bewerkingsdiepte bepaal. By waarnemingspunt 10 was die grond betreklik droog met 'n waterinhoud van slegs 3,7 persent.

As gevolg van die teenwoordigheid van 'n vrywatervlak op 'n diepte van 800 mm was die bogrond in die geval van waarnemingspunt 17 natter met 'n waterinhoud van 8,1 persent wat naby die kritiese waterinhoud van 7,7 persent (kyk Figuur 20) is. By waarnemingspunt 10 was die watervlak dieper as 2 000 mm. Aangesien die ondersoek aan die einde van die droë winterperiode uitgevoer is, kan aanvaar word dat verskille in waterinhoud hoofsaaklik die gevolg van verskille in diepte van watervlakke was.

Voor die aanvang van die ondersoek is die grond by beide terreine tot op 'n diepte van 800 mm met 'n drietandskeurploeg losgemaak. Verskillende persele is daarna vyf keer agtereenvolgens met die verskillende implemente tot op 'n diepte van 450 mm bewerk. Grondsterkte, wat met behulp van 'n kegelpenetroometer gemeet is (Broekman 1982), is onmiddelik voor en na die vyf bewerkings op 30 mm intervalle tot op 'n diepte van 600 mm bepaal. Grondsterktes is onder die trekkersspore en op 75 mm intervalle tussen die spore gemeet.

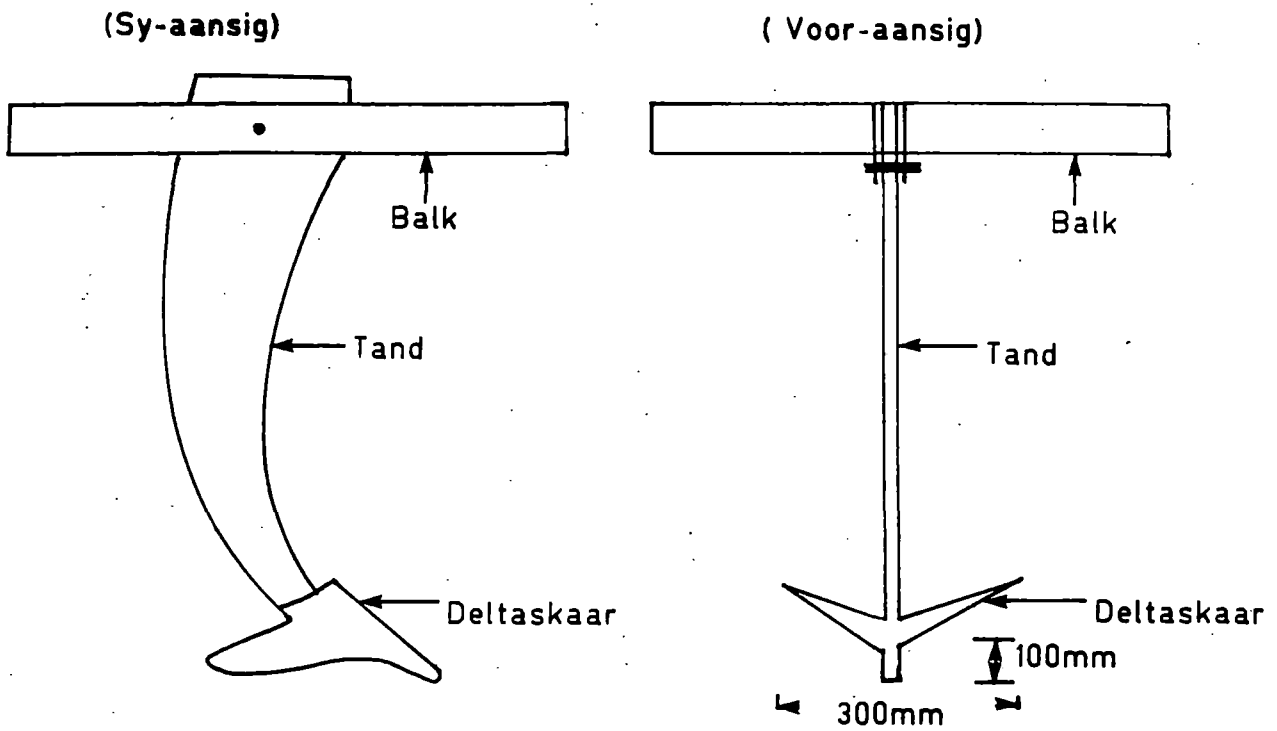
5.3.3 Resultate en bespreking

Uit figuur 20 kan dit afgelei word dat 'n minimale toename in penetrasieweerstand van 4,5 persent as gevolg van bewerking met 'n skeurploeg verwag kan word in die geval van waarnemingspunt 10 waar die vrywatervlak op 'n diepte van 2000 mm was.

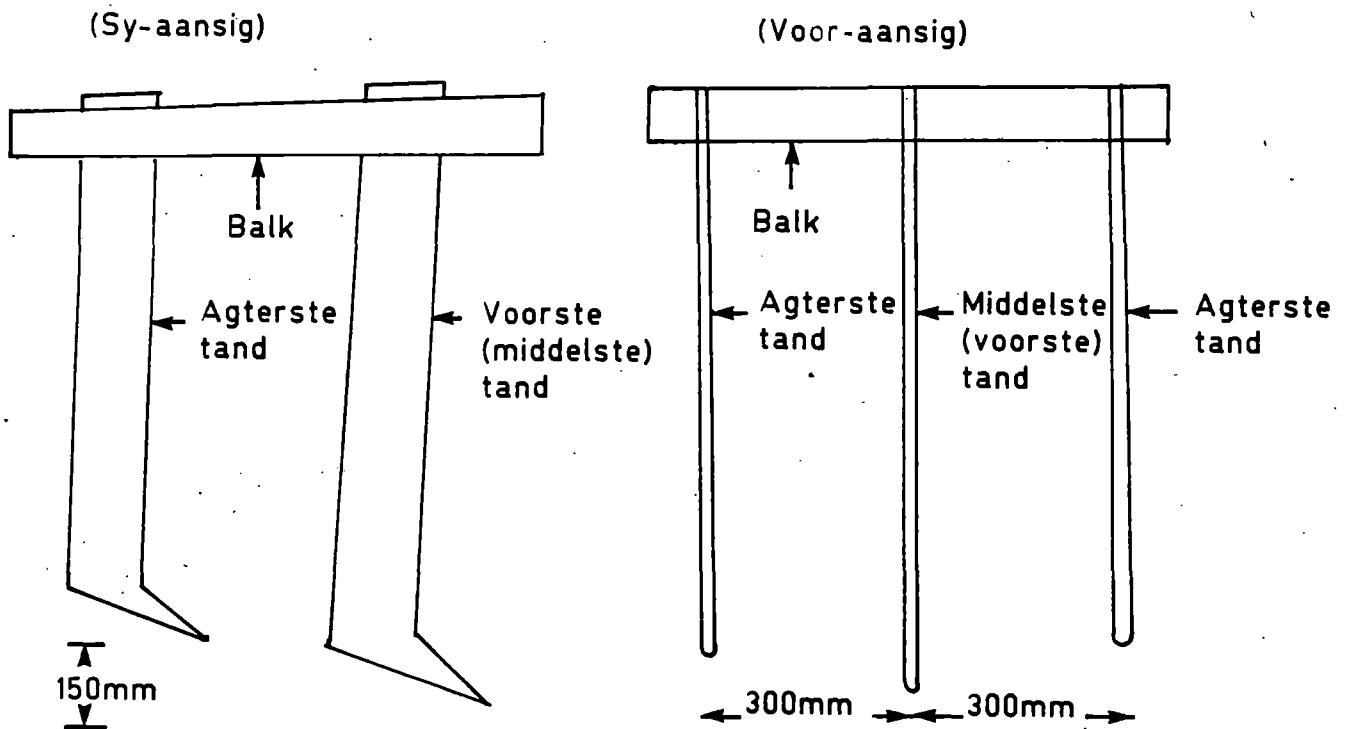
Figuur 22b is 'n voorstelling van die verandering in penetrasieweerstand wat bewerking met die verskillende tipes implemente by waarnemingspunt 17 (gravimetrieë waterinhoud was 8,1 persent) tot gevolg gehad het.

Al die bewerkings in die nat grond wat by waarnemingspunt 17 uitgevoer is, het verhogings in penetrasieweerstande in gedeeltes van die solum tot gevolg gehad. Hierdie bevinding is in ooreenstemming met dié van Willat & Wallis (1965) wat

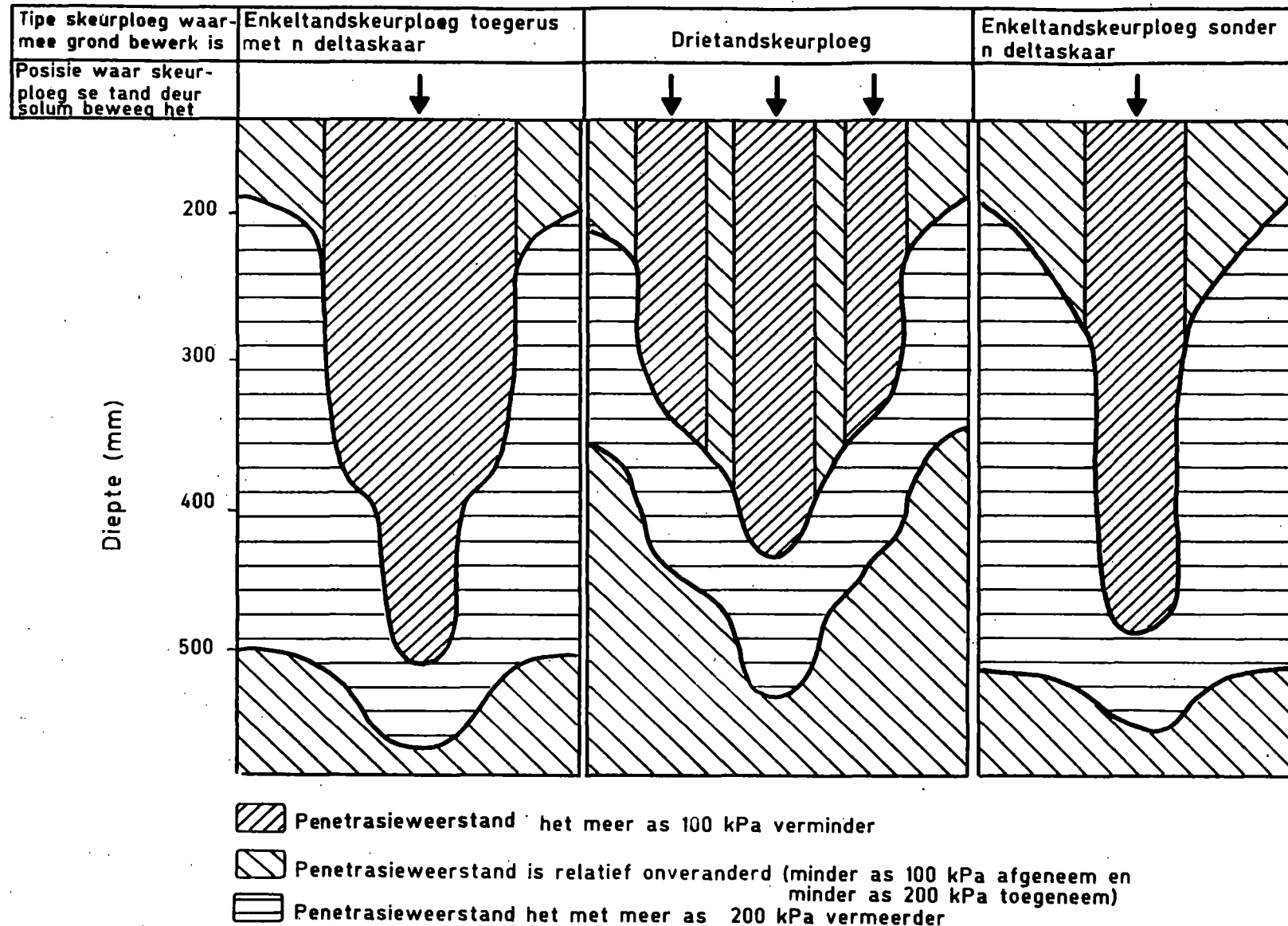
Enkeltandskeurploeg met deltaskaar



Drietandskeurploeg



Figuur 22a. Diagrammatiese voorstelling van die skeurploë wat gedurende die ondersoek geëvalueer is (Die drietandskeurploeg kan na 'n enkeltandskeurploeg verander word deur slegs die agterste twee tande te verwyder)



Figuur 22b. Diagrammatiese voorstelling van verandering in penetrasiweerstand wat plaasvind wanneer sand wat uit eoliese moedermateriaal ontstaan het, met verskillende tipes skeurploë by n waterinhoud van 8,2% bewerk word

verdigting as gevolg van bewerking met verskillende tipes tandimplemente waargeneem het. Die posisie van die verdigte laag in die solum verskil ten opsigte van die verskillende bewerkings. In die geval van al die bewerkings was 'n toename in penetrasieweerstand tussen die sone onder die trekkerspoor en posisie waar die implement se tand beweeg het, waargeneem. Verder was daar ook 'n toename in penetrasieweerstand direk onder die posisie waar die tand van die implement beweeg het. In die geval van die bewerking met die drietandskeurploeg was die wydte van verdigting tussen die bewerkingsone en die sone direk onder die trekkerwiel die minste, terwyl dit die breedste was waar 'n enkeltandskeurploeg sonder 'n skaar gebruik was. Die diepte tot waartoe bewerking die digtheid van die grond beïnvloed het, was 550 mm. Dit is 10 mm dieper as bewerkingsdiepte. Uit die resultate weergegee in figuur 22b, is bereken dat bewerking met die enkeltandskeurploeg sonder 'n skaar die grootste volume verdigte grond tot gevolg gehad het. Waar hierdie implement gebruik was, was 42 persent van die solum tussen die trekkerspoor tot op 'n diepte van 550 mm gekenmerk deur 'n toename in penetrasieweerstand (Figuur 22b). In die geval van bewerking met 'n enkeltandskeurploeg met 'n vlerkskaar het 35 persent van die solum tot op 'n diepte van 550 mm verdig. Slegs 26 persent van die solum het verdig waar die grond met 'n drietandskeurploeg bewerk was.

In al die behandelings het die penetrasieweerstand in die sone waar die tand van die implement beweeg het, met meer as 100 kPa verminder. In die geval waar 'n drietandskeurploeg gebruik is, was die volume grond waar die penetrasieweerstand afgeneem het, die grootste. Dit was die kleinste waar 'n enkeltandskeurploeg sonder 'n skaar gebruik was. Waar die drietandskeurploeg as bewerkingsimplement gebruik was, was 39 persent van die solum tot op 'n diepte van 550 mm los. In die geval van bewerking met 'n enkeltandskeurploeg met en sonder 'n skaar, was die volume los grond onderskeidelik 29 en 17 persent. Uit die resultate is dit duidelik dat 'n drietandskeurploeg doeltreffend gebruik kan word indien die doel van bewerking die skep van 'n groot volume los bogrond is. Indien die doel van bewerking is om die profiel diep los te maak ten einde wortels in staat te stel om

die kapillêre sone bo 'n diep watervlak te bereik, is die volume los bogrond van minder belang en sal diep bewerking met 'n enkeltandskeurploeg effektief en waarskynlik meer ekonomies wees.

Soos wat in afdeling 5.2 gerapporteer is, was daar nie by een van die bewerkings in die droë grond by waarnemingspunt 10 'n toename in penetrasieweerstand nie. In die geval van droë grond met 'n diep watervlak, sal bewerking met die skeurploë wat gedurende hierdie ondersoek geëvalueer is, dus nie verdigting tot gevolg hê nie. Onder sulke toestande moet die tipe skeurploeg gebruik word waarmee die grond meer ekonomies bewerk kan word. Verdere ondersoek is nodig alvorens bewerkingskoste met verskillende tipe skeurploë vergelyk kan word.

5.4 DIE INVLOED VAN BEWERKINGSDIEPTE OP WORTELONTWIKKELING EN OPBRENGS

5.4.1 Inleiding

Uit die resultate van die vorige twee afdelings is dit duidelik dat bewerking met skeurploë nat grond kan verdig. Die invloed van verdigting op wortelontwikkeling, benutting van ondergrondse waterreserwes en gewasopbrengs is egter nog nie bevredigend opgeklaar nie. Henning (1984) het gedurende vorige bewerkingsproewe by waarnemingspunt 10 gerapporteer dat skeurploegbewerkings verdigting veroorsaak wat wortelontwikkeling nadelig beïnvloed. Ondanks laasgenoemde waarnemings het Koch (1974), Mallett (1982) en Mallett, *et al.* (1985) bestendige mielie-opbrengste gedurende droë periodes elders in die ondersoekgebied waargeneem waar diep skeurploegbewerkings toegepas was. Alhoewel Henning (1984) nie die fluktuasies in diepte van die vrywatervlakke gemonitor het nie, was hoë vrywatervlakke periodiek by waarnemingspunt 10 deur die betrokke outeur waargeneem. Een van die bevindinge van Henning (1984) is dat die invloed van watervlakke se diepte op diepte van bewerking 'n belangrike aspek is wat verdere ondersoek regverdig.

In hierdie afdeling sal die resultate van die ondersoek na die invloed van bewerkingsdiepte en ander faktore wat 'n invloed uitoefen op opbrengste van mielies op sandgrond met hoë watervlakke bespreek word.

5.4.2 Materiaal en metodes

Hierdie ondersoek is uitgevoer op grond van die Avalonvorm by waarnemingspunt 10. Die grond het uit eoliese sand ontwikkel en slegs geringe tekstuurverskille kom in die boonste 900 mm van die solum voor. 'n Watervlak wat geassosieër is met die voorkoms van stadig deurlaatbare kalkreot op 'n diepte van 1 150 mm, se diepte het gedurende die ondersoekperiode gevariëer vanaf 900 mm tot 1 800 mm. In Bylae 1 word die teksturele eienskappe van grond van hierdie proefterrein gegee.

Voor die aanvang van die proef in 1985, (die ondersoek het vier groeiseisoene geduur) is al die persele kruis en dwars met 'n skeurploeg tot op 'n diepte van 800 mm bewerk. 'n Enkeltandskeurploeg met 'n 650 mm wye vlerkskaar is gebruik. Die doel van hierdie bewerking was om bestaande verdigte lae in die bogrond (0-800 mm) op te hef. Skeurploegbewerkings op die plantry is op dieptes van onderskeidelik 200, 400, 600 en 800 mm elk drie keer in 'n ewekansige blokontwerp herhaal. Beheerde spoorverkeer is toegepas. Tydens bewerking was die waterinhoud op bewerkingsdiepte gravimetries bepaal.

Daar was elke jaar tydens planttyd (einde November) 350 kg ha⁻¹ 3:2:1 (25) gebandplaas. Die mieliekultivar PNR 473 is aangeplant teen 'n plantpopulasie van 27 000 plante ha⁻¹ en 'n rywydte van 1 500 mm. Ses weke na opkoms was 200 kg ha⁻¹ KAN (28 persent) met die hand op die plantrye gestrooi.

Die verspreiding van wortels is bepaal deur 'n 5 mm grondlaag van 'n profielwand reg onder 'n mielieplant met water af te spuit. Die blootgestelde wortels is daarna gemeet, getel en omgeskakel na lengte per volume grond. Volgens Böhm, Maduakor & Taylor (1977) vergelyk resultate wat met behulp van hierdie eenvoudige tegniek verkry is, goed met die meer tydrowende en duurder metodes.

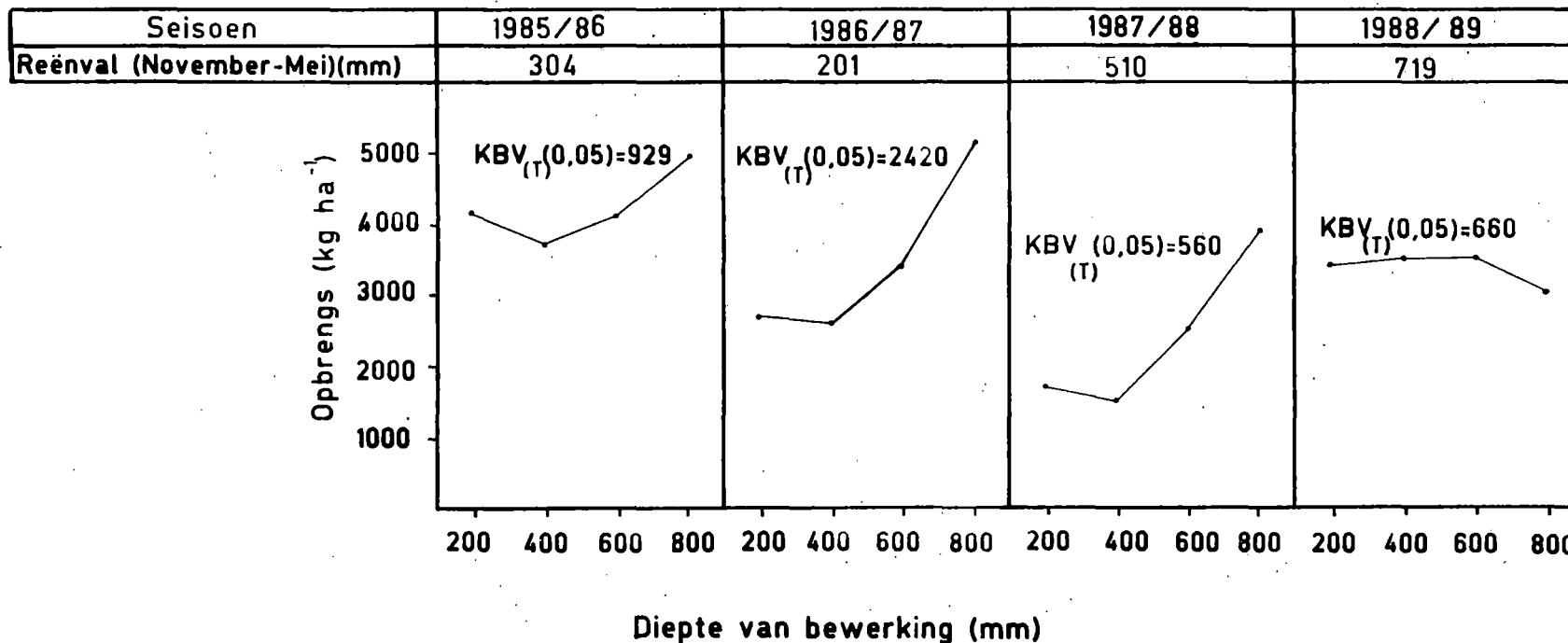
Gedurende drie periodes van die derde groeiseisoen, waartydens die watervlakke op verskillende diepte was, is vloeddigthede vanaf die watervlak na die bewerkingsdiepte van elke perseel bepaal. Die dieptes van die watervlak gedurende die drie periodes (40, 59 en 75 dae na ontkieming) was onderskeidelik 1 005, 1 600 en 1 300 mm. Die diepte van die watervlakke is maandeliks in piezometers, soos beskryf in hoofstuk 2 en diagrammaties voorgestel in figuur 2, gemeet.

