

'N EVALUERING VAN FAKTORE WAT VERDIGTING
VAN GROND, WAAROP MIELIES IN DIE HOëVELDSTREEK
VERBOU WORD, BEINVLOED

deur

Jacobus Adriaan Gerhardus Henning

Voorgelê ter voldoening aan 'n deel van die
vereistes vir die graad

MAGISTER SCIENTIAE

in die Fakulteit Natuurwetenskappe,
Potchefstroomse Universiteit vir Christelike
Hoër Onderwys

Studieleier: Mnr. D.J. Nel

POTCHEFSTROOM
November 1984

DANKBETUIGING

My dank en waardering aan:

- Mnr. D.J. Nel (Departement Bodemkunde, PU vir CHO) wat as studieleier baie waardevolle leiding verskaf het.
- Professor H.J. von M. Harmse (Departement Bodemkunde, PU vir CHO) wat opbouende kritiek gelewer het.
- Die Direkteur van die NIGG en die Departement van Landbou en Watervoor=siening vir toestemming om amptelike werk as studiemateriaal te kon gebruik.
- My kollegas by die NIGG en veral Piet Visser en Dirk Stoffberg wat behulpsaam was met die veldwerk.
- My vrou en ouers vir hul ondersteuning en belangstelling.

INHOUDSOPGAWE

HOOFSTUK 1

INLEIDING

1.1	OORSIG	1
1.2	DOELSTELLINGS	2

HOOFSTUK 2

DIE INVLOED VAN GRONDBEWERKING OP VERDIGTING

2.1	INLEIDING	3
2.2	DOELSTELLINGS	6
2.3	BESKRYWING VAN DIE PROEFPERSELE	7
2.4	METODES IN DIE ONDERSOEK GEBRUIK	7
2.4.1	Brutodigtheid	7
2.4.2	Wortelverspreiding	8
2.4.3	Penetrasieweerstand	9
2.4.4	Grondwaterstudies.....	9
2.5	RESULTATE EN BESPREKING	9
2.5.1	Brutodigtheid	9
2.5.2	Wortelverspreiding	15
2.5.3	Penetrasieweerstand	17
2.5.4	Grondwaterstudies.....	21
2.6	GEVOLGTREKKING	22

HOOFSTUK 3

DIE INVLOED VAN VERDIGTINGSPOGING, KLEI- EN WATERINHOUD OP VERDIGTING

3.1	INLEIDING	23
3.2	DOEL VAN GEKONTROLEERDE VERDIGTINGSTOETSE.....	25
3.3	BESKRYWING VAN DIE ONDERSOEKGEBIED	26
3.4	METODES IN DIE ONDERSOEK GEBRUIK	31
3.4.1	Die invloed van klei- en waterinhoud op verdigting	31
3.4.2	Die invloed van die omvang van die verdigtingspoging op ver- digting	31

3.5	RESULTATE EN BESPREKING	35
3.5.1	Die invloed van klei-inhoud op die maksimum brutodigtheid waar= toe grond by die optimumwaterinhoud kan verdig	35
3.5.2	Die invloed van klei-inhoud op die optimumwaterinhoud	38
3.5.3	Die invloed van klei-inhoud op die brutodigtheid waartoe grond by ander waterinhoude as die optimum kan verdig	41
3.5.4	Die relatiewe invloed van klei- en waterinhoud op verdigting.....	43
3.5.5	Die invloed van die omvang van die verdigtingspoging op ver= digting	47
3.6	OPSOMMING	49

HOOFSTUK 4

DIE INVLOED VAN DEELTJIEGROOTTEVERSPREIDING OP VERDIGTING

4.1	INLEIDING	50
4.2	DOELSTELLINGS	51
4.3	METODE VAN ONDERSOEK	51
4.3.1	Die invloed van deeltjiegrootteverspreiding op verdigting	51
4.3.2	Die invloed van brutodigtheid (kg m^{-3}) op penetrasiestand (kPa)	51
4.4	RESULTATE EN BESPREKING	51
4.4.1	Die invloed van deeltjiegrootteverspreiding op verdigting	51
4.4.2	Die invloed van brutodigtheid (kg m^{-3}) op penetrasieweerstand (kPa)	54
4.5	GEVOLGTREKKING	55

HOOFSTUK 5

OPSOMMING	56
TABELLE	57
FIGURE	58
ABSTRACT	60
VERWYSINGS	61

HOOFSTUK 1

INLEIDING

1.1 OORSIG

Grondverdigting gaan gepaard met 'n toename in die eenheidsmassa van die soliede fase en 'n afname in die volume van die ruimtes tussen die gronddeeltjies (Sowers & Sowers, 1970:206).