Soos genoem in hoofstuk 4, is die vloeddigtheid (mm dag^{-1}) vanaf die watervlak na die wortelzone bepaal deur gebruik te maak van Darcy se formule vir opwaartse vloei. Volumetriese waterinhoud was op 100 mm diepte-intervalle met behulp van 'n neutronwatermeter gemeet en na matrikspotensiaal herlei deur gebruik te maak van figuur 14. Dieselfde verwantskap $K(\Psi m)$ soos voorgestel vir sandgrond van eolies oorsprong in figuur 15, is gebruik. Die vrywatervlak was soms in die kalkreot waarvan die hirouliese geleivermoë en $K(\Psi m)$ verwantskap onbekend is. Darcy se vloeivergelyking kon dus nie in integrale vir die hele profiel verdeel word nie, met die gevolg dat besluit is om die vloeddigtheid deur 'n grondlaag op 'n diepte van 100 mm direk onder die bewerkingsdiepte ($dz = 100 \text{ mm}$) te bepaal.

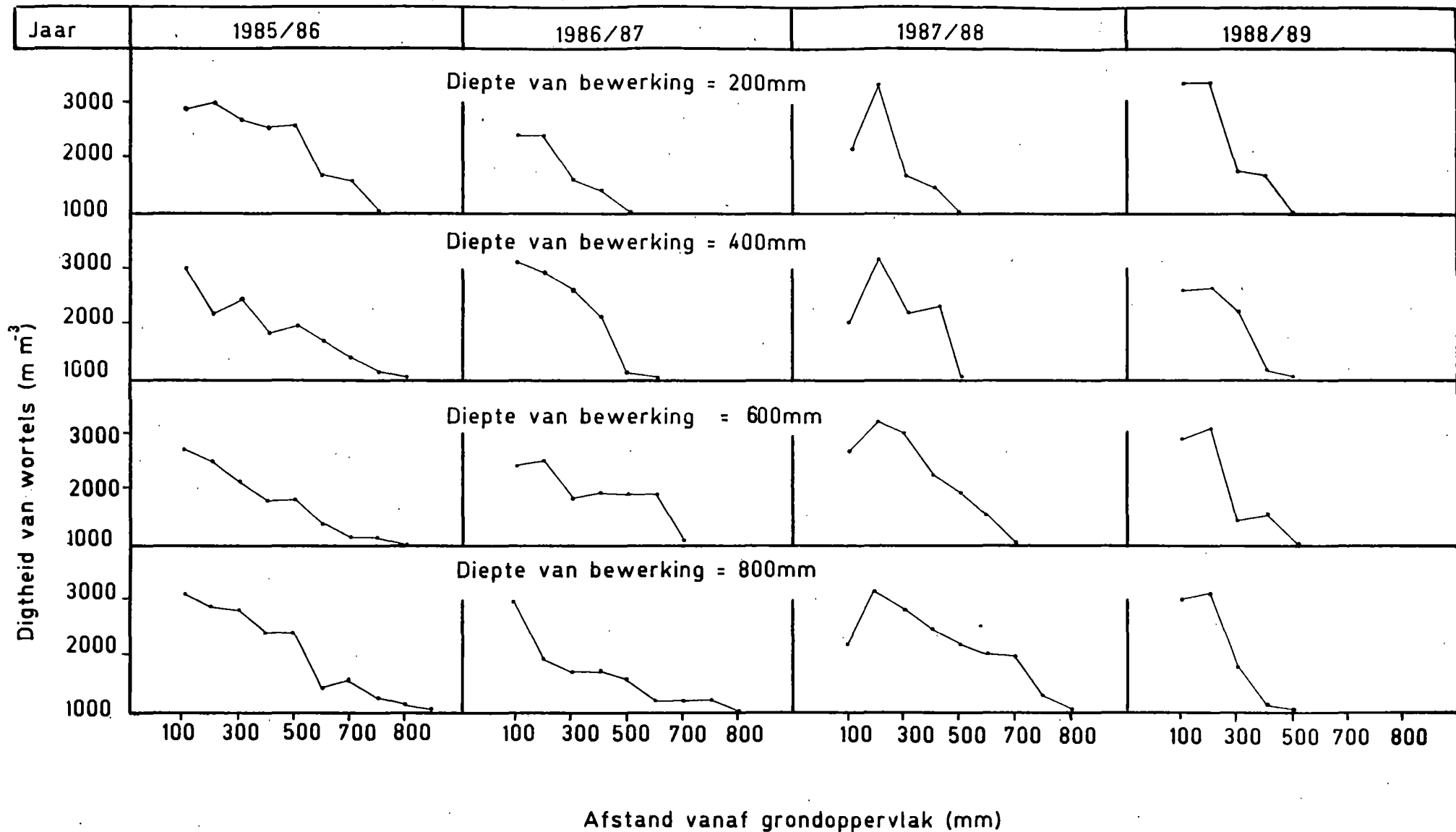
Droë brutodigthede is met die aanvang van die proef en aan die einde van elke groeiseisoen met behulp van 'n neutrongdigthedsmeter op 100 mm diepte-intervalle gemeet en mielie-opbrengste is elke seisoen bepaal.

5.4.3 Resultate en bespreking

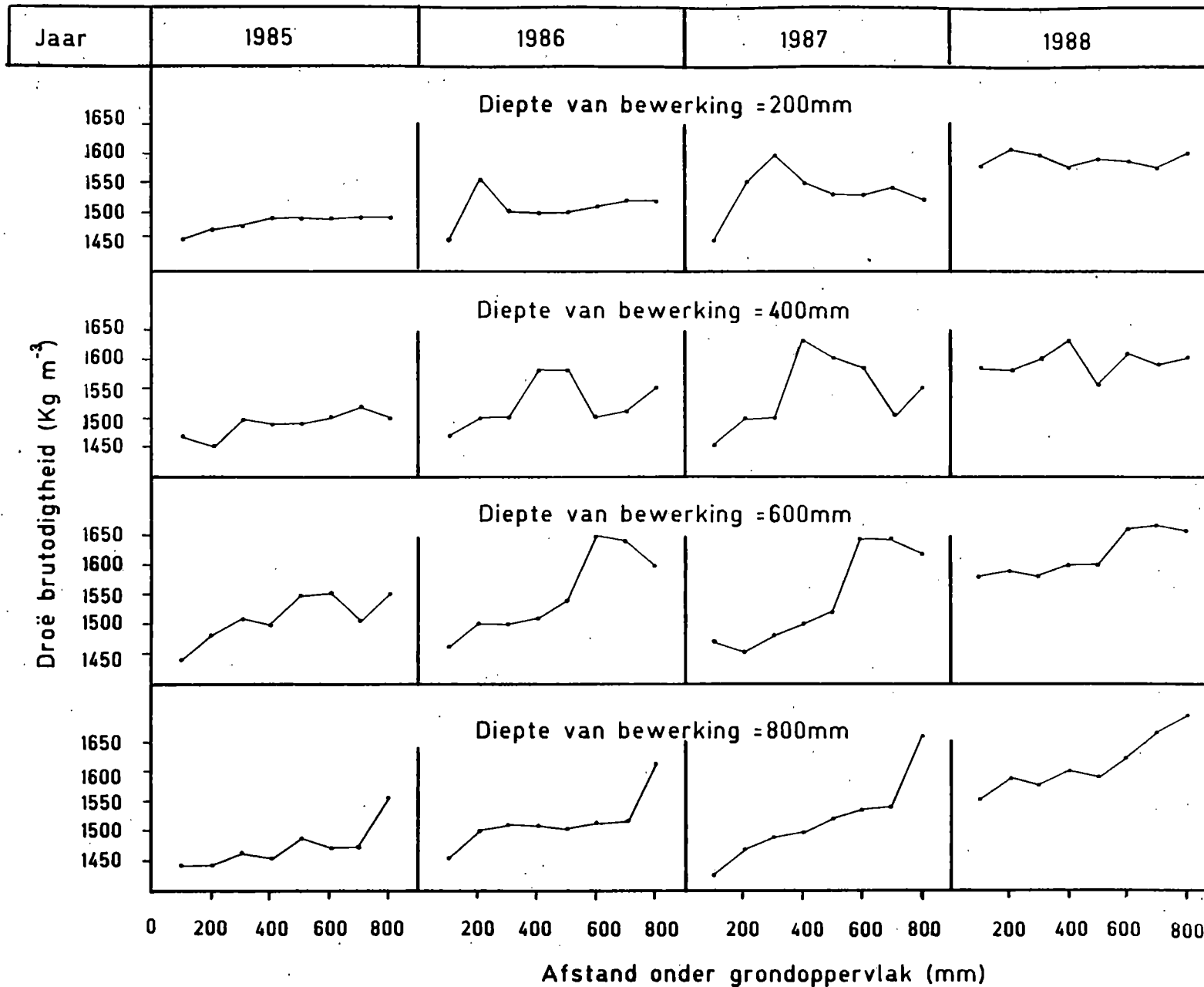
In figuur 23 word mielieopbrengste en in figuur 24 en figuur 25 word onderskeidelik wortelverspreiding en brutodigthede, soos gemeet gedurende elke seisoen, weergegee. In tabel 6 (bladsy 75) word fluktuasies in diepte van die watervlak gedurende die proefperiode getoon.



Figuur 23. Die invloed van reënval en diepte van bewerking op mielie-opbrengste (kyk Bylae 4). (Die diepte van die vrywater was gedurende die eerste drie groeiseisoene gewoonlik dieper as 1000mm terwyl die watervlak gedurende die 1988/89 groei-seisoen soms so hoog as 100mm onder die grondoppervlak waargeneem was)



Figuur 24. Die invloed van die diepte van bewerking op wortelontwikkeling (kyk Bylae 5) (Die diepte van die vrywatervlak was gedurende die eerste drie groeiseisoene gewoonlik dieper as 1000mm terwyl die watervlak gedurende die 1988/89-groeiseisoen soms so hoog as 100mm onder die grondoppervlak waargeneem was)



Figuur 25. Die invloed van die diepte van bewerking op teenwoordigheid van verdigte sones in die solum

Tydens die eerste seisoen (1985/86) van die ondersoek was opbrengsverskille nie betekenisvol nie (Figuur 23). Daar was ook geen betekenisvolle verskille in brutodigtheid (Figuur 25) en wortelverspreiding (Figuur 24) tussen persele wat verskillend behandel was nie. Die invloed van bewerking was die eerste seisoen nie voldoende om opbrengsverskille te induseer nie.

'n Toename in opbrengs was in sowel die 1986/87 as die 1987/88 seisoen verkry met 'n toename in diepte van bewerking. Beide hierdie seisoene was gekenmerk deur lae gemiddelde reënval (kyk Bylae 2). Die 1988/89 groeiseisoen was gekenmerk deur hoë reënval en die teenwoordigheid van 'n besonder hoë watervlak. Die watervlak was soms so naby as 400 mm vanaf die grondoppervlak (kyk Tabel 6). Gedurende laasgenoemde seisoen was daar geen opbrengsverskille (Figuur 23) nie. Hierdie resultate is in ooreenstemming met bevindinge van Mallett *et al.* (1985) wat gedurende grondbewerkingsproewe, by onder andere dieselfde proefterrein, slegs gedurende droër seisoene bewerking-geïnduseerde opbrengsverskille waargeneem het.




Gedurende die tweede en derde groeiseisoen was die digtheid van die grond in die bewerkingsones laag met 'n betekenisvolle toename in brutodigtheid op bewerkingsdiepte. Die gemiddelde digtheid van die bewerkte grond was $1\ 450\ \text{kg m}^{-3}$ terwyl dit op bewerkingsdiepte $1\ 610\ \text{kg m}^{-3}$ was.

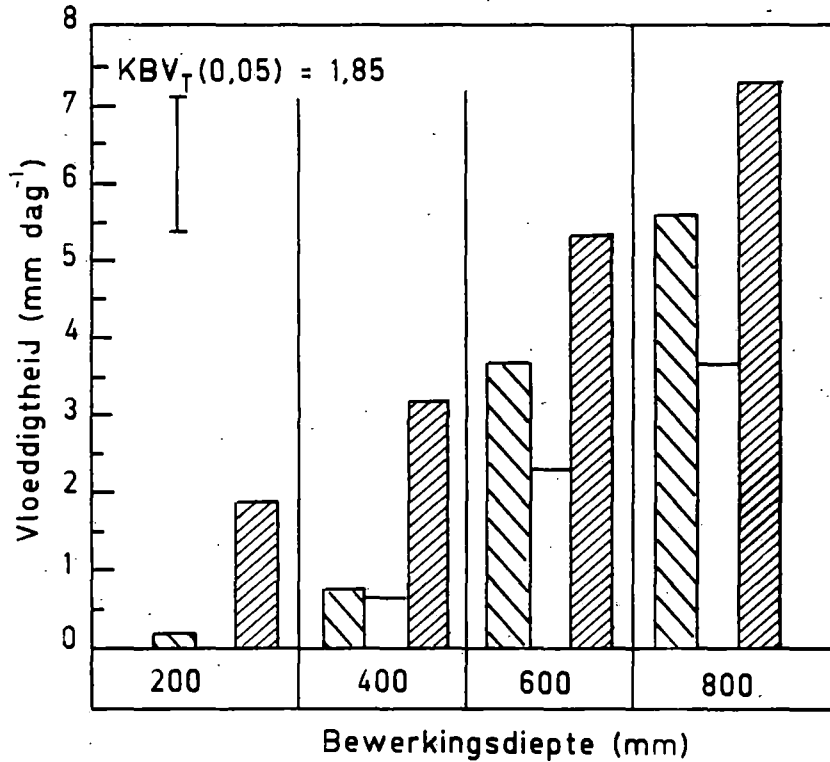
Gedurende die 1988/89-groeiseisoen wat gekenmerk is deur die teenwoordigheid van 'n hoë vrywatervlak, het die digtheid van die grond in die bewerkingsone opmerklik toegeneem. Die digtheid was ongeveer $130\ \text{kg m}^{-3}$ hoër as wat dit gedurende die voorafgaande drie droë seisoene was. Hoë brutodigtheid in bewerkte grond met hoë vrywatervlakke is ook deur Pagliai, Pezzarossa, Zerbi, Alvino, Pini & Vigna Guidi (1989) waargeneem. Aangesien daar nie deur hierdie outeurs en elders in die literatuur 'n verklaring vir hierdie verskynsel gebied word nie, is die invloed van versadiging op verdigting ondersoek en die resultate sal onder afdeling 5.5 bespreek word.

Hoë brutodigtheid was by al die bewerkings direk onder die onderskeie bewerkingsdieptes waargeneem (Figuur 25). Sulke hoë brutodigtheid is volgens Willat & Wallis (1965) moontlik 'n gevolg van die kragte wat die skaar van die skeurploeguitoefen. Die laagste digtheid was deurgaans geassosieër met bewerking tot op 200 mm. Hierdie verskynsel kan waarskynlik toegeskryf word aan die lae waterinhoud (4,8 persent; 4,2 persent en 5,2 persent op die bewerkingsdiepte vir onderskeidelik die eerste drie opeenvolgende seisoene) waarby hierdie perseel bewerk is. Uit figuur 20 is dit duidelik dat slegs 73,5 persent van die maksimum toename in brutodigtheid wat skeurploegbewerkings in grond van die ondersoekgebied tot gevolg kan hê, by 'n waterinhoud van 5,2 persent moontlik is. In die geval van die dieper bewerkings was die waterinhoud deurgaans nader aan die kritiese waterinhoud van 7,7 persent.

Gedurende die droë seisoene van 1986/87 en 1987/88 was daar in die geval van bewerking tot op dieptes van 400, 600 en 800 mm by al die herhalings meer as 1 000 m wortels m^{-3} grond in die profiel bo die dieptes van die verskillende bewerkings, terwyl minder wortels onder hierdie dieptes waargeneem is (Figuur 24). Dit kan moontlik aan verdigting direk onder die bewerkingsdieptes toegeskryf word. Waar bewerking tot op 'n diepte van 200 mm plaasgevind het, het by al drie herhalings ten minste 1000 m wortels m^{-3} grond tot op dieselfde diepte as in die geval van die 400 mm diep bewerking ingedring. Die rede hiervoor is moontlik die kleiner mate van verdigting by die 200 mm diep bewerking as gevolg van die feit dat die grond droër was op hierdie bewerkingsdiepte. Gedurende die nat 1988/89-seisoen was wortelindringing aansienlik vlakker as gedurende die voorafgaande droër seisoene. Die rede hiervoor is waarskynlik die anaërobiese toestande en hoë brutodigtheid wat met hoë watervlakke geassosieër word.

Die berekende hoeveelheid kapillêre water wat vanaf die watervlak na die bewerkingsdiepte beweeg het, word in figuur 26 vir periodes met watervlakke wat onderskeidelik 1 005, 1 300 en 1 600 mm diep was, gegee. Meer water kon vanaf die watervlak die dieper bewerkingssones bereik as die vlakker bewerkings, veral

-  Watervlak = 1300mm (40 dae na ontkieming)
-  Watervlak = 1600mm (59 dae na ontkieming)
-  Watervlak = 1005mm (75 dae na ontkieming)



Figuur 26. Vloeddigtheid vanaf die watervlak na bewerkingsdiepte by waarnemingspunt 10 soos gemeet op 40, 59 en 75 dae na ontkieming. (Die watervlakke was gedurende die drie periodes op dieptes van 1300, 1600 en 1005mm)

Tabel 6. Diepte van watervlak gedurende die ondersoekperiode by waarnemingspunt 10

MAAND	DIEPTE VAN WATERVLAK (mm) SOOS GEMEET GEDURENDE DIE TWEDE WEEK VAN ELKE KALENDERMAAND				
	JAAR				
	1985	1986	1987	1988	1989
Januarie	1 000	1 000	1 500	1 000	200
Februarie	1 500	1 000	1 800	1 200	100
Maart	1 000	900	1 300	700	750
April	1 500	900	1 400	900	700
Mei	2 000	1 200	>2 000	2 000	100
Junie	>2 000	1 800	>2 000	>2 000	1 200
Julie	>2 000	1 800	>2 000	>2 000	1 700
Augustus	>2 000	1 800	>2 000	>2 000	>2 000
September	>2 000	1 800	>2 000	>2 000	>200
Oktober	1 700	1 200	>2 000	1 000	>2 000
November	1 600	1 200	1 800	600	>2 000
Desember	1 400	1 1 300	1 500	700	1 300

tydens die twee periodes waartydens die watervlak op 1 300 mm en 1 600 mm was. In laasgenoemde twee gevalle was die vloeddigtheid na die bewerkings tot op 200 en 400 mm respektiewelik die laagste (minder as 1 mm dag^{-1}) teenoor aansienlike hoër vloeddigthede in die geval van dieper bewerkings. Die vloeddigtheid was so hoog as $5,2 \text{ mm dag}^{-1}$ as die bewerking 800 mm diep en die watervlak 1 300 mm diep was (Figuur 26).

Grond is tot op groter dieptes losgemaak in die geval van diep bewerkings, met die gevolg dat wortels die profiel tot nader aan die watervlak kon binnedring. Die kapillêre sone bo die watervlak kon dus meer gereedelik deur die wortels bereik word. Hieruit is dit dus duidelik dat die diepte van die vrywatervlak en die hoogte van kapillêre styging bo die watervlak 'n belangrike rol speel wanneer 'n keuse in verband met bewerkingsdiepte gemaak word. Indien te vlak bewerkings tot gevolg het dat mieliewortels 'n klein volume grond benut en nie die kapillêre sone bo die

watervlak bereik nie, kan mielies ten spyte van die beskikbaarheid van voldoende ondergrondse waterreserwes, verdroog. Ondoeltreffende benutting van stikstof wat in die ondergrondse waterreserwes akkumuleer (kyk hoofstuk 3) kan ook dan verwag word. Diep bewerkings sal daarenteen dieper wortelindringing en gevolglik beter benutting van ondergrondse waterreserwes en geassosiëerde voedingstowwe tot gevolg hê. Uit die literatuur (Du Toit, 1989) kan diep indringing van mieliewortels na ondergrondse waterreserwes ook verkry word deur diepplasing van kunsmis. Du Toit (1989) het laasgenoemde bevindinge op 'n ondersoekterrein in die nabye omgewing van waarnemingspunt 24 ('n diep vrywatervlak word soms met harde plintiet in die ondergrond geassosiëer) verkry. Die diepte van kunsmisplasing moet dus moontlik ook aandag geniet tydens die opstel van riglyne vir grondbenuttingspraktyke in die ondersoekgebied.

Gedurende nat seisoene wanneer die watervlak tot in die bewerkte sone styg, soos byvoorbeeld gedurende die 1988/89-groeiseisoen, word mielie-opbrengste nie deur die diepte van bewerking beïnvloed nie. Vlak en diep bewerkings is dan ewe effektief. Vlak bewerkings sal waarskynlik goedkoper wees.

5.5 DIE INVLOED VAN VERSADIGING EN UITDROGING OP VERDIGTING

5.5.1 Inleiding

Soos bespreek in hoofstuk 5.4 en weergegee in figuur 25, was 'n toename in brutodigtheid vanaf die 1987/88- tot die 1988/89 seisoen in bewerkte grond van die ondersoekgebied waargeneem. Tydens die voorafgaande droër seisoene was die digtheid van die grond in die bewerkte sone laer. Gedurende die periode wat gekenmerk was deur 'n toename in digtheid van die bewerkte grond was die vrywatervlak veel hoër (Bylae 2) as gedurende die voorafgaande droër seisoene. Met kalibrasie van die penetrometer, soos beskryf in afdeling 5.2, is ook gevind dat daar soms konsolidasie van versteurde eoliese sand gedurende versadiging plaasvind. Hierdie verskynsel het, soos bespreek in afdeling 5.2, tot gevolg gehad dat die tegnieke soos voorgestel deur Bennie & Burger (1988) wat gebruik kan word vir kalibrering van 'n penetrometer, gewysig moes word.

Die doel van hierdie gedeelte van die ondersoek was om vas te stel of laasgenoemde voorvalle waartydens toename in digtheid gekonstateer is, die gevolg kon wees van 'n verandering in sterkte van grond wat met 'n fluktuierende watervlak geassosieër word.

Alhoewel min inligting in die literatuur oor die relatiewe invloed van 'n fluktuierende watervlak op verdigting van landbougrond in Suid-Afrika gevind kan word, is voorvalle van besinking van sandgrond onder fundamente nadat 'n fluktuierende watervlak die bogrond versadig het, reeds lank in Suid-Afrika bekend (Knight, 1961). Volgens hierdie outeur het besinking plaasgevind as gevolg van swigting* van die bogrond. Hierdie verskynsel is reeds deur verskeie outeurs (Booth, 1975; Jennings & Knight, 1975; Schwartz & Yates, 1980; Schwartz, 1985) op sanderige grond in Suid-Afrika ondersoek. Die ondersoek is nie op landbougrond uitgevoer nie, maar wel op grond wat versadig was terwyl 'n eksterne lading (geboue, paaie, ensovoorts) op die grondoppervlak toegepas was.

Die belangrikste faktore wat die omvang van swigting beïnvloed, is die aanvanklike droë digtheid en die waterinhoud voor swigting (Booth, 1975). Konsolidasie van meer as een persent sal waarskynlik slegs plaasvind wanneer die aanvanklike droë digtheid laer as $1\ 600\ \text{kg m}^{-3}$ is (Williams, 1957; Booth, 1975). Volgens Jennings & Knight (1975) is die oorhoofse druk of deklaagspanning van die grond self nie voldoende om tydens versadiging swigting van grond in Suid-Afrika tot gevolg te hê nie. Die toepassing van 'n eksterne lading is 'n vereiste.

Konsolidasie kan ook die gevolg van krimping tydens uitdroging wees. Krimping is die gevolg van 'n toename in matrikssuigspanning tydens uitdroging (Childs, 1969). Dit kan vir sanderige grond met 'n lae inhoud van kaolinitiese klei dieselfde afmetings aanneem wat verkry word indien 'n eksterne lading op grond toegepas word (Towner, 1961; Mullins & Panayiotopoulos, 1984).

Tydens uitdroging neem grond se weerstand teen vervorming (Gerard, 1965; Camp, 1969) en die matrikssuigspanning (Childs, 1969) toe. Hierdie toename vind teen verskillende inkremente plaas.

*(Lys van verklarende terme)**

Wanneer die weerstand teen vervorming by 'n sekere porieruimteverhouding* groter as die matrikssuigspanning word, word die krimpgrens bereik en verdere vermindering in volume as gevolg van verdere uitdroging sal nie plaasvind nie (Sowers & Sowers, 1970).

Indien veranderinge in die waterinhoud as gevolg van 'n fluktuerende watervlak swigting en krimp van bewerkte landbougrond tot gevolg het, kan die positiewe invloed van grondbewerking op verdigting moontlik daardeur verminder word.

5.5.2 Materiaal en metodes

'n Gedeelte van hierdie ondersoek is gedurende die 1987/88- en 1988/89 groeiseisoen van mielies in situ by die proefterrein wat in afdeling 2.3 beskryf is uitgevoer. Soos reeds in figuur 6 getoon, het die kenmerkende paleo-oppervlak (Figuur 5) van hierdie proefterrein tot gevolg dat gedeeltes (veral perseel 3 - Figuur 5) van die proefterrein periodiek na periodes van oorvloedige reëns deur die teenwoordigheid van 'n vrywatervlak op of naby die grondoppervlak gekenmerk word. Daarteenoor was die watervlak in ander gedeeltes (veral perseel 1 soos getoon in Figuur 5) gedurende hierdie nat periodes nooit vlakker onder die grondoppervlak as 600 mm nie.

Vir die doel van hierdie ondersoek is 'n vergelyking getref tussen seisoensverandering in droë brutodigtheid van nat bewerkte grond van eoliese oorsprong by perseel 3 met 'n hoë vrywatervlak, teenoor perseel 1 met droër grond waar 'n dieper watervlak voorgekom het. Brutodigtheid is direk na bewerking en weer aan die einde van die groeiseisoene op 'n diepte van 300 mm in die plantrye bepaal. Die grond is voor planttyd met 'n enkeltandskeurploeg tot op 'n diepte van 600 mm bewerk. 'n Stelsel van beheerde spoorverkeer* is toegepas sodat daar geen eksterne druk op die grondoppervlak tussen die trekkerspore was nie. Vir bepaling van brutodigtheid is digtheid van onversteurde grondkerne bereken volgens die metode wat deur Hall, Reeve, Thomasson & Wright (1977) bespreek is. Die

*(Lys van verklarende terme)**

apparaat wat gebruik is vir die neem van die onversteurde monsters het 'n volume van $0,136 \text{ m}^3$ en voldoen aan die spesifikasies wat neergelê is deur Chancellor (1977). Metings is 10 keer herhaal.

'n Oedometer is ook gebruik om in die laboratorium vas te stel of versteurde sandgrond van die ondersoekgebied volume verandering tydens versadiging en uitdroging ondergaan. Die EL28-205 oedometer is gebruik en opgestel soos beskryf deur die ontwerper en vervaardiger (Engineering Laboratory Equipment Limited, 1980). Elke bepaling is drie keer herhaal. Versteurde grondmonsters wat op 'n diepte van 300 mm geneem is, is in 'n oond gedroog en 20 mm deur 'n trechter in silinders met 'n hoogte van 20 mm en deursnit van 70 mm laat val. In elke silinder was die grond se digtheid $1\,420 \text{ kg m}^{-3}$. Die silinders met droë grond is individueel in oedometers geplaas en onder ligte ladings van onderskeidelik 0; 5; 8; 15; 20 en 25 kPa gekonsolideer. Alhoewel dit wou voorkom asof konsolidasie slegs tydens die eerste tien minute van belading plaasvind, is finale konsolidasie eers na 'n periode van drie uur gemeet. Elke monster is vervolgens met gedistilleerde water versadig om verdere konsolidasie as gevolg van swigting te bepaal. Alhoewel konsolidasie as gevolg van swigting klaarblyklik slegs binne die eerste paar minute na versadiging plaasgevind het, is finale lesings eers geneem sodra die monsters vir 'n periode van drie uur geen verdere konsolidasie ondergaan het nie. Vir bepaling van die krimprens is die grondmonsters waarop ladings van onderskeidelik 0; 5; 15 en 25 kPa toegepas was, na versadiging toegelaat om by kamertemperatuur uit te droog. Verdere konsolidasie as gevolg van krimpings is bepaal. Finale lesings is geneem sodra daar geen verdere krimpings, na 'n periode van vyf dae, waargeneem was nie.

5.5.3 Resultate en bespreking

5.5.3.1 In situ proef

Die brutodigthede waartoe die bogrond tussen die trekkerspoore tydens die groeiseisoene verdig het, word in tabel 7 gegee. In al die gevalle het die digtheid

toegeneem met tyd. Aangesien geen eksterne lading op die grondoppervlak toegepas is nie, is hierdie verdigting waarskynlik die gevolg van interne kragte en deklaagspanning van die grond.

Tabel 7. Brutodigtheid waartoe die bogrond tussen die trekkerspore, sonder toepassing van eksterne ladings, gedurende die groeiseisoene verdig het

PERSEEL	BRUTODIGTHEID (kg m ⁻³) OP 'N DIEPTE VAN 300 mm			
	DIREK NA BEWERKING		AAN EINDE VAN GROEISEISOEN	
	1987/88-SEISOEN	1988/89-SEISOEN	1987/88-SEISOEN	1988/89-SEISOEN
1 (diep watervlak; 600-1000 mm)	1 400	1 400	1 450	1 450
3 (Hoë watervlak; 0 - 600 mm)	1 390	1 420	1 550	1 570

Die grootste toename in digtheid was in die grond wat periodiek as gevolg van 'n fluktuierende watervlak versadig was (perseel 3). Gedurende die ondersoekperiode het die diepte van die watervlak in die droër gedeeltes tussen 600 mm en 1 000 mm gevariëer. Die natter gedeeltes was daarteenoor gekenmerk deur 'n fluktuierende watervlak wat soms tot by die grondoppervlak gestyg het (Figure 6 en 7). Die deeltjiegrootteverspreiding van die bogrond van die twee persele was soortgelyk (kyk Bylae 1). Die hoër brutodigtheid in die bogrond by die natter gedeeltes kan daarom moontlik met die hoër watervlak geassosieër word. Waar die bogrond (perseel 3) periodiek deur 'n fluktuierende watervlak versadig was, was die voordele van bewerking dus minimaal. Indien wortels nie genoegsaam in hierdie verdigte grond kan ontwikkel nie, hou bewerking van grond met uitermate hoë watervlakke min voordele in. In die volgende hoofstuk word resultate van 'n ondersoek na die invloed van sulke hoë watervlakke op ontwikkeling van wortels en produksie van mielies gerapporteer. Die bevindinge sal ook bepaal of hierdie grond geskik is vir mielie-verbouing.

5.5.3.2 Oedometer-toets

Die digtheid waartoe versteurde droë grond van die ondersoekgebied onder verskillende ladings in 'n oedometer verdig het, word deur die boonste kromme in figuur 27 voorgestel. Vergelyking 1 is na aanleiding van hierdie kromme ontwikkel. Indien die oorhoofse lading (L) bekend is, kan hierdie vergelyking gebruik word om die persentasie verlaging in porieruimteverhouding (VE) te bereken:

$$VE = -0,1867 + 0,7850L + 0,0128L^2; \quad r^2 = 0,99 \quad (\text{Vergelyking 1})$$

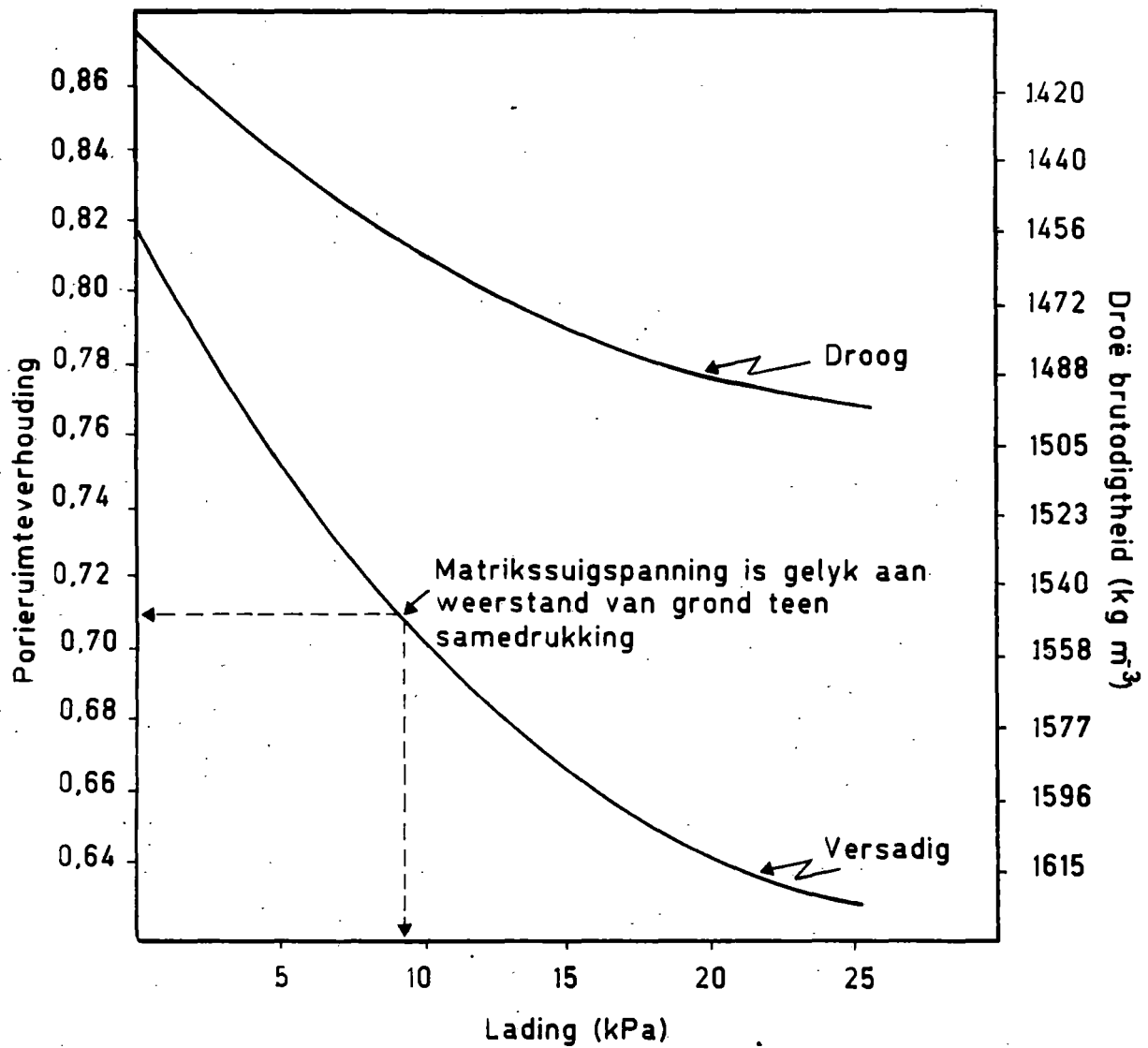
Die ladings wat tydens die ondersoek op die grond in die oedometers geplaas was, was klein en verteenwoordig kragte wat deur die deklaagspanning van grond self teweeggebring kan word (Figuur 27). Hierdie grond kan dus in 'n geringe mate droog konsolideer sonder dat groot eksterne kragte as gevolg van die beweging van trekkers en implemente toegepas word.

Verdere konsolidasie het as gevolg van swigting tydens versadiging plaasgevind. Bykomstige verdigting wat as gevolg van swigting plaasgevind het, word deur die ruimte tussen die boonste en onderste kromme in figuur 27 voorgestel. Vergelyking 2 is na aanleiding hiervan ontwikkel en kan gebruik word om die persentasie verlaging in porieruimteverhouding (VE) as gevolg van die effek van swigting onder verskillende ladings (L), te bereken.

$$VE = 5,2237 + 0,9558L - 0,0175L^2; \quad r^2 = 0,96 \quad (\text{Vergelyking 2})$$

Dit is dus duidelik dat swigting 'n belangrike rol kan speel in konsolidasie van versteurde grond waar versadiging as gevolg van fluktuerende watervlakke plaasvind.

Tydens uitdroging het grondmonsters waar swigting onder ladings van 0 en 5 kPa plaasgevind het, verder tot by 'n porieruimteverhouding van 0,71 gekonsolideer. Waar groter ladings toegepas was, het geen bykomende konsolidasie plaasgevind nie. Soos in figuur 27 aangedui, word 'n lading van 9 kPa benodig om die



Figuur 27. Die invloed van lading (deklaagspanning) en swigting op konsolidasie van versteurde sandgrond van eoliese oorsprong

porieruimteverhouding tot by 0,71 te verlaag. Hieruit kan afgelei word dat grond van die ondersoekgebied se weerstand teen verdigting tydens uitdroging by 'n porieruimteverhouding van 0,71 groter word as die matrikssuigspanning in die grond. Indien die matrikssuigspanning tydens uitdroging 9 kPa oorskry, sal verdere verdigting as gevolg van 'n toenemende matrikssuigspanning dus nie plaasvind nie.

Indien u maksimum in die vergelyking vir maksimum kapillêre spanning ($u_{maksimum} = \frac{4T_o}{d}$) as 9 kPa beskou word, kan die poriedeursnit (d) waar die matrikssuigspanning gelyk is aan die grond se interne weerstand teen verdigting, bepaal word (T_o = oppervlakspanning). Hieruit volg dat $d = 0,0327 \text{ mm}$. Volgens Sowers & Sowers (1970) is d ongeveer een vyfde D_{10}^* . Vir die grond wat tydens die ondersoek gebruik was, was een vyfde D_{10} vanaf 'n deeltjiegrootteverspreidingskromme (Figuur 28) bepaal. Dit is 0,016 mm. Die kromme is verkry deur die toepassing van die pipet-metode en skeiding van sandfraksies in siwwe met groottes van 1,700 mm; 1,400 mm; 1,180 mm; 1,000 mm; 0,850 mm; 0,710 mm; 0,600 mm; 0,500 mm; 0,425 mm; 0,355 mm; 0,300 mm; 0,250 mm; 0,212 mm; 0,180 mm; 0,150 mm; 0,160 mm; 0,090 mm en 0,070 mm. Die poriedeursnit van 0,0327 mm wat eksperimenteel bepaal is, verskil aansienlik van een-vyfde D_{10}^* . Die veralgemening om een-vyfde D_{10} as d te beskou, geld dus nie sonder meer vir eoliese sand van die ondersoekgebied nie.

Die implikasies van hierdie resultate kan deur die volgende voorbeeld gedemonstreer word:

Gegee: Grond van die ondersoekgebied was droog tydens bewerking. Die droë brutodigtheid direk na bewerking op 'n diepte van 450 mm was $1\,420 \text{ kg m}^{-3}$. Die grond word toegelaat om onder die deklaag van die grond self te konsolideer alvorens 'n stygende watervlak die hele profiel versadig. Die watervlak daal daarna met die gevolg dat die grond uitdroog.

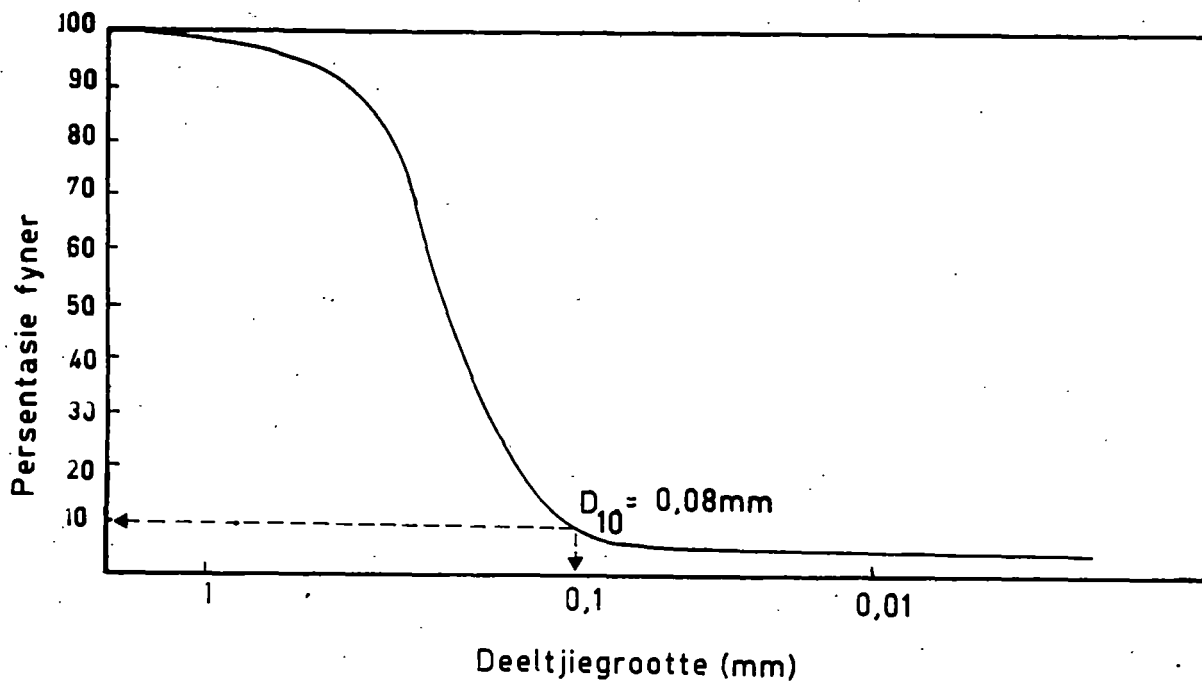
*(Lys van verklarende terme)**

Gevra: Bepaal die verandering in droë brutodigtheid op 'n diepte van 450 mm.