Verdigting kan deur interne of eksterne kragte teweeggebring word (Cohron, 1971:107). Krimp (Gill, 1959:253), vries en swel (Cohron, 1971:107; Larson & Allmaras, 1971:373) is interne kragte wat grond kan verdig. Beweging van diere (Tanner & Mamaril, 1959:31), trekker=wiele (Chancellor, 1977:20; Soane *et al.*, 1982:30), implemente (Cohron, 1971:106; Mayauskas, 1959:180; Willat & Wallis, 1965:112), besproeiing (Du Preez, *et al.*, 1981:11) en reëndruppels (Cohron, 1971:108) is eksterne kragte wat verdigting veroorsaak.

Die ontwikkeling van mielieplante kan ernstig deur hoë brutodigtheid van grond beperk word. Grondverdigting benadeel wortelindringing (Schoorman *et al.*, 1974:265). Swak wortelindringing kan toegeskryf word aan die invloed van grondverdigting op ionopname (Veen & Boone, 1981:77) en grondlugkapasiteit (Trowse & Baver, 1962:7), asook die meganiese weerstand wat diggepakte deeltjies teen wortelindringing bied (Aubertin & Kardos, 1965:293). Grondverdigting beïnvloed ook ander grondeienskappe soos die waterhouvermoë (Burger *et al.*, 1979:47; Warkentin, 1971:135), deurlugting (Grable, 1971:154), beweging en mineralisering van plantvoedingstowwe (Kemper *et al.*, 1971:189) en grondsterkte (Chancellor, 1971:212).

Die mate waartoe grond kan verdig en die weerstand wat dit teen verdigting kan bied, word beïnvloed deur deeltjiegrootteverspreiding (Bodman & Constantin, 1965:590), waterinhoud (Soehne, 1958:280), organiese materiaalinhoud (Adams, 1973:10), deeltjievorm (Brady, 1974:42), temperatuur (Koolen & Kuipers, 1983:33) en toegepaste kragte.

Grondverdigting is 'n probleem wat 'n direkte invloed uitoefen op die produksie van mielies op 'n oppervlakte van ongeveer 2 000 000 hektaar in die Republiek van Suid-Afrika (Mallet *et al.*, 1980:4). Volgens Koch & Badenhorst (1977:18) kom dié probleem in die geval van die meeste landbougronde in die Hoëveldstreek voor. Verdigte lae kan veroorsaak dat water onder hierdie lae nie deur plante opgeneem kan word nie. Aangesien soveel as 75 persent van die Hoëveldstreek se gemiddelde jaarlikse reënval oor die langtermyn laer as 600mm is (Departement van Landbou, 1981:3), is dit belangrik dat plantwortels instaat moet wees om al die beskikbare water in die grondprofiel te kan benut. Inagneming van navorsingsresultate oor verdigting van grond, waarop mielies in hierdie streek verbou word, kan dus 'n groot bydrae tot verbeterde produksie lewer.

1.2 DOELSTELLINGS

Die doel van hierdie ondersoek was om sekere faktore wat 'n invloed uitoefen op die verdigting van verskillende grondtipes, waarop mielies in die Hoëveldstreek verbou word, te evalueer. In akkerbouproewe is die invloed van spanning deur trekkerwiele en sekere grondbewerkingsimplimente op verdigting by twee grondtipes ondersoek. In die laboratorium is die invloed van die grootte van die verdigtingspoging en die grond se water- en klei-inhoud op verdigting ondersoek.

Nog 'n aspek wat ondersoek is, is die evaluering van die moontlikheid of resultate wat in een lokaliteit onder gekontroleerde toestande verkry is, elders van toepassing kan wees waar soortgelyke of ander toestande heers.

HOOFSTUK 2

DIE INVLOED VAN GRONDBEWERKING OP VERDIGTING

2.1 INLEIDING

Sedert die ysterskaarploeg in 1830 in gebruik gekom het, het implemente vir grondbewerking tot hoogs gesofistikeerde toestelle ontwikkel (Phillips, 197-?:1). Navorsing oor grondbewerking het veral na afloop van die Tweede Wêreldoorlog toegeneem. Die belangrikste redes daarvoor kan volgens Russel (1977:247) toegeskryf word aan toenemende voedselbehoefte, veranderinge in die wêreld ekonomie, vooruitgang in die chemiese beheer van onkruid en 'n toenemende besef van die gevolge van gronderosie.

Grondbewerking word as een van die belangrikste vereistes vir suksesvolle gewasproduksie beskou. Die primêre doel van grondbewerking is die daarstelling van gunstige toestande in die grondprofiel sodat die gewas die heersende klimaatstoestand optimaal kan benut. As gevolg van die beperkende invloed van reënval in die Republiek van Suid-Afrika kan dit as die belangrikste beperkende klimaatsfaktor beskou word.