Berekening: Op 'n diepte van 450 mm is die deklaagspanning voor versadiging 6,26 kPa (diepte x gravitasieversnelling x digtheid). Deur vervanging van L in vergelyking 1 met 6,26 kPa volg dat die drukking deur die deklaag voor versadiging die porieruimteverhouding laat afneem van 0,87 tot 0,83. Laasgenoemde kan ook uit die boonste kromme in figuur 27 waargeneem word. Die ooreenstemmende brutodigtheid is $1\,448\text{ kg m}^{-3}$. Na versadiging (46 persent van die grond se volume is porië en met water gevul) verander die deklaagspanning na 6,56 kPa. Deur vervanging van L in vergelyking 2 met 6,56 kPa, volg dat swigting die porieruimteverhouding van 0,83 met 10,74 persent verlaag. In figuur 27 verteenwoordig die afstand tussen die boonste en onderste kromme by 'n lading van 6,56 kPa dus 'n verlaging van 10,74 persent van die aanvanklike porieruimteverhouding. Die finale porieruimteverhouding waartoe grond as gevolg van versadiging kan konsolideer, is op die onderste kromme die waarde regoor 'n lading van 6,56 kPa. Dit is 0,83 met 'n ooreenstemmende brutodigtheid van $1\,520\text{ kg m}^{-3}$. Met uitdroging sal die porieruimteverhouding verder afneem tot by 0,71 met 'n ooreenstemmende brutodigtheid van $1\,550\text{ kg m}^{-3}$.

Antwoord: Die brutodigtheid neem van $1\,420\text{ kg m}^{-3}$ tot $1\,550\text{ kg m}^{-3}$ toe.

Alhoewel dit onwaarskynlik is dat grond onder soortgelyke toestande as dië in die voorbeeld gebruik, bewerk word, word hierdeur gewys dat 'n watervlak wat tot in die bewerkte sone styg, onmiddellik herverdigting van die bewerkte grond tot gevolg kan hê. Hierdie navorsing sluit aan by dië van Van Huyssteen (1989), waarvolgens ondersoeke na die tempo van herverdigting van bewerkte grond 'n hoë prioriteit moet geniet.



Figuur 28. Deeltjiegrootteverspreiding van sand van eoliese oorsprong in die ondersoekgebied

5.6 OPSOMMING

Bewerking van nat sand van die ondersoekgebied vorm 'n verdigte laag, met 'n dikte van ongeveer 250 mm, direk onder bewerkingsdiepte. Die mate van hierdie verdigting word deur die grond se waterinhoud beïnvloed. Maksimum verdigting vind by 'n kritiese waterinhoud van 7,7 persent plaas. Die toename in digtheid is minder by hoër en laer waterinhoude. Die posisie van die verdigte laag in die solum verskil ten opsigte van die tipe implement wat vir bewerking gebruik is. Van die bewerkings wat gedurende die ondersoek geëvalueer is, het bewerking met 'n enkeltandskeurploeg sonder 'n skaar die grootste volume grond verdig (Figuur 22). Bewerking met 'n drietandskeurploeg het 'n aansienlik kleiner gedeelte van die solum verdig. Bewerking met 'n drietandskeurploeg het daarby die grootste volume los grond tot gevolg gehad.

Indien die watervlak diep is, sal vlak bewerkings tot gevolg hê dat wortels slegs in 'n klein volume grond groei en nie die kapillêre sone bo die watervlak benut nie. Diep bewerkings sal daarenteen dieper wortelindringing en gevolglik beter benutting van ondergrondse waterreserwes tot gevolg hê. In die geval van 'n diep watervlak verhoog mielie-opbrengste met toename in diepte van bewerking.

Wanneer die watervlak tot in die bewerkte sone styg, word mielie-opbrengste nie deur die diepte van bewerking beïnvloed nie. Waar die bogrond periodiek deur 'n fluktuierende watervlak versadig word, is die voordele van bewerking minimaal. Tydens versadiging veroorsaak swigting herverdigting met die gevolg dat die voordele van bewerking uitgeskakel word. Toetse met 'n oedometer het daarop gewys dat sandgrond van die ondersoekgebied se interne weerstand teen verdigting by 'n porieruimteverhouding van 0,71 groter word as die matrikssuigspanning in die grond. Die poriedeursnit waar die sandgrond se interne weerstand teen verdigting gelyk is aan die matrikssuigspanning is eksperimenteel bereken as 0,0327 mm.

Die praktiese implikasies van resultate gerapporteer in hierdie hoofstuk is in figuur 29 diagrammaties voorgestel.

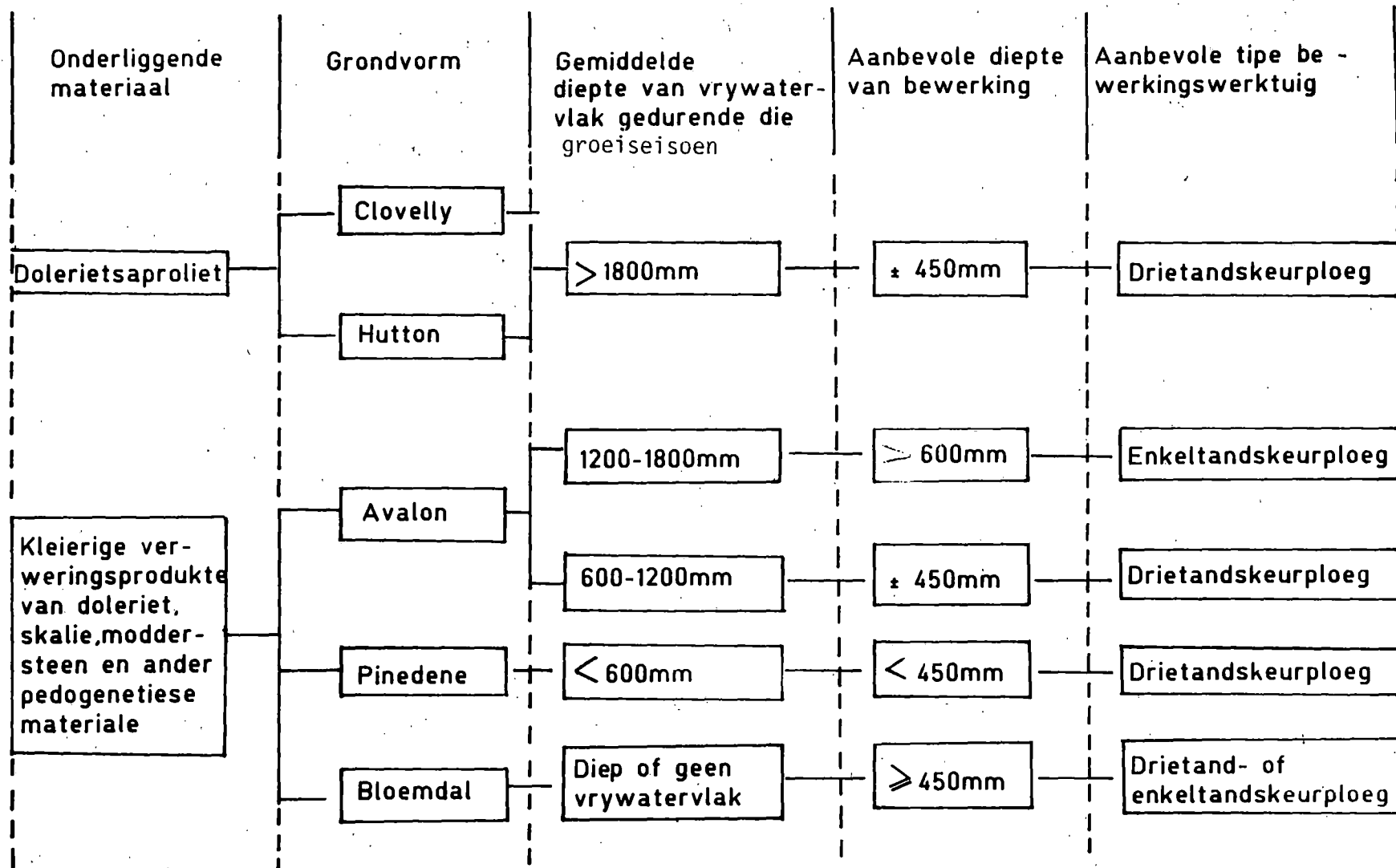
Volgens die resultate weergegee in tabel 1 kom daar bo goed gedreineerde doleriet saproliet selde vrywater voor. Gedurende die droë wintermaande is die waterinhoud van die bogrond gevolglik laag. Na aanleiding van die resultate verstrekk in figuur 20, sal bewerking van droë grond min verdigting tot gevolg hê. Skeurploegbewerkings, soos voorgestel in die literatuur (Koch & Badenhorst, 1977; Mallett *et al.*, 1985), kan dus sonder enige voorbehoud toegepas word. Teneinde bewerking onder nat toestande te verhoed moet die grond gedurende die droë wintermaande bewerk word. Die resultate weergegee in figuur 22 dui daarop dat bewerking met 'n drietandskeurploeg die grootste volume los grond tot gevolg sal hê.

Volgens die resultate weergegee in tabel 1 word vrywatervlakke dikwels met plintiet, kalkkreet en vergleyde kleierige verweringsprodukte van Transvaal skalie,

Ecce moddersteen en doleriet geassosiëer. Wanneer die watervlak tot hoër as bewerkingsdiepte styg, sal die bewerkte bogrond versadig word en soos aangedui in figuur 27 sal swigting dan herverdiging van die los grond tot gevolg hê. In die geval van grond met 'n hoë watervlak is diep bewerking dus onnodig en word opbrengste nie deur dieper bewerkings verhoog nie (kyk opbrengsdata 1988/89 Bylae 4). Ten einde geleentheid vir herverdiging tot 'n minimum te beperk, word aanbeveel om grond met 'n hoë watervlak in die lente direk voor planttyd, vlak te bewerk. Bewerking met 'n drietandskeurploeg sal die grootste volume goed deurlugte grond bo die watervlak tot gevolg hê.

Indien die watervlak diep is, sal die volume wortels wat die kapillêre grenssone bereik toeneem met 'n toename in bewerkingsdiepte (kyk Figuur 24), met 'n gevolglike toename in opbrengs (kyk Figuur 23). Diep bewerking word dus aanbeveel. Ten einde bewerking onder nat toestande uit te skakel, moet die grond gedurende die droë wintermaande bewerk word. In die geval van 'n diep watervlak moet gepoog word om op die mees ekonomiese wyse diep wortelontwikkeling tot by die ondergrondse waterreserwes te verseker. 'n Enkeltandskeurploeg sal waarskynlik met sukses gebruik kan word. Verdere navorsing is egter nodig alvorens koste ten opsigte van bewerking met verskillende tipe implemente vergelyk kan word.

Aangesien diep indringing van mieliewortels en gevolglik beter benutting van diep ondergrondse waterreserwes, volgens Du Toit (1989) ook verkry kan word deur diepplasing van kunsmis, moet die diepte van kunsmisplasing moontlik ook aandag geniet wanneer kriteria vir grondbenuttingspraktyke in die ondersoekgebied vasgestel word.



Figuur 29. Bewerkingsriglyne vir sanderige grond van die noordwestelike O.V.S

HOOFSTUK 6

DIE INVLOED VAN HOË VRYWATERVLAKKE OP GROEI EN PRODUKSIE VAN MIELIES (ZEA MAYS)

6.1 OORSIG

Uit die voorafgaande hoofstukke is dit duidelik dat fisiese en chemiese eienskappe asook die waterinhoud van sanderige grond wat uit eoliese sand in die ondersoekgebied ontwikkel het, deur vrywatervlakke beïnvloed word. Indien hierdie verskynsel gewasproduksie beïnvloed, kan verwag word dat vrywatervlakke 'n bepalende faktor kan wees wat produksie van gewasse wat in die gebied verbou word, beïnvloed.

Die diepte van die watervlak onder die wortelsone bepaal of water wat kapillêr opwaarts vanaf die watervlak vloei, die wortelsone kan bereik. Maksimum opbrengste sal by 'n sekere kritiese diepte van die watervlak verkry word. Daar bestaan geen inligting oor die invloed van watervlakke op opbrengste van gewasse in Suid-Afrika nie. Belangrike inligting oor hierdie aspek is egter reeds deur verskeie Europese- en Amerikaanse navorsers gerapporteer. Cavazza & Rossi Pisa (1988) het byvoorbeeld drumpelwaardes vir die minimum diepte van die watervlak waarby maksimum opbrengste verkry sal word, opgestel. Dié resultate wat in 'n spesifieke gebied versamel is, het getoon dat lae mielie-opbrengste verkry word indien 'n hoë watervlak 'n oormaat water in die bogrond tot gevolg het. Aanvullend hierby het Groot & De Jager (1969) gevind dat opbrengste afneem indien watervlakke so diep is dat min of geen water die wortelsone kan bereik nie.

Beperkte wortelontwikkeling kom voor in grond waar 'n oormaat water bo 'n hoë watervlak voorkom. Follett, Almaras & Reichman (1974) skryf dit toe aan anaërobiese toestande wat met hoë watervlakke geassosieer word. Gewasontwikkeling kan onder anaërobiese toestande benadeel word. Die effek van anaërobiese toestande op gewas-ontwikkeling word deur Russell (1977) bespreek.

Opgeloste ione kan saam met kapillêre water vanaf 'n watervlak na die bogrond beweeg. Indien die kapillêre water deur evapotranspirasie onttrek word, kan hierdie ione in die bogrond akkumuleer (Richards, 1969). 'n Oormaat soute in die bogrond kan toksies wees en ook aanleiding gee tot die ontstaan van 'n osmoties-geïnduseerde waterstremming in plante. 'n Oormaat natrium kan ook dispergering en korsvorming veroorsaak, en sodoende die hidrouliese geleivermoë van die grond verlaag (Mc Neal, 1974).

Die doel van hierdie gedeelte van die ondersoek was om die invloed van uitermate hoë watervlakke op groei en ontwikkeling van *Zea mays* onder veldtoestande in die ondersoekgebied te bepaal.

6.2 MATERIAAL EN METODEDES

Die proefterrein, soos omskryf in afdeling 2.3, is dieselfde terrein waar inligting ingewin is gedurende die ondersoek na die invloed van die paleotopografie en geassosiëerde grondkenmerke op die teenwoordigheid van vrywatervlakke (Figuur 1). As gevolg van verskille in paleotopografie (kyk Figuur 5), verskil die diepte van die watervlak by verskillende posisies op die terrein. Die ondersoek is uitgevoer by persele 1, 2 en 3. Die ligging van hierdie persele word in figuur 5 getoon en die grond by elke perseel word in Bylae 3 beskryf. Gedurende die proefperiode (die 1987/88 en 1988/89 seisoene) het die diepte van die watervlakke ten opsigte van die verskillende persele op die terrein verskil. Dit veroorsaak dat hierdie terrein 'n goeie keuse vir die doel van hierdie ondersoek was.

Die mieliekultivar PNR 473 is oor die hele terrein aangeplant en 160 kg 3:2:1 (32) is elke jaar tydens planttyd (einde November) gebandplaas. Ses weke na opkoms is 150 kg KAN (28 persent) op plantrye toegedien. Die rywydte was 1 500 mm en daar is gestreef na 'n plantpopulasie van 24 000 plante ha⁻¹. Die grond is elke jaar twee tot drie weke voor die plantdatum tot op 'n diepte van 600 mm onder die plantry met 'n enkeltandskeurploeg bewerk. Spoorverkeer was beheer. Onkruid was chemies beheer.

Ten einde 'n evaluering te maak van faktore wat opbrengs in die teenwoordigheid van hoë watervlakke beïnvloed, is die volgende veranderlikes bepaal:

- (i) Die aantal plante perseel⁻¹ is twee weke na ontkieming getel om die invloed van die diepte van watervlakke op ontkieming te evalueer.
- (ii) Visuele waarneming van voedingstofgebreksimptome, agt weke na aanplanting, is met blaaranalises gekontroleer. Ten einde vas te stel of tekorte die gevolg van tekorte in die grond was, is grondmonsters terselfdertyd ontleed volgens metodes soos beskryf deur Jackson (1958) en Van der Merwe, Johnson & Ras (1984).
- (iii) Die invloed van die diepte van watervlakke op wortelindringing is tydens die pluimstadium gedurende elke groeiseisoen ondersoek deur toepassing van metodes soos bespreek onder afdeling 5.4.
- (iv) Wortelverrotting is agt weke na aanplanting by nege plante van elke perseel ondersoek. Hierdie plante is uitgetrek nadat die grond rondom die plante losgespit was. Die grond was vervolgens van die wortels afgewas en die omvang van wortelvrot is visueel waargeneem en op 'n skaal van 0 tot 100 persent ingedeel. 'n Waarde van 100 persent is toegeken wanneer al die wortels verrot was. Hierdie tegniek word onderskryf deur Chambers (1987).
- (v) Opbrengste was gedurende beide seisoene gemonitor.

6.3 RESULTATE EN BESPREKING

Die diepte van die watervlakke by die verskillende persele en die hoeveelheid geregistreerde reën word onderskeidelik in figuur 6 en Bylae 2 getoon. Gedurende die proefperiode het die diepte van die watervlak by persele 1, 2 en 3 onderskeidelik gefluktueer van 1 000 mm tot 600 mm, 800 mm tot 200 mm en 600 mm tot by die grondoppervlak. Alhoewel beide seisoene gekenmerk is deur die teenwoordigheid van

hoë watervlakke, was die watervlak gedurende die tweede seisoen (1988/89) uitermatig hoog. In die geval van perseel 3 was die watervlak gedurende die tweede seisoen dikwels aan die grondoppervlak.

Die opbrengsdata van die twee groeiseisoene word in tabel 8 getoon. Die hoogste opbrengs was by die perseel met die diepste watervlak (perseel 1) waargeneem. Die verskil in opbrengs was veral gedurende die tweede seisoen prominent. Hierdie resultate is in ooreenstemming met bevindinge wat in die literatuur (Cavazza & Rossi Pisa, 1988) gerapporteer word. Volgens hierdie outeurs word lae opbrengste met 'n oormaat water in die bogrond geassosieër.

Hierdie ondersoek dui daarop dat die verskille in opbrengs aan 'n aantal faktore toegeskryf kan word.

- (i) Gedurende die 1987/88-groeiseisoen was die watervlak oor die hele ondersoekterrein nooit nader as 250 mm vanaf die grondoppervlak (kyk Figuur 6) en die persentasie ontkieming by persele 1, 2 en 3 was onderskeidelik 95, 93 en 72 persent. Die persentasie ontkieming by perseel 3 was slegs 37 persent teenoor 91- en 78 persent by onderskeidelik persele 1 en 2. Hierdie bevindinge is in ooreenstemming met resultate vir sonneblomme wat gerapporteer is deur Loubser, Bantjes & Bronkhorst (1989). Volgens die outeurs het die kombinasie van baie nat grond en 'n lae temperatuur swak ontkieming van sonneblomsaad in die Wes-Vrystaat tot gevolg.

Tabel 8. Die invloed van uitermate hoë watervlakke op opbrengs van mielies

PERSEEL	DIEPTE VAN WATERVLAK (mm)	OPBRENGS (kg ha ⁻¹)	
		1987/88 GROEISEISOEN	1988/89 GROEISEISOEN
1	600 mm tot 1 000 mm	4 100	4 000
2	200 mm tot 600 mm	3 200	2 400
3	0 mm tot 600 mm	3 000	200

- (ii) Loubser *et al.* (1989) maak die stelling dat nat grond waarskynlik meer fisiese weerstand (korsvorming) teen saailinge bied as in die geval van grond met hoër matrikssuigspannings. Hierdie stelling word bevestig deur resultate wat in afdeling 5.5 van hierdie ondersoek gerapporteer is. Hiervolgens het die hoë watervlak by perseel 3 swigting en konsolidasie van die grond rondom die ontkiemende saad tot gevolg gehad.
- (iii) Beperkte wortelverspreiding en ontwikkeling was gedurende beide groeiseisoene by veral perseel 3 waar die hoogste watervlak voorgekom het, waargeneem. Die verskille in verspreiding van wortels word in tabel 9 getoon. In die geval van die hoogste watervlak (perseel 3) was die worteldigtheid laag en die wortels was slegs tot die boonste 200 mm van die solum beperk. Ongeag die hoeveelheid water in die solum kan sodanige wortelstelsels volgens Botha (1983) nie voldoende water onttrek om aan die transpirasiebehoefte van die plant te voorsien nie. Volgens Botha (1983) onttrek swak ontwikkelde wortels water teen so 'n vinnige tempo dat, ten spyte van lae matrikssuigspannings in die bo- en ondergrond, 'n hidrouliese weestand in die rhizosfere ontstaan. 'n Lae grond tot water geleidingsindeks het dan swak watervoorsiening aan die bopgrondse dele tot gevolg.
- (iv) Wortelverrotting, 'n algemene siekte by mielies in Suid-Afrika (Du Toit, 1968), is 'n belangrike aspek wat gedurende hierdie ondersoek duidelik met die teenwoordigheid van hoë watervlakke geassosieër is. Die persentasie wortelverrotting word in tabel 10 getoon. Gedurende die afwesigheid van uitermate hoë watervlakke in die 1987/88 groeiseisoen, was geen wortelverrotting waargeneem nie. Gedurende die natter 1988/89-seisoen was daar geen wortelverrotting by die diepste watervlak (perseel 1), terwyl die persentasie verrotting by persele 2 en 3 onderskeidelik 45 en 75 persent was. Alhoewel daar nie gedurende hierdie ondersoek gepoog was om swamme te isoleer nie, dui die literatuur (Clarkson, Drew, Sanderson & Hornby, 1973; Wien, Lab & Pulver, 1979) daarop dat infeksie deur swamme dikwels die oorsaak van wortelverrotting onder anaërobiese toestande is.

Tabel 9. Verspreiding van wortels van mielies by persele waarvan die diepte van die watervlak onderling verskil

DIEPTE VAN PROFIEL (mm)	DIGTHEID VAN WORTELS (m m ⁻³)					
	DIEPTE VAN WATERVLAK (mm)					
	600 - 1000 mm (Perseel 1)		200 - 600 mm (Perseel 2)		0 - 600 mm (Perseel 3)	
	1987/88	1988/89	1987/88	1988/89	1987/88	1988/89
0 - 100	1 800	1 600	1 200	1 300	1 200	1 300
100 - 200	1500	1600	1 200	1 000	1 100	1 000
200 - 300	1 600	1 600	1 100	1 000	800	600
300 - 400	1 200	900	800	700	-	-
400 - 500	700	300	600	400	-	-

Tabel 10 Persentasie wortelverrotting van mielies op persele waarvan die diepte van die watervlak onderling verskil

DIEPTE VAN WATERVLAK BY VERSKILLENDE PERSELE	WORTELVERROTTING (persent) 8 WEKE NA ONTKIEMING	
	1987/88 GROEISEISOEN	1988/89 GROEISEISOEN
600 mm - 1 000 mm (Perseel 1)	0	0
200 mm - 600 mm (Perseel 2)	0	45
0 mm - 600 mm (Perseel 3)	0	75

- (v) Gedurende die 1988/89-groeiseisoen kon visuele simptome van 'n tekort aan fosfaat, gemanifesteer deur die teenwoordigheid van pers kleure op die blare, vanaf vier weke na opkoms van die mielieplante by perseel 3 waargeneem word. Hierdie waarneming word deur die blaaranalises (kyk Tabel 11) bevestig. Grondontledings (Tabel 12) dui op 'n oormaat fosfaat in grond van perseel 3. Die rede vir die oormaat

fosfaat in die grond en tekort aan fosfaat in die plante, was moontlik as gevolg van die onvermoë van die verrotte en swak ontwikkelde wortelstelsel om plantvoedingstowwe op te neem. Sekere swamme kan ook die geleidingsweefsel van die floeëem verstop met die gevolg dat vervoer van ione vanaf die wortels na die bogronde dele gestrem word (Clarkson *et al.*, 1973). Swak opname van fosfaat kan waarskynlik ook gedeeltelik aan die hoë pH (kyk Tabel 12) en gevolglik lae oplosbaarheid van fosfaat toegeskryf word. Swak opname van fosfaat, soos tydens hierdie ondersoek waargeneem, verskil van bevindinge gerapporteer deur Shih & Rosen (1985). Laasgenoemde outeurs het by hoë watervlakke 'n toename in opname van fosfaat waargeneem. Dit mag moontlik die gevolg wees van 'n verskil in pH van die grond in die verskillende ondersoekgebiede.

- (vi) Verskille in ontkieming kan moontlik ook aan dispersie, die gevolg van die hoë persentasie uitruilbare natrium (UNP) aan die grondoppervlak van perseel 3, toegeskryf word. Volgens tabel 12 was die UNP van persele 1 en 2 se bogrond laer as 1. Die UNP van die boonste 50 mm by perseel 3 was daarteenoor so hoog as 22,6. Die dispersie van klei aan die grondoppervlak kon moontlik, tesame met hoë digthede wat deur swigting teweeggebring was, veroorsaak dat fisiese weerstand saailinge benadeel het.

Tabel 11. Resultate van ontleding van blaarmonsters van *Zea mays* (PNR 473) wat ses weke na aanplanting vanaf persele waarvan die diepte van die watervlak onderling verskil, verkry is

DIEPTE VAN WATERVLAK (mm) BY VERSKILLENDE PERSELE	FOSFAAT (persent)		STIKSTOF (persent)	
	1987/88	1988/89	1987/88	1988/89
600 mm - 1 000 mm (Perseel 1)	0,30	0,31	2,58	2,69
200 mm - 600 mm (Perseel 2)	0,29	0,28	2,58	2,65
0 mm - 600 mm (Perseel 3)	0,29	0,14	2,58	2,17

Tabel 12. Resultate van ontledings van grondmonsters wat ses weke na aanplanting van Zea mays (PNR 473) vanaf persele, waarvan die diepte van die watervlak onderling verskil, verkry is.

DIEPTE VAN WATERVLAK	DIEPTE WAAROP MONSTERS GENEEM IS (mm)	UNP		pH		EG (mSm ⁻¹)		P (mg l ⁻¹)	
		1987	1988	1987	1988	1987	1988	1987	1988
600mm-1000mm (Perseel 1)	0 - 50	0,0	0,0	5,3	5,4	4	5	9,49	10,09
	100 - 150	0,3	0,7	4,7	4,6	2	3	10,10	9,85
	250 - 300	0,0	0,0	4,6	4,6	2	2	8,42	8,51
200mm - 600mm (Perseel 2)	0 - 50	0,7	0,	4,8	4,8	1	11	28,98	20,10
	100 - 150	0,0	0,3	4,8	4,9	4	5	10,20	13,35
	250 - 30	0,3	0,7	4,7	4,6	6	6	7,41	8,90
0 - 600mm (perseel 3)	0 - 50	22,6	21,1	6,4	6,5	210	190	34,14	37,47
	100 - 150	13,0	9,9	7,3	7,2	20	20	28,72	34,10
	250 - 300	2,1	2,1	7,0	7,2	9	9	11,43	14,12

6.4 OPSOMMING

'n Oormaat water in die bogrond benadeel ontkieming en begunstig wortelverrotting. Anaërobiese toestande en die teenwoordigheid van hoë brutodigtheid bo 'n hoë fluktuierende watervlak het swak wortelontwikkeling tot gevolg. Daarby veroorsaak dispersie swak ontkieming. Onvoldoende opname van fosfaat en stikstof is met 'n oormaat water in die bogrond geassosiëer. Die geïntegreerde invloed van die verskillende effekte wat met 'n oormaat water bo hoë watervlakke geassosiëer is, het mielie-opbrengste benadeel.

Om drumpelwaardes daar te stel waarmee die ideale diepte van watervlakke vir verbouing van gewasse bepaal kan word, is dit nodig om hierdie tipe ondersoek gedurende langer periodes, wat droë en nat siklusse insluit, by 'n groter verskeidenheid dieptes van watervlakke uit te voer. Dit is egter nou alreeds duidelik dat uitermate hoë

watervlakke ongunstig vir verbouing van mielies is. Volgens die resultate wat in hierdie ondersoek verkry is, moet grond met watervlakke wat soms tot by die grondoppervlak styg, nie vir verbouing van mielies aangewend word nie. Hierdie grond sal waarskynlik beter benut word indien weidinggewasse daarop aangeplant word. Alternatiewe gebruik is die aanplant van wintergewasse. Die diepte van hoë watervlakke bereik 'n paar weke na 'n reën bui 'n ewewigtoestand (Figuur 7) met die gevolg dat die diepte gedurende droë periodes maklik voorspel kan word indien die diepte van die sand en topografie van die paleo-oppervlak bepaal word. Die diepte van die hoë watervlak by perseel drie was gedurende die droë wintermaande van die ondersoek ongeveer 700 mm (Figuur 6). Aangesien dit onder die diepte van bewerking is maar tog binne kapillêre bereik, word dit as 'n ideale diepte beskou vir die aanplant van wintergewasse.

HOOFSTUK 7

ALGEMENE BESPREKING

Met hierdie ondersoek is gepoog om inligting in te win met behulp waarvan die effek van vrywatervlakke op gewasverbouing (veral mielies) verklaar en gekwantifiseer kan word, asook om riglyne vir verhoging in benutting van ondergrondse waterreserwes daar te stel. 'n Verskeidenheid van verskynsels wat geassosieër is met vrywatervlakke is geïdentifiseer, ondersoek en as riglyne gestel vir die bepaling van nuwe benuttingspraktyke van grond in die noordwestelike O.V.S.. Die ondersoek is uitgevoer in die noordwestelike O.V.S. en in besonder in die gebied wat geleë is tussen die 27°00' en 17°15' lengtegrade en 26°40' en 27°11' breedtegrade.

Hidromorfe grond is algemeen waargeneem. Grys matrikskleure, sagte plintiet, geelbruin apedale A-horisonte en E-horisonte is morfologiese kenmerke wat algemeen met die teenwoordigheid van freatiese watervlakke geassosieër is. Die vrywater akkumuleer in sand van eoliese oorsprong bo kleierige vergleyde verweringsprodukte van doleriet, skalie, moddersteen of ander pedogenetiese materiale. Die skeiding tussen die oorliggende sandgrond en kleierige verweringsprodukte van onderliggende gesteentes is duidelik en verteenwoordig die paleo-oppervlak waarvan Harmse (1963, 1969) melding maak. Die water akkumuleer in laagliggende gedeeltes wat met die topografie van die paleo-oppervlak geassosieër is. Die taksonomiese Grondklassifikasiesistiem van Suid-Afrika (Macvicar *et al.*, 1991) kan gebruik word om die teenwoordigheid van vrywater in die ondersoekgebied te voorspel.

In alle gevalle het die dieptes van watervlakke gefluktueer volgens die reënval. Met inagnome van die komponent PA (dit is die afloop op die paleolaag) en K (kapillêre styging) kan hierdie fluktuasies aan die hand van 'n eenvoudige waterbalansmodel, soos verstrek deur Hillel (1971), verklaar word:

$$\Delta WD = R - OA - D - PA - E - T + K; \text{ waar}$$

$$\Delta WD = \text{variasie in diepte van watervlak}$$

$$R = \text{reënval}$$

- OA = oppervlakafloop
- D = diep dreinerings
- PA = afloop op die paleo-oppervlak. Hierdie komponent word nie in die waterbalansmodel van Hillel (1971) in ag geneem nie
- T = transpirasie
- K = kapillêre styging
- E = evaporasie

Aangesien die invloed van die verskillende komponente geïntegreerd is, was daar nie gedurende hierdie ondersoek gepoog om elk individueel te kwantifiseer nie.

Die stadige hidrouliese geleibaarheid (4 tot 40 mm dag⁻¹) van kleileem onder die laag sanderige grond wat uit eoliese sand ontwikkel het, en die vinnige geleibaarheid (700 mm dag⁻¹) van die bogrond het tot gevolg dat die komponente D en OA fluktuering van watervlakke slegs in 'n geringe mate kan beïnvloed. Die goeie deurlaatbaarheid van die bogrond veroorsaak verder dat uitloging van stikstof gedurende die reënseisoen plaasvind. Die gevolg is dat die nitraat-inhoud, gemeet in die vrywater, tot so hoog as 80 mg l⁻¹ kan wees. Indien die watervlak uitermate hoog is, het anaërobiese toestande in die bogrond die ontwikkeling van swak en verrotte wortelstelsels tot gevolg. Hierdie wortels is nie instaat om die groot hoeveelhede nitraat in die vrywater op te neem nie. Die beskikbaarheid van die stikstof aan plante moet egter verder ondersoek word. Hoë konsentrasies stikstof is ook in boorgatwater aangetref. Indien die hoë konsentrasies die gevolg van bemesting is, sal onoordeelkundige bemesting uiteindelik die geskiktheid van water in die ondersoekgebied vir mens- en dierlike gebruik benadeel. Dit is duidelik dat die verhoging in konsentrasie stikstof in boorgatwater 'n ondersoek regverdig en die noodsaaklikheid om dit te monitor is vanselfsprekend.

Laterale vloei in die sandgrond op die paleo-oppervlak is skynbaar veral na periodes van oorvloedige reën 'n belangrike faktor wat die waterbalansmodel beïnvloed. Watervlakke kom dikwels in die sandgrond naby die grondoppervlak voor. Laterale dreinerings op die paleo-oppervlak het tot gevolg dat uitermate hoë watervlakke, veral na 'n periode van oorvloedige reën, vinnig daal totdat veral die topografie van die paleo-oppervlak verdere daling voorkom en ewewigstoestande intree. Verdere daling is hoofsaaklik die gevolg van

evapotranspirasie. Alvorens evapotranspirasie gekwantifiseer kan word, sal 'n tegniek ontwikkel moet word om die water wat op die paleo-oppervlak afloop te kwantifiseer. Daar sal ook vasgestel moet word of water nie op 'n ander wyse verlore gaan nie.

Die hoogte van kapillêre styging in sandgrond, kleileem, kalkkreet en harde plintiet is bereken deur toepassing van Darcy se vloeivergelyking en/of deur gebruik te maak van onversteurde monoliete. Die maksimum hoogte van kapillêre styging deur hierdie materiale is grafies voorgestel in figure 16, 17 en 18. Hierdie figure kan handig gebruik word om die invloed van watervlakke op die bogrond se natheid te voorspel.

Water vanaf watervlakke 500 mm diep (dit is die waargenome maksimum hoogte van kapillêre styging in eoliese sand) en vlakker, kan kapillêr die grondoppervlak bereik en sodoende deur evaporasie verlore raak. Volgens norme vir klassifikasie van besproeiingswater is die alkalie-gevaar van hierdie water laag. Die soutgevaar is egter medium tot hoog. Voortdurende kapillêre beweging vanaf die versadigde sone na die bogrond kan dus veroorsaak dat die bogrond versout.

Aangesien kapillêre styghoogtes van onderskeidelik 1 300 mm en 1 500 mm deur kleileem en kalkkreet waargeneem is, kan verwag word dat transpirasie selfs in die geval van relatief diep watervlakke 'n komponent van die waterbalansmodel kan wees. Daarteenoor kan water slegs 400 mm opwaarts deur harde plintiet styg. 'n Watervlak wat dieper as 400 mm onder die oorgang van die bogrond na harde plintiet geleë is, kan nie 'n bydrae tot die waterinhoud van die bogrond lewer nie.

Mieliewortels word dikwels deur verdigte lae in die grondprofiel verhinder om die kapillêre sone bo die watervlak te bereik. Verdigting is die resultaat van interne of eksterne kragte. Daar is vir die goed gesorteerde sandgrond met lae klei-inhoud van die ondersoekgebied, vasgestel dat bewerking met konvensionele implemente by 'n gravimetriese waterinhoud van ongeveer 7,7 persent maksimum verdigting op bewerkingsdiepte tot gevolg het. Minder of selfs geen verdigting was tydens bewerking van natter of droër grond waargeneem nie. In die teenwoordigheid van hoë vrywatervlakke is die bogrond egter gewoonlik nat met die gevolg dat bewerking dikwels digby hierdie kritiese waterinhoud plaasvind. Indien toepassing van 'n diep bewerking veroorsaak dat 'n verdigte laag in die nat sone ontstaan, sal mieliewortels

hierdie sone tog bereik en in staat wees om kapillêre water vanaf die watervlak te onttrek. Tydens die ondersoek is byvoorbeeld gevind dat daar vanaf 'n 1 300 mm diep watervlak 5,2 mm water dag⁻¹ na wortels direk bo 'n verdigte laag op 'n diepte van 800 mm tot 900 mm, beweeg het. Daar het terselfdertyd minder as 1 mm water dag⁻¹ kapillêr na 'n vlak wortelstelsel bo 'n 200 mm tot 300 mm diep verdigte laag beweeg. Lae mielie-opbrengste is geassosiëer met die teenwoordigheid van verdigte lae bo die kapillêre sone. Dieper bewerking as die diepte van die kapillêre sone is egter onnodig.

In bewerkte grond wat periodiek deur 'n fluktuerende watervlak versadig is, was konsolidasie ook deur interne kragte teweeggebring. Daar is vasgestel dat versadiging van bewerkte sandgrond swigting tot gevolg kan hê. Indien die watervlak daal sal bykomstige konsolidasie, as gevolg van 'n toenemende matrikssuigspanning, plaasvind totdat 'n porieruimteverhouding van 0,71 bereik is. Indien die matrikssuigspanning -9 kPa oorskry, sal die grond se interne weerstand teen vervorming verdere konsolidasie as gevolg van uitdroging voorkom.

Die teenwoordigheid van vrywatervlakke beïnvloed opbrengste van mielies. Bo en behalwe die effek van watervlakke op konsolidasie van die grond en akkumulering van ione, beïnvloed watervlakke ook opbrengste as gevolg van die bydrae tot die hoeveelheid plantbeskikbare water in die bogrond. Indien die kapillêre sone nie deur wortels bereik word nie, word gewasontwikkeling nie deur watervlakke beïnvloed nie. Water wat kapillêr vanaf die watervlak na die wortelsone beweeg het stremming in plante as gevolg van droogte voorkom en opbrengste was hoër. Daarenteen kan die teenwoordigheid van 'n watervlak by die grondoppervlak ontkieming voorkom of vertraag en sodoende opbrengste benadeel. Wortels dring nie die versadigde sone binne nie. Die gevolg is 'n beperkte ruimte vir wortelontwikkeling en gepaardgaande onvoldoende opname van plantvoedingstowwe. Indien 'n aanvanklik diep watervlak tot in die wortelsone styg, kan dit verrotting en afsterwing van wortels veroorsaak.

Dit is duidelik dat die teenwoordigheid van hoë watervlakke 'n belangrike impak op die produksie van gewasse (veral mielies) kan hê. Die potensiaal van grond waar die wortelsone deur kapillêre water benat word, is aansienlik hoër as dié van grond waar dit nie die geval is nie. Verder het dit duidelik gedurende die ondersoek geblyk dat grond met 'n oormaat water in die bogrond 'n lae potensiaal vir mielieverbouing het. Daar kan ook verwag word dat die landboukundige waarde van grond van die Avalonvorm in die ondersoekgebied verskil met

dié van ander gebiede waar geen watervlakke voorkom nie. Hierdie ondersoek dui daarop dat die teenwoordigheid of afwesigheid van grondwatervlakke as 'n kriterium vir potensiaalbepaling van landbougrond gebruik moet word.

Sommige verskynsels wat met hoë watervlakke geassosieer word, het tot gevolg dat grond met hoë watervlakke ($\pm 160\ 000$ hektaar in die noordwestelike O.V.S.) anders op sekere landboukundige gebruike reageer as grond daarsonder. In die verskillende hoofstukke is, na aanleiding van proefondervindelike resultate, riglyne vir grondbenuttingspraktyke neêrgeleë. Hierdie riglyne kan soos volg saamgevat word:

- i. Die hoë hidrouliese geleibaarheid van die sandgrond het tot gevolg dat toegediende stikstof uit die bogrond na die swak deurlaatbare kleierige verweringsprodukte van die onderliggende verwerende gesteentes loog. Bemestingspraktyke sal aangepas moet word en kleiner kwantums stikstof wat met gereelde tussenposes toegedien word, sal moontlik beter resultate lewer. Die hoeveelheid stikstof wat toegedien sou word sonder inagneming van die bevindinge verkry in hierdie ondersoek, moet verminder word met die berekende hoeveelheid wat saam met die water kapillêr na die wortelsone kan beweeg.
- ii. Indien watervlakke vir lang tydperke tot in die wortelsone styg, sal die opname van plantvoedingstowwe deur mieliewortels onvolledig wees. Alhoewel die invloed van bladbemesting op oesresultate nie gedurende hierdie ondersoek geëvalueer was nie, dui die literatuur daarop dat die probleem moontlik gedeeltelik deur bladbemesting oorkom kan word.
- iii. Indien 'n watervlak diep is, sal diep bewerking indringing van wortels na die onderliggende waterreserwes moontlik maak. Opbrengste sal verhoog met toename in diepte van bewerking.
- iv. Indien styging van die watervlak tot in die bewerkte sone verwag word, sal vlak en diep bewerkings ewe effektief wees. Vlak bewerking behoort meer ekonomies te wees en word daarom aanbeveel.