Met grondbewerking word onder andere die volgende beoog:

- i) Saadbedvoorbereiding.
- ii) Verbetering van die effektiwiteit van die reënval deur 'n verbetering van infiltrasie en vermindering van afloop.
- iii) Vermindering van verdampingsverlies.
- iv) Voorkoming van verlies van grondwater as gevolg van transpirasie deur ongewenste plante.
- v) Bevordering van die wortelverspreiding in die grondprofiel.

Gedurende die ondersoek is besondere aandag aan die mate waartoe wortelverspreiding deur grondbewerking beïnvloed word, gegee.

h Grond met geskikte fisiese eienskappe vir wortelgroei het h bevestigende waterinhoud en word gekenmerk deur h los struktuur en makroporieë wat onderling verbind is (Trowse, 1977:320). Aubertin & Kardos (1965:293) het bevind dat indien die gemiddelde deursnee van porieë in h stabiele poreuse medium kleiner as $412\mu\text{m}$ is, h afname in wortelgroei plaasvind. Mieliewortels groei nie in h stabiele poreuse medium met porieë kleiner as $138\mu\text{m}$ nie. In veranderlike sisteme word die groei van mieliewortels egter nie deur die deursnee van die porieë beïnvloed nie. Mieliewortels dring deur porieë as gevolg van hul vermoë om gronddeeltjies te verplaas om sodoende hul eie weg deur die grond te baan (Aubertin & Kardos, 1965:293).

Schuurman *et al.* (1974:265) het bevind dat grondverdigting h afname in wortelgroei tot gevolg het. Volgens Veen & Boone (1981:77) kan die verskynsel toegeskryf word aan h afname in ionopname wat die gevolg is van h verandering in wortelmorfologie om aan te pas by die verdigte grond. Navorsing dui verder daarop dat wortelverlenging in h verdigte grond goed met die grond se lugkapasiteit korreleer (Trowse & Baver, 1962:7). Bennie en Burger (1980:2) wat die invloed van grondverdigting op wortelgroei by mielies ondersoek het, het ook bevind dat h toename in verdigting wortelgroei benadeel.

Skaarploeë en tandimplemente kan as gevolg van skuifskuurvervorming en deur die uitoefening van druk op die grond, verdigting veroorsaak. Skuifskuurvervorming vind plaas wanneer die implemente die grond se struktuur verander en grondlae dwing om oor mekaar te skuif (Chancellor, 1977:30). Skaarploeë (Mayauskas, 1959:190) en tandimplemente (Willat & Wallis, 1965:112) het hoë spannings in die grond tot gevolg en vorm h verdigtingslaag op bewerkingsdiepte. Die druk wat trekkerbande op die grond uitoefen en die skuifskuurvervorming wat dit tot gevolg het, kan ook verdigting veroorsaak (Chancellor, 1977:20). Die drukverspreiding onder h wiel word bepaal deur die lading op die wiel, die grootte van die kontakoppervlakte tussen die band en die grond, die verspreiding van kontakdrukke oor kontakoppervlaktes, die struktuur, waterinhoud en digtheid van die grond (Soehne, 1958:276).

Tekstuur en die langtermyn gemiddelde reënval bepaal tot 'n groot mate die keuse van die mees effektiewe bewerkingstelsel (Koch & Badenhorst, 1979:2). Oor die mate waartoe die grond se klei-inhoud die keuse van die bewerkingstelsel bepaal, bestaan daar tans nog onduidelikhede. Snyman (1983:9) het regressielyne opgestel wat 'n verband tussen opbrengs=verhoging van mielies en 'n toename in bewerkingsdiepte vir verskillende klei-inhoude aantoon. Volgens hierdie regressielyne moet die bewerkings=diepte omgekeerd eweredig wees met die grond se klei-inhoud. Hierdie outeur skryf die verwantskap toe aan die beperkte mate van verdigting wat by grond met 'n hoë klei-inhoud plaasvind. Pidgeon & Soane (1978:372) het egter gevind dat grondbewerking 'n swak gedreineerde sanderige klei makliker en meer verdig as goed gedreineerde sanderige leem. In Skotland het O'Sullivan & Ball (1982:259), wat op 'n sanderige leem navorsing gedoen het, gevind dat bewerking tot op 'n diepte van 500mm, hoër brutodigtheid as vlakker bewerkings tot gevolg het. As gevolg van die unieke kombinasies van grondtipes en toestande wat in die Republiek van Suid-Afrika heers, is dit wenslik dat 'n vergelyking tussen grondbewerkingstelsels in die Republiek van Suid-Afrika en ander lande altyd met versigtigheid benader word. Onduidelikheid bestaan egter nog oor die relatiewe invloed van die hoeveelheid klei op verdig=ting en gevolglik oor die keuse van bewerkingstelsels.