- v. **Bewerking met 'n drietandskeurploeg het die grootste volume los grond tot gevolg. Met die uitsondering van gevalle waar baie diep bewerking noodsaaklik is, word hierdie implement vir bewerking van die sandgrond van die ondersoekgebied aanbeveel. Wanneer dieper bewerkings verlang word, sal bewerking met 'n enkeltandskeurploeg waarskynlik goedkoper wees.**
- vi. **Om verdigting te voorkom moet bewerking van nat grond vermy word. Indien die grond nie so droog is dat kluitvorming tydens bewerking plaasvind nie, moet bewerkingsaksies verkieslik gedurende die droë wintermaande uitgevoer word. Bewerking by 'n laer waterinhoud as die kritiese waterinhoud van 7,7 persent sal dan moontlik wees.**
- vii. **Indien 'n watervlak kapillêr buite die bereik van wortels is, kan dit geen positiewe bydrae tot produksie lewer nie. Die hoogte van kapillêre styging in grond van die ondersoekgebied is in figuur 18 geïllustreer. Aangesien lae opbrengste gedurende seisoene met min reën sal realiseer, kan grond met watervlakke buite die kapillêre bereik van wortels as hoë-risiko-grond geïdentifiseer word. 'n Voorbeeld van hoë-risiko-grond in die noordwestelike O.V. S. is grond van die Hutton- en Clovellyvorm.**
- viii. **'n Watervlak wat kapillêr binne bereik van wortels (hoogte van kapillêre styging is in Figuur 18 geïllustreer) maar dieper as die diepte van bewerking fluktueer, sal gedurende periodieke droogtes water aan die gewas voorsien sonder om nadelige anaërobiese toestande in die wortelsone tot gevolg te hê. Hierdie sone word as die ideale diepte vir die teenwoordigheid van 'n fluktuerende watervlak beskou. Aangesien grond van die Avalonvorm gewoonlik deur die teenwoordigheid van 'n watervlak op hierdie diepte gekenmerk word, word grond van hierdie vorm as lae-risiko-grond beskou.**
- ix. **Watervlakke wat vlakker geleë is as die bewerkingsdiepte kan opbrengste benadeel. Grond met sodanige hoë watervlakke moet nie vir produksie van mielies aangewend word nie. Watervlakke wat gedurende die somer te hoog vir verbouing van mielies**

is, daal egter gewoonlik gedurende die droër wintermaande tot op 'n diepte wat ideaal is vir die verbouing van wintergewasse. Grond in hierdie kategorie is veral grond van die Pinedenevorm.

- x. Die nuwe uitgawe van die Suid-Afrikaanse Binomiese stelsel kan met vrug aangewend word om die teenwoordigheid van vrywatervlakke in grond van die noordwestelike O.V.S. te voorspel.
- xi. 'n Belangrike bydrae van die resultate wat in hierdie ondersoek verkry is, is die daarstelling van bewerkingsriglyne vir sanderige grond van die noordwestelike O.V.S. Hierdie riglyne is in figuur 29 geïllustreer.

Die volgende probleme wat gedurende hierdie ondersoek geïdentifiseer is, behoort verder ondersoek te word:

- i. Die akkumulاسie van toksiese afval in vrywater en grond moet ondersoek word. Die invloed van verskeie aspekte soos anaërobiese toestande, pH, tipe ione en kleimineralogie van die solum sowel as die ondergrond, moet aandag geniet.
- ii. Akkumulاسie van stikstof in boorgat- en grondwater moet oor die langermyn gemonitor word.
- iii. Opstel van bemestingsriglyne wat aangepas is by grond met hoë vrywatervlakke moet aandag geniet.
- iv. Ten einde evapotranspirasie te kwantifiseer, moet 'n tegniek ontwikkel word vir kwantifisering van die water wat op die paleo-oppervlak afloop.
- v. Ekonomiese aspekte van grondbewerking moet in bewerkingsriglyne geïnkorporeer word.

LYS VAN VERKLARENDE TERME

D10	Deeltjiegrootte waar tien persent van die grond se deeltjies fyner is as
Hoogte van kapillêre styging	Die afstand wat water kapillêr bo die boonste grens van die vrywatervlak gestyg het
Ondergrondse water	Water in gesteentes onder die solum
Paleo-oppervlak	Die paleolaag se topografie word deur die paleo-oppervlak aangedui
Paleosol (of paleolaag)	'n Grond wat in die geologiese verlede gevorm en daarna begraaf is
Porieruimteverhouding	Die volume persentasie van die grond wat deur poriëe en porie-ruimtes beslaan word.
Spoorverkeer	Spoorverkeer word toegepas indien trekkers se wiele met elke rit op dieselfde spore tussen die plantrye ry
Swigting	Konsolidasie van grond as gevolg van versadiging sonder verhoging van eksterne ladings
Vrywater	Die grondwater in die versadigde gedeelte van die solum
Vrywatervlak	Waterversadigde gedeelte van die solum
Vrywatervlak (diepte)	Die afstand tussen die boonste grens van die vrywatervlak en die grondoppervlak
Vrywatervlak (diep)	'n Diep vrywatervlak is vêr onder die grondoppervlak

Vrywatervlak
(hoog)

'n Hoë vrywatervlak is naby die grondoppervlak

Vrywatervlak
(freaties)

'n Vrywatervlak wat gekenmerk word deur die teenwoordigheid van
'n onversadigde sone in die solum direk onder die vrywatervlak

TABELLE

	Bladsy
Tabel 1. Enkele kenmerke van grond in die ondersoekgebied	9
Tabel 2. Diepte van vrywatervlakke by verskillende waarnemingspunte	10
Tabel 3. Samestelling van vrywater in die ondersoekgebied gedurende Januarie 1989	29
Tabel 4. Toename van $\text{NO}_3\text{-N}$ in vrywater bo die paleo-oppervlak vanaf September 1988 tot Januarie 1989	31
Tabel 5. Diffusietempo van stikstof vanaf die watervlak na die bewerkte sone	51
Tabel 6. Diepte van watervlak gedurende die ondersoekperiode, by waarnemingspunt 10	75
Tabel 7. Brutodigthed waartoe die bogrond tussen die trekkerspore, sonder toepassing van eksterne ladings, gedurende die groeiseisoene verdig het	80
Tabel 8. Die invloed van uitermate hoë watervlakke op opbrengs van mielies	92
Tabel 9. Verspreiding van wortels van mielies by persele waarvan die diepte van die watervlak onderling verskil	94
Tabel 10. Persentasie wortelverrotting van mielies op persele waarvan die diepte van die watervlak onderling verskil	94

- Tabel 11. Resultate van ontleding van blaarmonsters van Zea mays (PNR 473) wat ses weke na aanplanting vanaf persele waarvan die diepte van die watervlak onderling verskil, verkry is 95
- Tabel 12. Resultate van ontleding van grondmonsters wat ses weke na aanplanting van Zea mays (PNR 473) vanaf persele, waarvan die diepte van die watervlak onderling verskil, verkry is 96

FIGURE

		Bladsy
Figuur 1	Die ondersoekgebied	7
Figuur 2	Diagrammatiese voorstelling van 'n piezometer waarin seisoensfluktuasies in diepte van watervlakke gemeet is	17
Figuur 3	Diagrammatiese voorstelling van die reeks piezometers wat gebruik is om vas te stel of die watervlakke freaties is	17
Figuur 4	Isopagkaart wat die oppervlaktopografie en diepte van vrywater (mm), soos gemeet gedurende Junie 1987, aandui	18
Figuur 5	Skematiese dwarsnit van die proefterrein wat die invloed van die paleo-topografie op teenwoordigheid van vrywater en verspreiding van grondvorms aandui	20
Figuur 6	Die invloed van reënval op verandering in diepte van watervlakke	21
Figuur 7	Verandering in diepte van watervlakke na 100 mm reën op 17 Februarie 1989	23
Figuur 8	Die invloed van die watervlak se diepte op die bogrond se volumetriese waterinhoud	23
Figuur 9	Nitrat (mg l^{-1}) in vrywater by waarnemingspunte 1, 2, 3, 6, 8, 10, 18, 20 en 24 gedurende September 1988, Januarie 1989 en Mei 1989	30
Figuur 10	Nitrat (mg l^{-1}) in ondergrondse water by waarnemingspunte A, B, C, D, E en F gedurende Julie 1989, Oktober 1989 en Januarie 1990 geneem is	34

Figuur 11	Diagrammatiese voorstelling van die paleo-oppervlak se invloed op beweging van water waarin opgeloste soute teenwoordig is	36
Figuur 12	Illustrasie van die monoliete wat gebruik is om kapillêre styging in sand en onderliggende kleileem te evalueer	42
Figuur 13	Diagrammatiese voorstelling van die metode wat gebruik is om kapillêre styging in harde plintiet en kalkkreet <u>in situ</u> te evalueer	43
Figuur 14	Grondwaterkenkrommes, soos bepaal met behulp van tempeselle, van sand en kleileem afkomstig vanaf die ondersoekgebied	45
Figuur 15	Die verwantskap tussen hidrouliese geleivermoë en matrikspotensiaal vir sand en kleileem uit die ondersoekgebied	45
Figuur 16	Hoogte van kapillêre styging vir verskillende vloeddighede, soos bepaal met behulp van Darcy se vloeivergelyking, in grond wat uit eoliese sand ontwikkel het	46
Figuur 17	Hoogte van kapillêre styging vir verskillende vloeddighede, soos bepaal met behulp van Darcy se vloeivergelyking, in klei wat oorelê word deur grond wat uit eoliese sand ontwikkel het	48
Figuur 18	Voorstelling van die invloed van onderskeidelik kleileem, harde plintiet en kalkkreet op die hoogte van kapillêre styging in monoliete of <u>in situ</u>	49

Figuur 19	Verwantskap tussen waterinhoud, brutodigtheid en penetrasieweerstand vir grond wat uit eoliese moedermateriaal ontstaan het	58
Figuur 20	Toename in relatiewe droë brutodigtheid op bewerkingsdiepte, wat vyf skeurploegbewerkings op grond met verskillende waterinhoude tot gevolg gehad het	59
Figuur 21	Die invloed van vyf skeurploegbewerkings op verdigting van 'n fynsandgrond met 'n waterinhoud van 8,6 persent op bewerkingsdiepte (300 mm)	59
Figuur 22a	Diagrammatiese voorstelling van die skeurploë wat gedurende die ondersoek geëvalueer is	63
Figuur 22b	Diagrammatiese voorstelling van verandering in penetrasieweerstand, wat plaasvind wanneer sand wat uit eoliese moedermateriaal ontstaan het, met verskillende tipes skeurploë by 'n waterinhoud van 8,2 persent bewerk word	64
Figuur 23	Die invloed van reënval en diepte van bewerking op mielie-opbrengste	69
Figuur 24	Die invloed van diepte van bewerking op wortelontwikkeling	70
Figuur 25	Die invloed van diepte van bewerking op teenwoordigheid van verdigte sones in die solum	71
Figuur 26	Vloeddigtheid vanaf die watervlak na bewerkingsdiepte soos gemeet op 40, 59 en 75 dae na ontkieming.	74

Figuur 27	Die invloed van deklaagspanning en swigting op konsolidasie van versteurde sandgrond van eoliese oorsprong	82
Figuur 28	Deeltjiegrootteverspreiding van sand van eoliese oorsprong in die ondersoekgebied	85
Figuur 29	Bewerkingsriglyne vir sanderige grond in die noordwestelike O.V.S.	88

VERWYSINGS

- BARBER, S.A. 1984. Soil nutrient bioavailability. New York: John Wiley & Sons.
- BENNIE, A.T.P, BOTHA, F.J.P. & FERREIRA, A.F. 1982. Die effek van verskillende metodes van diepbewerking op mieliegroei. Crop Production, 11: 74-78.
- BENNIE, A.T.P. & BURGER, R. DU T. 1981. Root characteristics of different crops as affected by mechanical resistance in fine sandy soils. Proceedings of the 10th National Congress of the Soil Science Society of South Africa, Technical Communication No. 180, Department of Agriculture, Pretoria.
- BENNIE, A.T.P. & BURGER, R. DU T. 1988. Penetration resistance of fine sandy apedal soils as affected by relative bulk density, water content and texture. Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Plant en Grond, 5: 5-10.
- BODMAN, G.B. & CONSTANTIN, G.K. 1965. Influence of particle size distribution in soil compaction. Hilgardia, 36(15): 567-591.
- BOERSMA, L., SIMONSON, G.H. & WATTS, D.G. 1972. Soil morphology and water table relations: I. Annual water table fluctuations. Proceedings, Soil Science Society of America, 36: 644-648.
- BöHM, W., MADUAKOR, H. & TAYLOR, H.M. 1977. Comparison of five methods for characterizing soybean rooting density and development. Agronomy Journal, 69: 415-419.
- BOOTH, A.R. 1975. The factors influencing collapse settlement in compacted soils. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 6: 57-63.
- BOTHA, A.D.P. & PRETORIUS, D.C. 1988. Ammonia volatilization and denitrification losses from commercial fertilizers applied to soil samples. Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Plant en Grond, 5: 89-91.

- BOTHA, F.J.P. 1983. The effect of soil cultivation on water use efficiency of irrigated maize and wheat. Bloemfontein. (Verhandeling (M.Sc)-Universiteit van die Oranje Vrystaat, ongepubliseer.).
- BOTHA, F.J.P. & BENNIE, A.T.P. 1982. Die invloed van grondbewerking op waterverbruiksdoeltreffendheid van mielies onder besproeiing. Crop Production, 11: 26-29.
- BOUWER, H. & JACKSON, R.D. 1974. Determining soil properties. (In Van Schilfgaard, J., red. Drainage for agriculture. Wisconsin: American Society of Agronomy).
- BOWLES, J.E. 1970. Engineering properties of soils and their measurement. New York: McGraw-Hill.
- BRANDYK, T. & WESSELING, J.G. 1985. Steady state capillary rise in some soil profiles. Z. pflanzernaehr. Bodenk., 148: 54-65.
- BROEKMAN, J.J. 1982. Handleiding vir penetrometer model S.A.M.K.I. Potchefstroom: Instituut vir Bodemkundige Navorsing, PU vir CHO.
- CAMP, C.R. 1969. The effect of drying on soil strength parameters. Proceedings, Soil Science Society of America, 33: 641-644.
- CAVAZZA, L. & ROSSI PISA, P. 1988. Effect of watertable depth and waterlogging on crop yield. Agricultural Water Management, 14: 29-34.
- CHAMBERS, K.R. 1987. Epidemiology of maize root rot in South Africa. Journal of Phytopathology, 118: 84-93.
- CHANCELLER, W.J. 1977. Compaction of soil by agricultural equipment. University of California: Division of Agricultural Sciences.

- CHILDS, E.C. 1969. An introduction to the physical basis of soil water phenomena. London: Wiley.
- CLARKSON, D.T., DREW, M.C., SANDERSON, J. & HORNBY, D. 1973. Effect of 'take-all' fungus Gaeumannomyces graminis, on nutrient transport in wheat. Republic Agricultural Research Council, Letcombe Laboratory, 1972: 9-16.
- DANIËLS, R.G., GAMBLE, E.E. & NELSON, L.A. 1971. Relation between soil morphology and water-table levels on a dissected North Carolina coastal plain surface. Proceedings, Soil Science Society of America, 35: 781-784.
- DAY, P.R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis (In Black, C.A., red. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Wisconsin: American Society of Agronomy, Washington).
- DU PREEZ, C.C. & BURGER, R. DU T. 1986. Anorganiese stikstof in mieligronde van die Oranje-Vrystaat en Transvaal met planttyd, 1984. Suid- Afrikaanse Tydskrif vir Plant en Grond, 3: 148-150.
- DU PREEZ, C.C., BURGER, R. DU T. & BENNIE, A.T.P. 1980. Interaksies tussen bewerkingspraktyke, grondverdigting en gewasontwikkeling te Vaalharts. Die invloed van grondverdigting op gewasontwikkeling. Agrochemophysica, 12: 45-52.
- DU TOIT, J.J. 1968. Root rot of young maize plant - the causal fungi. South African Journal of Agricultural Science, 11: 595-604.
- DU TOIT, W. 1989. Die invloed van bemestingplasing op wortelontwikkeling van mielies. Suid Afrikaanse Tydskrif vir Plant en Grond, 6: 142-143.
- ELOFF, J.F. 1984. Die grondhulpbronne van die Vrystaatstreek. Stellenbosch. (Proefskrif (Ph.D) - Universiteit van Stellenbosch, ongepubliseer.).

- ENGINEERING LABORATORY EQUIPMENT LIMITED. 1980. Operating instructions: Consolidation apparatus EL 28-205. England: Hertfordshire: Engineering Laboratory Equipment Limited.
- FOLLETT, R.F., ALMARAS, R.R. & REICHMAN, G.A. 1974. Distribution of corn roots in sandy soil with declining water table. Agronomy Journal, 66: 288-292.
- FRANZMEIER, D.P., YAHNER, J.E., STEINHARDT, G.C. & SINCLAIR, H.R. 1983. Color patterns and water table levels in some Indiana soils. Soil Science Society of America, Journal, 47: 1196-1202.
- FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. 1979. Groundwater. New Jersey: Prentice-Hall.
- FREITAG, D.R. 1971. Methods of measuring soil compaction. (In Barnes, K.K., Carleton, W.M., Taylor, H.M., Trochmorton, R.I. & Vanden Berg, G.E., reds. Compaction of agricultural soils. Michigan: American Society of Agricultural Engineers).
- GARDNER, W.R. & FIREMAN, M. 1957. Laboratory studies of evaporation from soil columns in the presence of a water table. Soil Science, 85: 244-249
- GERARD, C.J. 1965. The influence of soil moisture, soil texture, drying conditions and exchangeable cations on soil strength. Proceedings, Soil Science Society of America, 29: 641-645.
- GRABLE, A.R. 1971. Effects of compaction on content and transmission of air in soils. (In Barnes, K.K., Carleton, W.M., Taylor, H.M., Trachmorton, R.I. & Vanden Berg, G.E., reds. Compaction of agricultural soils. Michigan: American Society of Agricultural Engineers).
- GREEN, G.C. 1985. Beraamde besproeiingsbehoefte van gewasse in Suid Afrika. Deel 2. Memoirs oor die natuurlike hulpbronne van Suid Afrika. 2. Departement van Landbou en Watervoorsiening, Pretoria.

- GROOT, J.M. & DE JAGER, A.W. 1969. Yield depressions due to lowering of the watertable on sandy soils in the Netherlands. Netherland, Journal of Agricultural Science. 17: 99-108.
- HALL, D.G.M., REEVE, M.J., THOMASSON, A.J. & WRIGHT, V.F. 1977. Water retention, porosity and density of field soils. Harpenden: Rothamsted Experimental Station. 75 p. (Soil Survey Technical Monograph No. 9.).
- HARLAN, P.W. & FRANZMEIER, D.P. 1974. Soil-Water Regimes in Brookston and Crosby Soils. Proceedings, Soil Science Society of America, 38: 638-643.
- HARMSE, H.J. VON M. 1963. The sedimentary petrology of the aeolian sands in the North-Western Orange Free State. Potchefstroom. (Verhandeling (M.Sc) - Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys, ongepubliseer.).
- HARMSE, H.J. VON M. 1969. The influence of periodic phenomena during the Quaternary on soil genesis in the Highveld Region. South African Archaeological Bulletin, 24: 123-124.
- HARRIS, W.L. 1971. The soil compaction process. (In Barnes, K.K., Carleton, W.M., Taylor, H.M., Trochmorton, R.I. & Vanden Berg, G.E., reds. Compaction of agricultural soils. Michigan: American Society of Agricultural Engineers).
- HATTINGH, A.M. 1986. Kleimineralogie, kationuitruilkapasiteit en waterhouvermoë van grondvorme in die Hoëveldstreek. Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Plant en Grond, 3: 103-109.
- HENNING, J.A.G. 1984. 'n Evaluering van faktore wat verdigting van grond, waarop mielies in die Hoëveldstreek verbou word, beïnvloed. Potchefstroom. (Verhandeling (M.Sc) - Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys, ongepubliseer.).

- HENNING, J.A.G., NEL, D.J. & HARMSE, H.J. VON M. 1986. Die invloed van verdigtingspoging, klei- en waterinhoud op verdigting van geselekteerde Hoëveldgronde. Suid Afrikaanse Tydskrif vir Plant en Grond, 3: 119-122.
- HILLEL, D. 1971. Soil and water. Physical principles and processes. New York: Academic Press.
- HOPMANS, J.W. & IMMERZEEL, C.H. 1988. Variation in evapotranspiration and capillary rise with changing soil profile characteristics. Agricultural Water Management, 13: 297-305.
- JACKSON, M.L. 1958. Soil chemical analysis. London: Constable and Company.
- JACKSON, R.D. 1972. On the calculation of hydraulic conductivity. Proceedings, Soil Science Society of America, 36: 380-382.
- JENNINGS, J.E. & KNIGHT, K. 1975. A guide to construction on or with materials exhibiting additional settlement due to "collapse" of grain structure. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 6: 99-105.
- JOHNSON, W.R., ITTIHADIEH, F., DAUM, R.M. & PILLSBURY, A.F. 1965. Nitrogen and phosphorus in tile drainage effluent. Proceedings, Soil Science Society of America, 29: 287-289.
- KEENEY, D.R. & NELSON, D.W. 1982. Nitrogen-inorganic forms. (In Page, A.L. red. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Wisconsin: American Society of Agronomy.
- KEMPER, W.D., STEWART, B.A. & PORTER, L.K. 1971. Effects of compaction on soil nutrient status. (In Barnes, K.K., Carleton, W.M., Taylor, H.M., Trockmorton, R.I. & Vanden Berg, G.E. reds. Compaction of agricultural soils. Michigan: American Society of Agricultural Engineers).