Die gebruik van die skaarploeg in die sanderige grond van die Noordwes-Vrystaat het verdigting tot gevolg (Burger, 1982:21). Diep skeurploeg=bewerkings met beheerde spoorverkeer is vir hierdie gebied voorgestel deur Burger (1982:10), Koch & Badenhorst (1979:7) en Mallet *et al.* (1980:12). As alternatief beveel Koch & Badenhorst (1979:7) algehele skeur=ploegbewerkings of gereelde diep skaarploegbewerkings aan vir sanderige grond wat maklik verdig. Mallet *et al.* (1980:12) het egter gevind dat 'n Viljoenskroonserie wat diep met behulp van skaarploë bewerk is op bewerkingsdiepte verdig. In die VSA word diep skeurploegbewerkings met beheerde spoorverkeer suksesvol op gronde wat maklik verdig toegepas (Taylor & Gill, 1984:195). Taylor & Gill (1984:209) wys egter daarop dat hulle, anders as in die Republiek van Suid-Afrika, van spesiaal ontwerpte trekkers en implemente gebruik maak.

Die mate waartoe implemente grond kan verdig, word onder andere beïnvloed deur die waterinhoud tydens bewerking. Minder verdigting vind plaas indien grondbewerking by 'n waterinhoud laer as die optimumwaterinhoud plaasvind (Weaver & Jamison, 1951:23). Volgens Braunack & Dexter (1978:125) kan die maksimum waterinhoud waarby bewerking mag plaasvind, bereken word indien die grootte van kontakdrukke en die trekspanningsterkte bekend is.

Aangesien die relatiewe invloed van brutodigtheid op wortelgroei van grondtipe tot grondtipe sal verskil, kan grondsterkte beskou word as die belangrikste faktor wat indringing van wortels bepaal. In die geval van vier gronde, met verskillende deeltjiegrootteverspreidings, het Taylor *et al.* (1965:21) gevind dat wortels nie grond met 'n penetrasieweerstand van 2 500kPa by veldkapasiteit kan binnedring nie. Hierdie outeurs het bevind dat grond se penetrasieweerstand deur brutodigtheid en tekstuur beïnvloed word. Penetrasieweerstand word egter deur verskeie faktore beïnvloed en is dus nie 'n direkte aanduiding van grond se brutodigtheid nie (Chancellor, 1977:7). Die verwantskap tussen penetrasieweerstand en brutodigtheid varieer van grond tot grond en ook vir 'n gegewe grond namate die waterinhoud varieer. Selfs wanneer 'n grond by geselekteerde waterinhoude verdig word, kan die verwantskap tussen penetrasieweerstand en brutodigtheid van grond wat in die veld verdig is, verskil van dié wat onder laboratoriumtoestande verdig is (Chessness *et al.*, 1972:219). Dit is dus duidelik dat penetrasieweerstande in die geval van bewerkingstudies slegs gebruik kan word om verdigting te identifiseer.

2.2 DOELSTELLINGS

Met hierdie ondersoek is gepoog om die invloed van drie grondbewerkingstelsels, wat algemeen in die Hoëveldstreek toegepas word, op verdigting te ondersoek. Twee grondtipes, waarvan die klei-inhoud verskil, is gebruik. As gevolg van die verskil in klei-inhoud is verwag dat die twee grondtipes nie tot dieselfde mate sal verdig nie. By beide grondtipes is ook bepaal tot watter mate die grond as gevolg van trekkerverkeer verdig en of grondbewerking en trekkerverkeer die grond se penetrasieweerstand beïnvloed. Die invloed van verdigtingslae op wortelverspreiding is ook nagegaan.

2.3 BESKRYWING VAN DIE PROEFPERSELE

Die invloed van grondbewerking op verdigting is in die Noordwes-Vrystaat, naby Bothaville, op 'n Bleeksandserie (Avalonvorm) met 7 persent klei in die B21-horison, en in Suidoos-Transvaal, op 'n Msingaserie (Huttonvorm) met 18 persent klei in die B21-horison, ondersoek. Die twee lokaliteite word onderskeidelik as nommers 2 en 8 in Figuur 3.1 aangetoon. Grondmonsters vanuit hierdie twee lokaliteite se korrelgrootteverspreidingsparameters en kohesie word in Tabel 2.1 gegee. Die metode waarvolgens die kohesie bepaal is, word breedvoerig deur Bowles (1970:124) beskryf. In Hoofstuk 3 word die metode waarvolgens die korrelgrootteverspreiding bepaal is, beskryf.

Elke proefperseel het 'n oppervlakte van een hektaar beslaan en is volgens 'n ewekansige blokontwerp verdeel in drie behandelings wat elkeen drie keer herhaal is. Die proef het drie groeiseisoene geduur en die finale waarnemings is aan die einde van die derde groeiseisoen geneem. Met die aanvang van die eerste seisoen is 'n skeurploeg met vlerkskare gebruik om moontlike verdigting tot op 'n diepte van 450mm in al die persele by beide proewe op te hef. Hierdie algehele bewerking is slegs met die aanvang van die eerste groeiseisoen uitgevoer. Die volgende drie behandelings is daarna jaarliks vir die daaropvolgende twee jare op die verskillende persele uitgevoer:

- i) Bewerking met 'n skaarploeg tot op 'n diepte van 250mm.
- ii) Bewerking met 'n sny-eg tot op 'n diepte van 150mm.
- iii) Skeurploegbewerking tot op 'n diepte van 450mm in die plantry met gepaardgaande toepassing van beheerde spoorverkeer soos voorgestel deur Koch & Badenhorst (1979:7) en Mallet *et al.* (1980:12). 'n Skeurploeg met 'n enkeltand en vlerkskare is gebruik.

By al die behandelings is 'n trekker met 'n wielspasiëring van 1,5m gebruik.

2.4 METODES IN DIE ONDERSOEK GEBRUIK

2.4.1 Brutodigtheid

'n Profielgat is in elke perseel gegrawe en verdigte lae is geïdentifiseer deur die wande vandie profielgate met 'n geologiese hamer oop te kap. By elke profielgat is onversteurde grondmonsters, onder die plantry en onder die

Tabel 2.1 Korrelgrootteverspreidingsparameters en kohesie (kPa) van 'n bleeksandserie (in Noordwes-Vrystaat) en 'n Msingaserie (in Suidoos-Transvaal)

Grondserie	Klei= inhoud (%)	Sortering ϕ	Skeefheid	Kurtose	Kohesie (kPa) *
BLEEKSAND	7	0,79	0,04	1,07	0
MZINGA	18	0,90	0,10	1,18	3

* Bepaal met behulp van direkte skuifkas (Bowles, 1970:124)

spoor, met 'n apparaat vir die neem van onversteurde monsters, verkry. Waar geen verdigte lae geïdentifiseer kon word nie, is grondmonsters bo en onder bewerkingsdiepte geneem. Waar verdigte lae wel geïdentifiseer kon word, is grondmonsters bo, in en onder die laag geneem. Die apparaat vir die neem van onversteurde monsters het 'n volume van 136cm³ en die brutodigtheid van elke monster is volgens die metode soos bespreek deur Chancellor (1977:5) bereken.

2.4.2 Wortelverspreiding

Wortelverspreiding is vir dieselfde lokaliteit en in dieselfde profielgate waar brutodigtheid bepaal is, ondersoek. 'n Draadraamwerk van 1 000 x 600mm is vir hierdie doel gebruik. Die raamwerk is in vierkante met groottes van 100cm² verdeel. Tydens die ondersoek is die raam teen die kant van 'n profielgat, reg onder 'n mielieplant, geplaas. Waardes vir wortelverspreiding is aan elke blokkie toegeken. Gemiddelde waardes vir elke 100mm bereik in diepte is dan bereken. Die volgende waardes is toegeken:

- 5 - wortels word in die hele blokkie waargeneem,
- 4 - wortels word in 75 persent van die blokkie waargeneem,
- 3 - wortels word in 50 persent van die blokkie waargeneem,
- 2 - wortels word in 25 persent van die blokkie waargeneem en
- 1 - slegs een wortel word in die blokkie waargeneem.

2.4.3 Penetrasieweerstand

Penetrasieweerstand by elke behandeling in die ry en in die spoor is bepaal met behulp van 'n elektroniese penetrometer, soos beskryf deur Broekman (1982:1-3).

2.4.4 Grondwaterstudies

Tydens 'n kritiese groeistadium (pluimstadium) is die grond se waterinhoud by elke behandeling op bewerkingsdiepte bepaal. Om verskille in waterinhoud te verklaar is die diepte van die grondwatervlak vasgestel en kapillêrestyging in die laboratorium gemeet deur grond met 'n brutodigtheid van $1\,450\text{ kg m}^{-3}$, afkomstig vanuit die B-horisonte van die proefpersele, in 'n plastieksilinder met 'n deursnee van 60mm oornag in 'n waterbad te plaas. Die hoogte wat die water in die grondkolom bokant die vlak van die water in die waterbad gestyg het, is gemeet.