- KNIGHT, K. 1961. The collapse of structure of sandy sub-soils on wetting. Johannesburg. (Dissertation (Ph.D) - University of the Witwatersrand, ongepubliseer.)
- KOCH, C.D. 1974. Die invloed van sekere bewerkingsmetodes en bemestingsplasing op die mielieopbrengs op Viljoenskroon- en Bleeksandgrondseries. Crop Production, 3: 57-59.
- KOCH, C.D. & BADENHORST, J.H. 1977. Grondbewerkingspraktyke by mielieverbouing. Mielies F. 1.1. Pretoria: Departement van Landbouetegniese Dienste. 78 p.
- KUNZE, R.J., VEHARA, G. & GRAHAM. 1968. Factors important in the calculation of hydraulic conductivity. Proceedings, Soil Science Society of America, 32: 760 - 765.
- LANDTIPE-OPNAMEPERSONEEL. 1984. Landtipes van die kaart 2626 Wes-Rand, 2726 Kroonstad. Memoirs natuurlike landbouhulpbronne van Suid-Afrika no 4.
- LARSON, W.E., GUPTA, S.C. & USECHE, R.A. 1979. Compression of agricultural soils from eight soil orders. Minnesota: Agricultural Research, U.S. Department of Agriculture. 29 p. (Science Journal Serie no. 10, 586.).
- LOUBSER, H.L., BANTJES, T.H. & BRONKHORST, B. 1989. Effek van temperatuur, grondmatriks- en osmotiese potensiaal op die ontkieming en opkoms van sonneblomsaad. Toegepaste Plantwetenskap, 3: 27-30.
- LUXMOORE, R.J. 1973. Application of the Green and Corey method for computing hydraulic conductivity in hydrologic modeling. 22p. (U.S. Atomic Energy Commission contract No. W-7405-eng-26.).
- MACVICAR, C.N., LOXTON, R.F., LAMBRECHTS, J.J.N, LE ROUX, J., DE VILLIERS, J.M., VERSTER, E., MERRYWEATHER, F.R., VAN ROOYEN, T.H. &

- HARMSE, H.J. VON M. 1977. Grondklassifikasie. 'n Binomiese sisteem vir Suid-Afrika. Departement Landboutegniese Dienste, Pretoria. (Wetenskap Bulletin 390.).
- MACVICAR, C.N., LAMBRECHTS, J.J.N., BENNIE, A.T.P., BRUCE, R.W., DE VILLIERS, J.M., DOHSE, I.E., ELLIS, F., ELOFF, J.F., FEY, M.V., GREY, D.D., HARMSE, H.J. VON M., HARTMANN, M.O., HENSLEY, M. & IDEMA, S.W.J. 1991. Grondklassifikasie. 'n Taksonomiese sisteem vir Suid Afrika. Departement Landbou en Watervoorsiening, Pretoria. (Memoirs oor die Natuurlike Landbouhulpbronne van Suid Afrika. No. 16.).
- MALLETT, J.B. 1982. Tillage and its effects upon the physical properties of some Southern African soils. (Lesing gelewer by die negende simposium van die "International Soil Tillage Research Organisation, ISTRO".) Yugoslavia, 6p. (Ongepubliseer.).
- MALLETT, J.B., KOCH, C.D., VISSER, P.A. & BOTHA, A.J. 1985. Tillage-related soil compaction and its effect upon maize grain yields on a Viljoenskroon fine sand. Suid Afrikaanse Tydskrif vir Plant en Grond, 2(1): 52-56.
- MASON, B. 1958. Principles of geochemistry. New York: Wiley. 310 p.
- MCKYES, E., STERNSHORN, E. & BOUSQUET, R. 1980. Damage to agricultural fields by construction traffic. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 23(6): 1388-1391.
- MC NEAL, B.L. 1974. Soil salts and their effects on water movement. (In Van Schilfgaarde, J., red. Drainage for agriculture. Wisconsin: American Society of Agronomy).
- MEMON, N.A., MADRAMOOTOO, C.A., PRASHER, S.O. & BROUGHTON, R.S. 1986. A method for estimating the steady upward flux from a water table. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1646-1649.

- MOOLMAN, J.H. & WEBER, H.W. 1978. 'n Ondersoek na die bydrae van die fynsandfraksie tot die verdigbaarheid van fynsandgrond in Suid-Kaapland. Agrochemophysica, 10(4): 39-46.
- MULLINS, C.E. & PANAYIOTOPOULOS, K.P. 1984. Compaction and shrinkage of sand and sand-kaolin mixtures. Soil and Tillage Research, 4: 191-198.
- NATH, J. & SINGH, R. 1984. Effect of water-table depth and soil texture on evaporation rate - a comparison of different methods of prediction. Journal of Indian Society of Soil Science, 32: 409-414.
- PAGLIAI, M., PEZZAROSSA, B., ZERBI, G., ALVINO, A., PINI, R., & VIGNA GUIDI, G. 1989. Soil porosity in a peach orchard as influenced by water table depth. Agricultural Water Management, 16: 63-73.
- PIETERSE, M.J. 1989. Drinking-water quality criteria with special reference to the South-African experience. Water South Africa, 15: 169-178.
- POINKE, H.B., GLOTFELTY, D.E., LUCAS, A.D. & URBAN, J.B. 1988. Pesticide contamination of groundwaters in the Mahantanger Creek Watershed. Journal of environmental Quality, 17: 76-84.
- RAGAB, R.A. & AMER, F. 1986. Estimating water table contribution to the water supply of maize. Agricultural Water Management, 11: 221-230.
- REICOSKY, D.C., MILLINGTON, R.J., KLUTE, A. & PETERS, D.B. 1972. Patterns of water uptake and root distribution of soybeans. Agronomy Journal, 64: 292-297.
- RICHARDS, L.A. 1969. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: U.S. Government Printing Office. 160 p. (Agriculture Handbook No. 60.).

- RIS, J., SMILDE, K.W. & WIJNEN, G. 1981. Nitrogen fertilizer recommendation for arable crops as based on soil analysis. Fertilization Research, 2: 21-32.
- RUSSELL, R.C. 1977. Plant root systems: Their function and interaction with the soils. New York: Mc Graw-Hill.
- SCHWARTZ, K. 1985. Collapsible soils. The civil engineer in South Africa, July: 379-393.
- SCHWARTZ, K. & YATES, J.R.C. 1980 Engineering properties of aeolian Kalahari sands. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 7: 67-74.
- SCHWERTMANN, U. 1971. Transformation of hematite to goethite in soils. Nature, 232: 624-625.
- SHIH, S.F. & ROSEN, M. 1985. Water table effects on nutrient contents of celery, lettuce and sweet corn. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 28: 1867-1870.
- SIMONSON, G.H. & BOERSMA, L. 1972. Soil morphology and water table relations: II. Correlation between annual water table fluctuations and profile features. Proceedings, Soil Science Society of America, 36: 649-653.
- SOEHNE, W. 1958. Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tyres. Agricultural Engineering, 39(5): 276-291.
- SONNEVELD, C. & DE KREIJ, C. 1986. Normen voor waterkwaliteit in de glastuinbouw. Serie: Voedingsoplossing Glastuinbouw, 25p.
- SOWERS, G.B. & SOWERS, G.F. 1970. Soil mechanics and foundations. London: Colliers-Macmillan.
- STUFF, R.G. & DALE, R.F. 1978. A soil moisture budget model accounting for shallow water table influences. Soil Science Society of America, Journal, 42: 637-643.

- TOWNER, G.D. 1961. Influence of soil-water suction on some mechanical properties of soils. Journal of Soil Science, 12: 180-187.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1973. Water quality criteria. Washington: Governmental Printing Office. (EPA R3 73033.).
- VAN DER MERWE, A.J., JOHNSON, J.C. & RAS, L.S.K. 1984. A $\text{NH}_4\text{HCO}_3\text{-NH}_4\text{F(NH}_4)_2$ - EDTA method for the determination of extractable P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn and Zn in soils. Pretoria: Soil and Irrigation Research Institute. (Information Bulletin B2/2.).
- VAN DER WALT, P.P. & DU PREEZ, C.C. 1991. Nitraatontledings as hulpmiddel by stikstofbemestingaanbevelings in die westelike mielieproduserende geibede van Suid-Afrika. Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Plant en Grond, 8(1):6-11.
- VANDER WATT, H.V.H. 1969. Influence of particle size distribution on soil compactibility. Agrochemophysica, 1(3+4): 79-86.
- VAN HUYSSTEEN, L. 1989. Quantification of the compaction problem of selected vineyard soils and a critical assessment of methods to predict soil bulk density from soil texture. Stellenbosch. (Proefskrif (Ph.D) - Universiteit van Stellenbosch, ongepubliseer.).
- WIEN, C., LAB, R. & PULVER, E.L. 1979. Effect of transient flooding on growth and yield of some tropical crops. (In Lal, R. & Greenland, D.J., eds. Soil physical properties and crop production in the tropics, New York: John Wiley & Sons. p. 233-245.).
- WILLAT, S.T. & WALLIS, A.H. 1965. Soil compaction in front of simple tillage tools. Journal of Agricultural Engineering Research, 10(2): 109-113.
- WILLIAMS, A.A.B. 1957. Discussion. Transactions of the South African Institute of Civil Engineers, 7: 121-123.

ZOBECK, T.M. & RITCHIE, A. 1984. Analysis of long-term water table depth records from a hydro sequence of soils in Central Ohio. Soil Science Society of America, Journal, 48: 119-125.

DANKBETUIGINGS

Die skrywer wil hiermee 'n woord van opregte dank rig aan alle persone en instansies wat 'n bydrae tot die voltooiing van hierdie proefskrif gelewer het. 'n Woord van spesiale dank aan die volgende persone:

Dr. D.J. Nel, vir sy waardevolle leiding, hulp, kritiek en belangstelling tydens die uitvoering van die werk en by die opstel van die proefskrif.

Professor H.J. von M. Harmse wat die onderwerp en ondersoekterrein voorgestel het, vir sy waardevolle hulp en leiding met die onderneming en voltooiing van hierdie werkstuk.

Die Direkteur van die NIGG en die Departement van Landbou en Watervoorsiening vir toestemming om amptelike werk as studiemateriaal te kon gebruik.

Mev. Buýtendorp wat verantwoordelik was vir die tik van die verhandeling.

My kollegas by die NIGG en veral Dirk Stoffberg wat behulpsaam was met die veldwerk.

My ouers vir hulle voortdurende aanmoediging waarsonder hierdie proefskrif nie voltooi sou word nie.

My vrou en kinders vir al hul geduld en opofferings.

Ten laaste in diepe erkentlikheid bring ek aan die Skepper my dank vir die goeie gesondheid, krag en helderheid van verstand wat ek altyd ontvang het en ook dat Hy so 'n wonderlike aarde geskep het waarin alles op 'n ordelike wyse onderling afhanklik is.

Bylae 1. Enkele morfologiese kenmerke van grond wat in die ondersoekgebied geleë is en wat in hierdie ondersoek ter sprake kom

WAARNEMINGSPUNT (KYK FIGUUR 1)	GRONDKLASSIFIKASIE VOLGENS DIE BINOMINALE GRONDKLASSIFIKASIE- SISTEEM VAN S.A. VAN 1977 EN 1991		ONDERLIGGENDE MATERIAAL	PROFIEL- DIEPTE (mm)	DEELTJIEGROOTTE-INDELING (%)					OORHEERSENDE GRONDKLEUR *	SAGTE PLINTIET **			
					<2 μ	2-20 μ	20-250 μ	250-500 μ	>500 μ					
1	<u>1977</u> VORM Avalon	SERIE Viljoenskroon	Tvl skalie	150	2,4	0,4	82,3	13,5	0,9	Geel	-			
				300	2,3	0,3	81	14,6	1,4	Geel	-			
				450	3,1	0,5	84,6	11,8	0,9	Geel	-			
				600	9,3	0,7	76	13,1	1,4	Geel	-			
				750	7,1	0,6	76,4	14,8	1,5	Geel	-			
				900	5,7	0,6	73,9	17,2	1,9	Geel/Grys	-			
	<u>1991</u> VORM Avalon	FAMILIE Kameelbos		1050	9,8	0,3	73,3	15,7	1,5	Geel/Grys	1			
				1200	17,8	3,7	65,7	11,2	1,2	Geel/Grys	1			
				1350	22,4	2,5	63,1	11,1	2,2	Geel/Grys	1			
				1500	20,4	2,8	57	16,9	3,5	Grys/Geel	1			
				2	<u>1977</u> VORM Longlands	SERIE Orkney	Tvl skalie	150	4,0	0,5	71,6	20,9	2,3	Geel
300	3,2	0,2	79,1					14,8	1,8	Geel	-			
450	4,0	0,6	61,0					30,4	2,6	Geel	-			
600	3,5	0,8	76,3					16,1	3,1	Geel	-			
750	6,5	0,9	58,0					30,1	2,4	Geel	-			
900	10,3	0,7	68,1					16,6	2,3	Geel	-			
<u>1991</u> VORM Longlands	FAMILIE Ermelo	1050	15,2		1,3	63,4		16,4	2,2	Geel	1			
		1200	16,4		1,5	61,1		18,7	2,0	Geel/Grys	2			
		1350	20,9		3,0	61,5		13,2	2,2	Grys/Geel	1			
		1500	23,1		3,0	55,5		15,7	3,4	Grys	1			
		3	<u>1977</u> VORM Avalon		SERIE Viljoenskroon	Harde plintiet/ andesiet		150	3,7	0,5	72,2	20,9	2,3	Geel
300	3,0			0,5			64,7	26,5	2,8	Geel	-			
450	3,2			0,4			79,1	15,5	0,9	Geel	-			
600	6,0			1,1			61,2	27,3	2,3	Geel	-			
750	6,9			0,7			53,5	32,7	3,6	Geel	-			
900	9,6			0,7			65,3	19,0	2,6	Geel	-			
<u>1991</u> VORM Avalon	FAMILIE Kameelbos		1050	12,1	1,6		69,3	16,0	1,6	Geel	1			
			1200	15,6	1,0		58,2	21,9	3,7	Geel/Grys	1			
			1350	20,0	1,5		60,2	16,8	2,3	Geel/Grys	2			
			1500	19,8	2,3		56,1	19,7	1,4	Geel/Grys	2			

Bylae 1. Vervolg

WAARNEMINGSPUNT (KYK FIGUUR 1)	GRONDKLASSIFIKASIE VOLGENS DIE BINOMINALE GRONDKLASSIFIKASIE- SISTEEM VAN S.A. VAN 1977 EN 1991		ONDERLIGGENDE MATERIAAL	PROFIEL- DIEPTE (mm)	DEELTJIEGROOTTE-INDELING (%)					OORHEERSENDE GRONDKLEUR *	SAGTE PLINTIET **
					< 2 μ	2 - 20 μ	20 - 250 μ	250 - 500 μ	> 500 μ		
4	<u>1977</u>	SERIE Mangano	Doleriet- saproliet	150	11,3	2,6	63,8	17,4	4,1	Rooi	-
	VORM			300	10,7	1,5	66,9	18,4	2,5	Rooi	-
	Hutton			450	11,2	1,5	65,8	16,9	2,0	Rooi	-
	<u>1991</u>			600	15,0	3,0	68,5	11,5	1,8	Rooi	-
	VORM			750	20,2	0,8	61,3	14,7	1,3	Rooi	-
	Hutton	900		21,2	0,6	54,5	20,0	1,6	Rooi	-	
	<u>1991</u>	1050		21,9	1,6	56,1	17,9	1,5	Rooi	-	
	VORM	1200		25,6	2,6	52,4	19,0	1,0	Rooi	-	
	Hutton	1350		24,2	4,2	53,4	16,8	1,4	Rooi	-	
	Stella	1500		19,6	3,5	60,5	13,1	0,8	Rooi	-	
5	<u>1977</u>	SERIE Vermaas	Doleriet- saproliet	150	9,1	1,9	71,9	14,8	1,5	Bruin	-
	VORM			300	10,0	1,4	71,9	17,0	1,6	Rooi	-
	Bainsvlei			450	9,9	2,2	72,7	13,4	1,0	Rooi	-
	<u>1991</u>			600	14,3	1,6	65,6	17,0	1,4	Rooi	1
	VORM			750	22,7	3,2	60,1	13,0	2,4	Rooi	2
	Bainsvlei	900		28,0	2,0	51,4	17,3	1,9	Rooi	3	
	<u>1991</u>	1050		21,8	6,1	40,4	27,1	6,2	Rooi	3	
	VORM	FAMILIE									
	Bainsvlei	Amalia									
	6	<u>1977</u>		SERIE Bleeksand	Tvl-skalie	150	8,7	1,1	75,0	13,7	1,1
VORM		300	8,1			1,1	79,7	10,4	0,6	Geel	-
Avalon		450	11,3			0,8	74,6	12,9	0,9	Geel	-
<u>1991</u>		600	14,5			1,3	61,1	22,0	1,9	Geel	-
VORM		750	17,0			0,7	62,6	18,2	2,0	Geel	-
Avalon		900	23,2	1,3		62,0	12,6	1,5	Geel/Grys	2	
<u>1991</u>		1050	33,1	1,6		52,6	9,3	0,9	Geel/Grys	2	
VORM		1200	37,6	1,9		52,0	9,1	1,2	Geel/Grys	2	
Avalon		1350	35,5	0,6		51,0	12,8	1,3	Geel/Grys	2	
Kameelbos		1500	34,7	1,0		52,7	11,1	1,4	Geel/Grys	1	

Bylae 1. Vervolg

WAARNEMINGSPUNT (KYK FIGUUR 1)	GRONDKLASSIFIKASIE VOLGENS DIE BINOMINALE GRONDKLASSIFIKASIE- SISTEEM VAN S.A. VAN 1977 EN 1991		ONDERLIGGENDE MATERIAAL	PROFIEL- DIEPTE (mm)	DEELTJIEGROOTTE-INDELING (%)					OORHEERSENDE GRONDKLEUR *	SAGTE PLINTIET **	
					< 2µ	2 - 20µ	20 - 250µ	250 - 500µ	> 500µ			
7	<u>1977</u> VORM Avalon	SERIE Soetmelk	Tvl-skalie	150	8,1	0,4	79,6	11,4	0,9	Geel Geel Geel/Grys Geel/Grys Grys Grys Grys Grys	- - - - 1 1 1 1	
				300	9,5	0,1	77,6	11,6	1,0			
				450	10,7	0,8	73,0	13,9	1,3			
				600	25,5	0,4	57,4	14,9	1,3			
				750	22,2	0,0	56,1	19,6	1,7			
				900	21,6	0,6	62,0	13,6	1,3			
	<u>1991</u> VORM Avalon	FAMILIE Mafikeng		1050	20,4	1,3	51,0	26,2	1,6	Grys Grys Grys Grys Grys	1 1 1 1 1	
				1200	19,9	1,4	58,8	19,3	1,5			
				1350	22,2	1,3	61,1	14,0	1,5			
				1500	24,0	1,4	60,7	13,5	1,2			
8	<u>1977</u> VORM Avalon	SERIE Mafikeng	Tvl-skalie	150	5,1	0,5	62,3	27,5	4,7	Geel Geel Geel Geel Geel/Grys Geel/Grys Grys Grys	- - - - - 1 1 1 1	
				300	4,7	0,9	67,2	24,4	2,4			
				450	5,3	0,9	62,8	27,1	3,4			
				600	6,8	0,6	59,1	28,7	4,5			
				750	18,3	0,8	59,6	18,5	2,8			
				900	28,6	1,4	52,9	15,1	2,9			
	<u>1991</u> VORM Avalon	FAMILIE Kameelbos		1050	28,4	1,4	48,2	19,1	3,1	Grys Grys Grys Grys Grys	1 1 1 1 1	
				1200	26,6	2,5	52,6	16,1	2,9			
				1350	32,5	2,8	50,2	12,7	2,5			
				1500	35,8	3,7	50,6	9,7	1,6			
9	<u>1977</u> VORM Avalon	SERIE Bleeksand	Kalkreet	150	4,4	1,0	76,3	16,9	1,1	Geel Geel Geel/Grys Geel/Grys Grys Grys	- - 1 3 3 2 1	
				300	2,8	1,0	62,0	30,7	4,0			
				450	14,5	1,2	57,8	23,8	3,0			
				600	23,9	1,4	58,8	15,4	1,8			
				750	21,1	1,4	56,6	18,4	3,2			
				900	19,5	1,3	55,5	20,2	4,1			
	<u>1991</u> VORM Avalon	FAMILIE Mafikeng		1050	21,5	4,5	52,1	17,8	4,8	Grys	1	

Bylae 1. Vervolg

WAARNEMINGSPUNT (KYK FIGUUR 1)	GRONDKLASSIFIKASIE VOLGENS DIE BINOMINALE GRONDKLASSIFIKASIE- SISTEEM VAN S.A. VAN 1977 EN 1991		ONDERLIGGENDE MATERIAAL	PROFIEL- DIEPTE (mm)	DEELTJIEGROOTTE-INDELING (%)					OORHEERSENDE GRONDKLEUR *	SAGTE PLINTIET **
					<2μ	2-20μ	20-250μ	250-500μ	>500μ		
10	<u>1977</u>		Kalkreet	150	4,9	1,6	59	32,5	1,6	Geel	-
	VORM	SERIE		300	5,0	1,3	66,3	25,8	1,3	Geel	-
	Avalon	Bleeksand		450	5,0	0,9	69,7	22,5	0,9	Geel	-
	<u>1991</u>			600	6,1	1,2	70,5	18,7	1,2	Geel	-
	VORM	FAMILIE		750	6,5	1,5	65,8	24,1	1,5	Geel	-
	Avalon	Kameelbos		900	6,0	2,8	63,7	22,7	2,8	Geel	1
			1050	7,5	2,5	63,5	22,9	2,5	Geel/Grys	3	
11	<u>1977</u>		Kalkreet	150	5,3	0,7	72,4	18,9	2,4	Geel	-
	VORM	SERIE		300	5,3	1,0	69,2	21,2	2,2	Geel	-
	Avalon	Bleeksand		450	7,1	1,2	65,1	24,0	2,1	Geel	-
	<u>1991</u>			600	8,9	1,4	65,2	22,8	2,2	Geel	-
	VORM	FAMILIE		750	10,4	0,1	71,8	15,7	1,6	Geel	1
	Avalon	Kameelbos		900	9,8	0,7	65,9	20,4	2,8	Geel	3
12	<u>1977</u>		Doleriet- saproliet	150	11,0	2,5	65,3	19,9	1,8	Geel	-
	VORM	SERIE		300	9,8	2,8	56,4	28,2	2,9	Bruin	-
	Bainsvlei	Vermaas		450	10,8	2,2	68,4	17,3	1,2	Rooi	-
	<u>1991</u>			600	12,0	2,9	63,8	19,1	2,3	Rooi	-
	VORM	FAMILIE		750	15,9	3,1	63,1	17,4	1,7	Rooi	-
	Bainsvlei	Kameelbos		900	16,8	3,4	62,1	16,2	2,0	Rooi	1
			1050	16,7	2,9	61,4	16,1	2,5	Rooi	3	
			1200	15,9	6,8	50,7	15,8	11,5	Rooi	3	