2.5 RESULTATE EN BESPREKING

2.5.1 Brutodigtheid

In die geval van die Bleeksandserie is verdigte lae in al die behandelings waargeneem. In die gevalle waar 'n skaarploeg en sny-eg gebruik was, is verdigte lae onderskeidelik op dieptes van 200-300 en 150-250mm, aangetref.

In die geval van die bewerking met 'n skeurploeg kom die verdigte laag op dieptes wat wissel van 450 tot 500mm voor. Die verdigte laag is in die geval van al die behandelings onder die ry en onder die spoor aangetref. Die teenwoordigheid van die verdigte laag onder die spoor in die geval van die skeurploegbewerking, kan moontlik aan die aanvanklike bewerking voor die aanvang van die proef toegeskryf word. Die posisie van die verdigte lae word in Figuur 2.1 uitgebeeld. In Figuur 2.2 en Tabel 2.2 word die brutodigthede van die geïdentifiseerde lae gegee en dit is duidelik dat al drie die bewerkingsmetodes verdigting veroorsaak het. Slegs die diepte waarop die verdigting plaasgevind het, verskil tussen die verskillende behandelings. Hoër brutodigthede kom in die trekkerspore as in die plantry voor. Laasgenoemde resultate kom ooreen met die waarneming wat deur Du Preez *et al.* (1981:8) gemaak is. Dit blyk dus dat hier-



Sny-eg

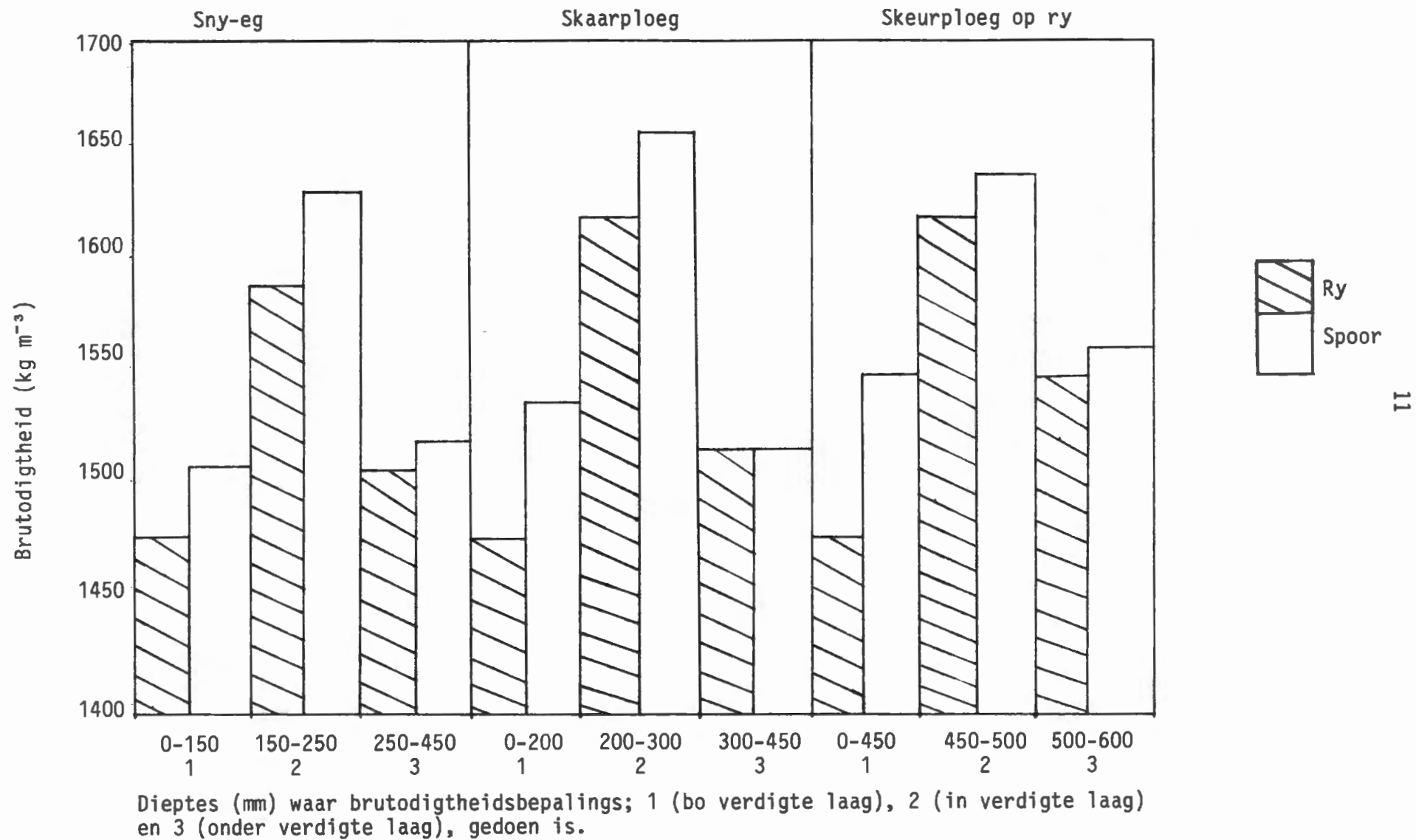


Skaarploeg



Skeurploeg op ry

Figuur 2.1 Illustrasie van die relatiewe dieptes van die verdigte lae by die Bleeksandserie (Avalonvorm)
vir verskillende metodes van bewerking



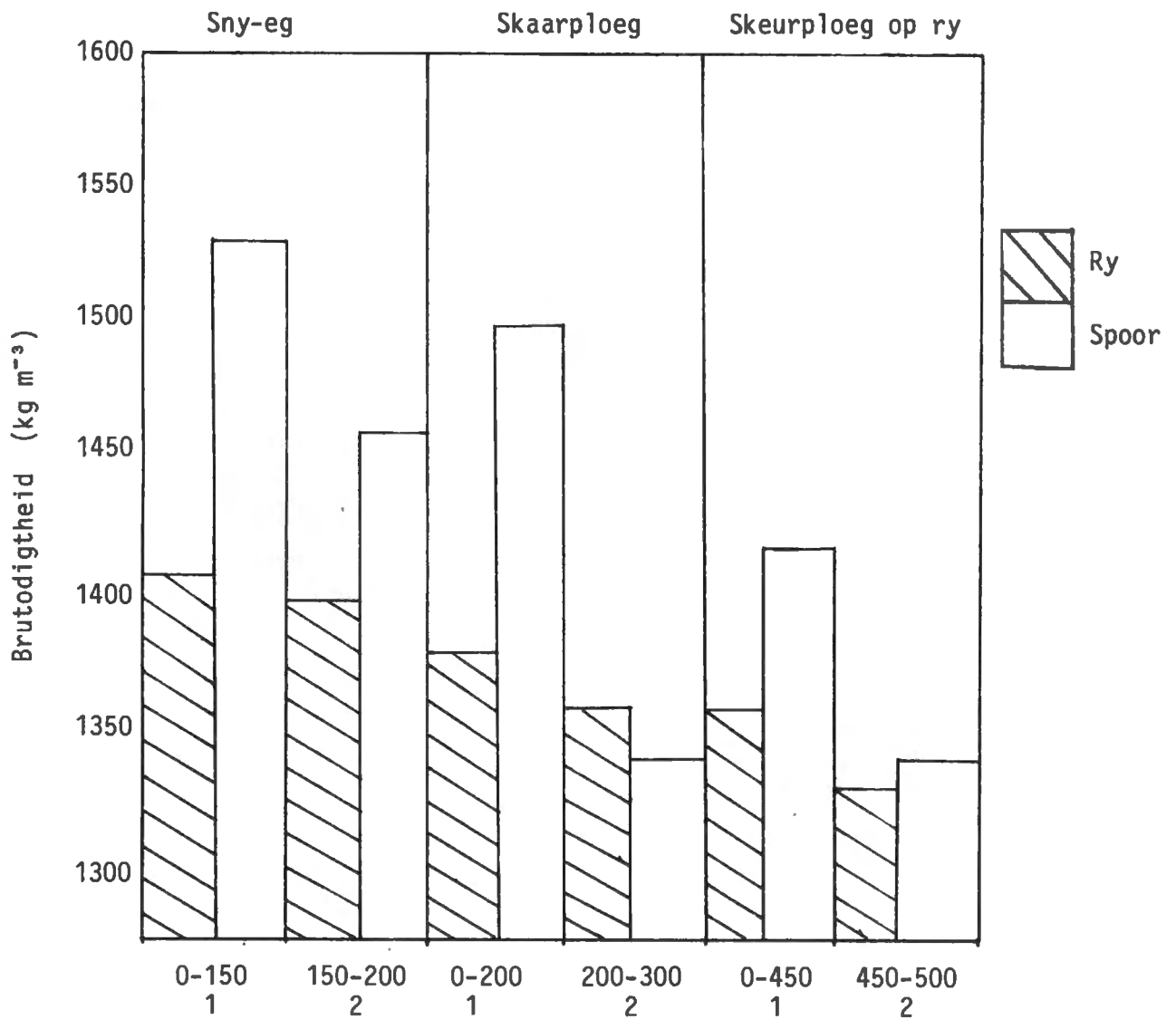
Figuur 2.2 Verdigting by die Bleeksandserie (kyk Tabel 2.2)