Bylae 1. Vervolg

WAARNEMINGSPUNT (KYK FIGUUR 1)	GRONDKLASSIFIKASIE VOLGENS DIE BINOMINALE GRONDKLASSIFIKASIE- SISTEM VAN S.A. VAN 1977 EN 1991		ONDERLIGGENDE MATERIAAL	PROFIEL- DIEPTE (mm)	DEELTJIEGROOTTE-INDELING (%)					OORHEERSENDE GRONDKLEUR *	SAGTE PLINTIET **		
					< 2 μ	2 - 20 μ	20 - 250 μ	250 - 500 μ	> 500 μ				
13	<u>1977</u>	SERIE	Doleriet- saproliet	150	8,4	0,9	76,4	12,4	1,7	Bruin Rooi Rooi Rooi Rooi	-		
	VORM			300	9,6	1,7	64,4	21,8	1,7		-		
				450	11,2	2,0	67,2	17,1	2,8		-		
	Hutton			600	14,3	2,1	65,5	15,3	3,1		-		
				750	18,0	2,0	62,2	14,3	3,2		-		
	<u>1991</u>	FAMILIE		900	12,1	11,6	63,2	10,8	2,4	Rooi	-		
	VORM			1050	19,1	4,5	62,6	11,6	2,8	Rooi	-		
				1200	18,5	4,1	56,8	14,2	7,1	Rooi	-		
				1350	8,9	7,0	49,9	13,7	11,0	Rooi/Grys	-		
	Bloemdal			1500	18,7	8,9	46,5	14,6	13,1	Rooi/Grys	1		
	14	<u>1977</u>		SERIE	Ecca- moddersteen	150	2,5	0,9	72,9	21,0	1,5	Geel Geel Geel Geel Geel/Grys	-
		VORM				300	3,1	0,7	75,8	18,2	1,4		-
						450	3,0	0,6	81,3	13,9	0,8		-
Avalon		600	4,0			0,7	79,8	14,0	1,1	-			
		750	8,1			1,0	72,3	17,0	1,1	-			
<u>1991</u>		FAMILIE	900	20,6		2,2	60,2	15,9	2,3	Geel/Grys	1		
VORM			1050	27,3		3,7	56,7	11,0	2,7	Grys	1		
			1200	28,3		3,6	58,3	9,5	1,6	Grys	-		
			1350	31,1		5,2	55,0	8,9	0,7	Grys	-		
Avalon			1500	31,7		5,8	54,5	7,9	0,8	Grys	-		

Bylae 1. Vervolg

WAARNEMINGSPUNT (KYK FIGUUR 1)	GRONDKLASSIFIKASIE VOLGENS DIE BINOMINALE GRONDKLASSIFIKASIE- SISTEEM VAN S.A. VAN 1977 EN 1991		ONDERLIGGENDE MATERIAAL	PROFIEL- DIEPTE (mm)	DEELTJIEGROOTTE-INDELING (%)					OORHEERSENDE GRONDKLEUR *	SAGTE PLINTIET **
					<2µ	2-20µ	20-250µ	250-500µ	>500µ		
15	<u>1977</u>	SERIE Annandale	Sandsteen	150	7,8	1,7	71,4	16,3	2,2	Geel	-
	VORM			300	10,1	1,1	69,7	16,5	2,3	Geel	-
	Clovelly			450	13,1	1,3	66,0	17,6	2,2	Geel	-
	<u>1991</u>			600	18,4	1,3	62,5	16,1	2,0	Geel	-
	VORM			750	19,2	1,1	61,6	15,7	2,1	Geel	-
	Clovelly	900		18,4	1,6	63,1	15,2	1,8	Geel	-	
		1050		19,7	1,7	63,9	14,2	1,9	Geel	-	
		1200		19,8	2,3	64,1	13,2	1,9	Geel	-	
		1350		18,5	3,5	63,3	13,9	1,4	Geel	-	
		1500		18,7	2,6	63,8	13,9	2,3	Geel	-	
16	Glenrosa		Doleriet- saproliet	15	7,8	2,0	70,0	15,7	2,2	Geel	-
		30		11,0	1,3	67,7	16,4	2,3	Geel	-	
		45		11,5	1,4	68,0	16,0	2,3	Bruin	-	
17	<u>1977</u>	SERIE Viljoenskroon	Ecca- moddersteen	150	2,1	0,2	65,6	27,1	3,8	Geel	-
	VORM			300	2,7	0,0	69,0	24,3	3,4	Geel	-
	Avalon			450	3,4	0,4	70,5	19,7	3,1	Geel	-
	<u>1991</u>			600	0,1	3,3	74,2	18,0	3,5	Geel	-
	VORM			750	1,3	0,5	70,9	22,6	4,4	Geel/Grys	-
	Avalon	900		19,6	1,2	52,7	20,4	5,2	Grys/Geel	1	
		1050		27,1	1,3	41,1	27,7	3,3	Grys/Geel	1	
		1200		25,0	1,5	54,6	15,0	4,0	Grys/Geel	2	

Bylae 1. Vervolg

WAARNEMINGSPUNT (KYK FIGUUR 1)	GRONDKLASSIFIKASIE VOLGENS DIE BINOMINALE GRONDKLASSIFIKASIE- SISTEEM VAN S.A. VAN 1977 EN 1991		ONDERLIGGENDE MATERIAAL	PROFIEL- DIEPTE (mm)	DEELTJIEGROOTTE-INDELING (%)					OORHEERSENDE GRONDKLEUR *	SAGTE PLINTIET **
					< 2µ	2 - 20µ	20 - 250µ	250 - 500µ	> 500µ		
18	<u>1977</u> VORM Clovelly	SERIE Sunbury	Ecca- moddersteen	150	1,6	0,0	73,8	22,7	1,3	Geel	-
				300	1,9	0,9	77,8	17,1	1,4	Geel	-
				450	2,8	1,5	77,9	15,7	1,7	Geel	-
				600	1,9	0,2	81,0	14,7	2,1	Geel	-
				750	1,8	0,8	76,8	17,6	2,7	Geel	-
	<u>1991</u> VORM Avalon	FAMILIE Kameelbos		900	5,8	1,2	65,7	24,0	3,0	Geel	-
				1050	5,8	1,3	65,6	21,0	4,0	Geel	-
				1200	3,4	0,5	69,4	21,0	3,9	Geel	-
				1350	5,6	1,2	66,1	22,0	4,2	Geel/Grys	1
				1500	17,8	1,7	61,5	16,2	2,2	Geel/Grys	1
19	Glenrosa		Doleriet- saproliet	150	7,0	2,0	69,0	16,4	2,5	Geel	-
				300	12,0	1,3	69,0	16,0	2,3	Bruin	-
				450	13,0	1,4	67,5	16,0	2,3	Bruin	-
20	<u>1977</u> VORM Pinedene	SERIE Oewer	Ecca- moddersteen	150	3,9	0,9	90,2	3,5	0,2	Bruin	-
				300	7,7	1,8	80,0	9,0	0,2	Geel	-
				450	8,4	1,8	77,8	11,3	0,3	Geel	-
				600	9,8	1,2	71,2	16,5	0,7	Geel	-
				750	10,8	1,0	70,8	16,2	0,7	Geel	-
	<u>1991</u> VORM Pinedene	FAMILIE Mariëntal		900	9,2	1,6	71,2	16,5	0,9	Grys	-
				1050	8,1	1,3	71,1	18,9	0,9	Grys	-
				1200	7,6	0,7	67,7	23,0	1,3	Grys	-
				1350	9,7	0,3	72,4	17,6	0,8	Grys	-
				1500	11,8	1,3	72,2	14,6	0,5	Grys	-

Bylae 1. Vervolg

WAARNEMINGSPUNT (KYK FIGUUR 1)	GRONDKLASSIFIKASIE VOLGENS DIE BINOMINALE GRONDKLASSIFIKASIE- SISTEEM VAN S.A. VAN 1977 EN 1991		ONDERLIGGENDE MATERIAAL	PROFIEL- DIEPTE (mm)	DEELTJIEGROOTTE-INDELING (%)					OORHERSENDE GRONDKLEUR *	SAGTE PLINTIET **				
					< 2µ	2 - 20µ	20 - 250µ	250 - 500µ	> 500µ						
21	<u>1977</u>	SERIE Sunbury	Ecca- moddersteen	150	2,5	0,5	79,6	16,3	0,8	Geel	-				
	VORM			300	3,1	0,8	77,9	17,5	1,0	Geel	-				
	Clovelly			450	3,4	0,4	77,8	17,4	0,6	Geel	-				
				600	3,6	0,4	74,1	19,5	1,5	Geel	-				
				750	3,4	0,6	71,3	23,5	1,9	Geel	-				
	<u>1991</u>	FAMILIE Kameelbos		900	5,1	0,5	76,7	16,2	1,7	Geel	-				
	VORM			1050	8,4	0,7	74,3	14,5	2,1	Geel	-				
				1200	10,0	0,5	67,0	20,5	2,3	Geel	-				
				1350	19,7	0,8	65,1	12,0	0,9	Grys	2				
				22	<u>1977</u>	SERIE Soetmelk	Ecca- moddersteen	150	19,2	2,1	58,4	15,1	4,7	Geel	-
VORM		300	20,2		2,9			52,2	19,8	4,2	Geel	-			
Avalon	450	28,6	3,9		44,1			16,5	7,5	Geel	-				
	600	30,8	5,2		47,1			13,7	4,6	Geel	1				
	750	30,1	3,4		48,5			13,6	3,8	Geel	1				
<u>1991</u>	FAMILIE Kameelbos	900	32,5		3,5	49,2		12,3	4,2	Geel	1				
VORM		1050	32,7		3,6	47,3		13,0	5,1	Geel	1				
		1200	32,4		5,1	45,8		13,6	4,3	Geel	1				
		23	<u>1977</u>		SERIE Annandale	Tvl-skalie		150	4,4	0,4	78,8	18,0	1,5	Geel	-
			VORM					300	4,4	0,1	72,7	24,1	2,3	Geel	-
	Clovelly		450	4,0			0,7	74,7	22,2	2,6	Geel	-			
600			6,3	0,8			77,1	13,7	1,4	Geel	-				
750			13,3	0,6			70,3	14,5	1,5	Geel	-				
<u>1991</u>	FAMILIE Setlagole		900	16,5	0,8		64,2	18,0	1,8	Geel	-				
VORM			1050	21,9	1,4		62,4	13,2	1,9	Geel	-				
			1200	19,7	1,6		51,4	27,3	1,5	Geel	-				
			1350	20,7	4,8		67,7	8,7	0,9	Geel	-				
			1500	24,1	2,5		61,2	11,2	1,1	Geel	-				

Bylae 1. Vervolg

WAARNEMINGSPUNT (KYK FIGUUR 1)	GRONDKLASSIFIKASIE VOLGENS DIE BINOMINALE GRONDKLASSIFIKASIE- SISTEEM VAN S.A. VAN 1977 EN 1991		ONDERLIGGENDE MATERIAAL	PROFIEL- DIEPTE (mm)	DEELTJIEGROOTTE-INDELING (%)					OORHEERSENDE GRONDKLEUR *	SAGTE PLINTIET **
					<2 μ	2-20 μ	20-250 μ	250-500 μ	>500 μ		
24	<u>1977</u>		Harde plintiet en andesiet	150	2,9	0,4	76,8	17,8	1,9	Geel	-
	VORM	SERIE		300	1,9	0,3	81,7	14,7	1,4	Geel	-
				450	3,0	1,7	78,1	15,0	1,7	Geel	-
				600	5,4	1,2	77,0	13,9	2,3	Geel	-
	Clovelly	Sunbury		750	8,6	0,9	75,3	13,0	1,5	Geel	-
				900	10,7	1,5	70,7	14,6	1,6	Geel	-
	<u>1991</u>			1050	15,2	0,9	68,2	13,0	1,6	Geel	-
	VORM	FAMILIE		1200	20,2	0,9	65,3	12,0	0,9	Geel	-
				1350	22,4	1,0	58,0	13,0	2,1	Geel	1
	Avalon	Kameelbos		1500	22,9	1,1	59,1	13,0	2,5	Geel/Grys	2

* Die oorwegende grondkleur is telkens eerste aangedui. Die term geel, bruin rooi en grys verteenwoordig enige skakering van die betrokke kleur.

- **
- 1: Sagte plintiet kom in klein hoeveelhede voor
 - 2: Sagte plintiet kom algemeen voor
 - 3: Sagte plintiet kom volop voor

Bylae 2. Reënval (mm) gedurende die ondersoekperiode by 'n aantal waarnemingspunte in die ondersoekgebied

MAAND	WAARNEMINGSPUNT 1					WAARNEMINGSPUNT 10					WAARNEMINGSPUNT 17				
	1985	1986	1987	1988	1989	1985	1986	1987	1988	1989	1985	1986	1987	1988	1989
Januarie	85	25	30	115	110	93	66	52	39	189	55	50	30	80	170
Februarie	28	30	28	100	125	99	48	38	184	187	90	40	25	75	175
Maart	48	67	10	88	50	30	70	28	112	75	65	65	55	82	150
April	0	34	10	40	37	2	24	25	70	54	0	20	0	25	38
Mei	0	5	0	18	0	1	0	0	10	44	0	0	0	0	0
Junie	0	0	20	0	0	5	19	0	0	0	0	0	0	10	0
Julie	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Augustus	0	0	90	0	0	0	15	0	1	0	0	0	0	0	0
September	0	10	50	0	0	8	18	0	24	0	0	0	0	55	0
Oktober		25	118	70	10	90	75	0	159	11	18	15	0	150	80
November	50	70	95	92	95	29	30	65	70	119	70	45	70	97	75
Desember	35	38	110	120	120	67	28	30	100	107	50	42	65	110	120

Bylae 3. Morfologiese beskrywing van grond op die terrein (kyk figuur 5) waar die invloed van oppervlak- en paleotopografie op die voorkoms van vrywatervlakke, ondersoek is

PROFIEL NOMMER	GRONDVORM	DIAGNOSTIESE HORISON	BESKRYWING
A	Avalon	A1-Orties (0-300mm)	Donkergeelbruin (10YR4/6), los, apedale sand (fyn); baie vinnige deurlaatbaarheid; geleidelike oorgang na:
		B1-Geel apedale (300-1050 mm)	Eutrofiese, nie-luviëse, geelbruin (10YR5/8), los, apedale sand (fyn); vinnige deurlaatbaarheid; geleidelike oorgang na:
		B2-Sagte plintiet (1050-4000 mm)	Grys matriks met geel en rooi vlekke; effens ferm, apedale sanderige leem (fyn) met sagte plintiet; matige deurlaatbaarheid; abrupte oorgang na:
		Paleosol (> 4000 mm)	Liggrys (5YR7/2), baie ferm, kleileem; baie stadige deurlaatbaarheid
B	Longlands	Ortiese A-horison deur bewerking vermeng met 'n E-horison (0-800 mm)	Ligbruingrys (5YR6/2), los apedale sand (fyn); baie vinnige deurlaatbaarheid; abrupte oorgang na:
		B1-Sagte plintiet (800-1000 mm)	Grys matriks met geel en rooi vlekke: ferm apedale sanderige kleileem met plintiet; stadige deurlaatbaarheid; geleidelike oorgang na:
		Paleosol (>1000 mm)	Liggrys (5YR7/2), ferm, kleileem; baie stadige deurlaatbaarheid

Bylae 3. Vervolg

C	Avalon	A1-Orties (0-300 mm)	Donkergeelbruin (10YR4/6), los apedale sand (fyn); baie vinnige deurlaatbaarheid; geleidelike oorgang na:
		B1-Geel apedaal (300-900 mm)	Eutrofiese, nie-luviëse, geelbruin (10YR5/8), los, apedale sand (fyn); vinnige deurlaatbaarheid; geleidelike oorgang na:
		B2-Sagte plintiet (900-2000 mm)	Grysmatriks met geel en rooi vlekke; effens ferm, apedale sanderige leem (fyn) met sagte plintiet; matige deurlaatbaarheid abrupte oorgang na:
		Paleosol (>2000 mm)	Liggrys (5YR7/2), baie ferm, kleileem; baie stadige deurlaatbaarheid
D	Pinedene	A1-orties (0-300 mm)	Donkergeelbruin (10YR4/4), los, apedale sand (fyn); baie vinnige deurlaatbaarheid; geleidelike oorgang na:
		B1-Geel apedaal (300-750 mm)	Eutrofies, nie-luviëse, donkergeelbruin (10YR4/6), los, apedale sand (fyn); baie vinnige deurlaatbaarheid; abrupte oorgang na:
		Paleosol (> 750 mm)	Liggrys (10YR7/1), baie ferm, kutaniëse kleileem; baie stadige deurlaatbaarheid

Bylae 3. Vervolg

E	Longlands	A1-Orties (0-300 mm)	Geelbruin (7.5YR4/4), los, apedale sand (fyn); baie vinnige deurlaatbaarheid; geleidelike oorgang na:
		E-horison (200-900)	Lig bruingrys (5YR6/2), los, apedale sand (fyn); baie vinnige deurlaatbaarheid, geleidelike oorgang na:
		B1-Sagte plintiet (900-1100 mm)	Grys matriks met geel en rooi vlekke; ferm apedale sanderige kleileem met plintiet, stadige deurlaatbaarheid; geleidelike oorgang na:
		Paleosol (> 1000 mm)	Liggrys (10YR7/1); ferm, kleileem; baie stadige deurlaatbaarheid
F	Avalon	A-Orties (0-450 mm)	Donkergeelbruin (10YR4/6), los, apedale sand (fyn); baie vinnige deurlaatbaarheid; geleidelike oorgang na:
		B1-Geel apedaal (450-1000 mm)	Eutrofiese, nie-luviese, geelbruin (10YR5/8), los apedale sand (fyn); vinnige deurlaatbaarheid; geleidelike oorgang na:
		B2-Sagte plintiet (1000-2000 mm)	Liggrys matriks met geel en rooi vlekke; effens ferm, apedale sanderige leem (fyn) met sagte plintiet; matige deurlaatbaarheid; geleidelike oorgang na:
		Paleosol	Liggrys (5YR7/2), baie ferm, kleileem; baie stadige deurlaatbaarheid

Bylae 4 Die invloed van die diepte van bewerking op mielie-opbrengste

BEWERKINGSDIEPTE (mm)	OPBRENGS (kg ha ⁻¹)			
	1985/86	1986/87	1987/88	1988/89
200	4 160	2 798	1 751	3 432
400	3 785	2 625	1 537	3 593
600	4 147	3 467	2 563	3 548
800	4 987	5 180	3 982	3 071
KBV _T (0,05)	929	2 420	560	660

Bylae 5 Die invloed van die diepte van bewerking op wortelontwikkeling

DIEPTE VAN PROFIEL (mm)	DIGTHEID VAN WORTELS (m m ⁻³)															
	DIEPTE VAN BEWERKING (mm)															
	200				400				600				800			
	1986	1987	1988	1989	1986	1987	1988	1989	1986	1987	1988	1989	1986	1987	1988	1989
0-100	2900	2400	2200	3400	3000	3100	2000	2600	2700	2400	2700	2900	3100	3000	2300	3000
100-200	3000	2400	3400	3400	2200	2900	3200	2600	2500	2500	3300	3100	2900	1900	3400	3100
200-300	2700	1600	1700	1800	2400	2600	2200	2200	2100	1800	3000	1400	2800	1700	2800	1700
300-400	2600	1400	1500	1700	1900	2100	2300	1100	1800	1900	2300	1500	2400	1700	2500	1100
400-500	2600	<1000	<1000	<1000	2000	1100	<1000	1000	1800	1900	1900	<1000	2400	1600	2200	1000
500-600	1700	<1000	<1000	<1000	1700	<1000	<1000	<1000	1400	1900	1500	<1000	1400	1200	2000	<1000
600-700	1600	<1000	<1000	<1000	1400	<1000	<1000	<1000	1100	<1000	<1000	<1000	1500	1200	2000	<1000
700-800	1000	<1000	<1000	<1000	1100	<1000	<1000	<1000	11000	<1000	<1000	<1000	1200	1200	1200	<1000
800-900	1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	1100	<1000	<1000	<1000
900-1 000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	1000	<1000	<1000	<1000

120292/97