Tabel 2.2 Brutodigthede (kg m^{-3}) op verskillende dieptes (1 is bo-, 2 in- en 3 onder die verdigte lae) by die Bleeksandserie

Bewerking	Diepte	Brutodigtheid (kg m^{-3})							
		Ry				Spoor			
		Herhalings			Gemid= deld	Herhalings			Gemid= deld
		1	2	3		1	2	3	
Sny-eg	1	1480	1470	1490	1480	1490	1530	1510	1510
	2	1600	1580	1600	1590	1680	1610	1610	1630
	3	1520	1500	1500	1510	1510	1660	1510	1520
Skaar= ploeg	1	1470	1500	1480	1480	1530	1540	1560	1540
	2	1600	1640	1630	1620	1690	1650	1640	1660
	3	1520	1500	1530	1520	1530	1500	1540	1520
Skeur= ploeg op ry	1	1480	1470	1490	1480	1540	1550	1560	1550
	2	1630	1600	1630	1620	1640	1640	1650	1640
	3	1540	1560	1550	1550	1560	1560	1560	1560

K.B.V. vir dieptes = 16,8 ($P < 0,01$)

K.B.V. vir spoor en ry = 13,72 ($P < 0,01$)



Dieptes (mm) waar brutodigtheidsbepalings; 1 (bo bewer= kingsdiepte) en 2 (onder bewer= kingsdiepte), gedoen is.

Figuur 2.3 Verdigting by die Msingaserie (kyk Tabel 2.3)

Tabel 2.3 Brutodigtheide (kg m^{-3}) op verskillende dieptes (1 is bo- en 2 onder die bewerkingsdiepte) by die Msingaserie

Bewerking	Diepte	Brutodigtheid (kg m^{-3})							
		Ry				Spoor			
		Herhalings			Gemid= deld	Herhalings			Gemid= deld
		1	2	3		1	2	3	
Sny-eg	1	1430	1400	1410	1410	1570	1480	1550	1530
	2	1400	1390	1420	1400	1440	1450	1500	1460
Skaarploeg	1	1380	1400	1370	1380	1540	1500	1460	1500
	2	1350	1350	1380	1360	1330	1390	1300	1340
Skeurploeg op ry	1	1360	1380	1350	1360	1430	1450	1390	1420
	2	1300	1340	1340	1330	1320	1400	1300	1340

K.B.V. vir dieptes = 17,23 ($P < 0,01$)

K.B.V. vir spoor en ry = 14,07 ($P < 0,01$)

die grond maklik as gevolg van bewerking verdig en dit kan moontlik toegeskrif word aan hierdie sandgronde se lae kohesiekragte (Tabel 2.1), en gevolglike lae weerstand teen verdigting (Sowers & Sowers, 1970:130).

In die geval van die Msingaserie kon geen verdigte lae in die geval van enige van die metodes van bewerking geïdentifiseer word nie. As gevolg van die kohesiekragte tussen die gronddeeltjies (Tabel 2.1) is die kontakdrukke wat die implemente uitoefen, waarskynlik nie voldoende om die grond te verdig nie. Verdigting in die trekkerspore het egter wel plaasgevind. Blykbaar word die grond se struktuur met bewerking opgebreek terwyl die trekkerwiele weer die gronddeeltjies in 'n digter rangskikking saamdruk, sodat verdigting onder die trekkerwiel plaasvind.

2.5.2 Wortelverspreiding

Die verspreiding van wortels in die geval van die Bleeksandserie, soos beïnvloed deur verskillende bewerkingstelsels, word in Tabel 2.4 gegee. Tot op 'n diepte van 100mm is daar geen verskille tussen die skaalwaardes van die drie metodes van bewerking nie. Op 'n diepte van 100 tot 200mm is die toegekende waarde van die wortelverspreiding vir die sny-egbewerking laer, maar op hierdie diepte is 'n verdigte laag teenwoordig. Op 'n diepte van 200 tot 300mm is die toegekende waarde van die skaarploegbewerking ook laer as die van die skeurploegbewerkings waar geen verdigte laag voorkom nie. 'n Verdigte laag kom voor op 200 tot 300mm waar die skaarploegbewerking toegepas is (Kyk Tabel 2.2). Dit is duidelik dat die hoë bruto-digtheid van die verdigte lae die indringing van wortels tot 'n groot mate beperk het. Hierdie gegewens stem ooreen met resultate wat deur Schuurman *et al.* (1974:265) gepubliseer is.

Soos verwag kan word kom by die Msingaserie geen betekenisvolle verskille in die toegekende waardes vir wortelverspreiding op bepaalde dieptes tussen die verskillende metodes van bewerking voor nie.

Tabel 2.4 Wortelverspreiding by die Bleeksandserie

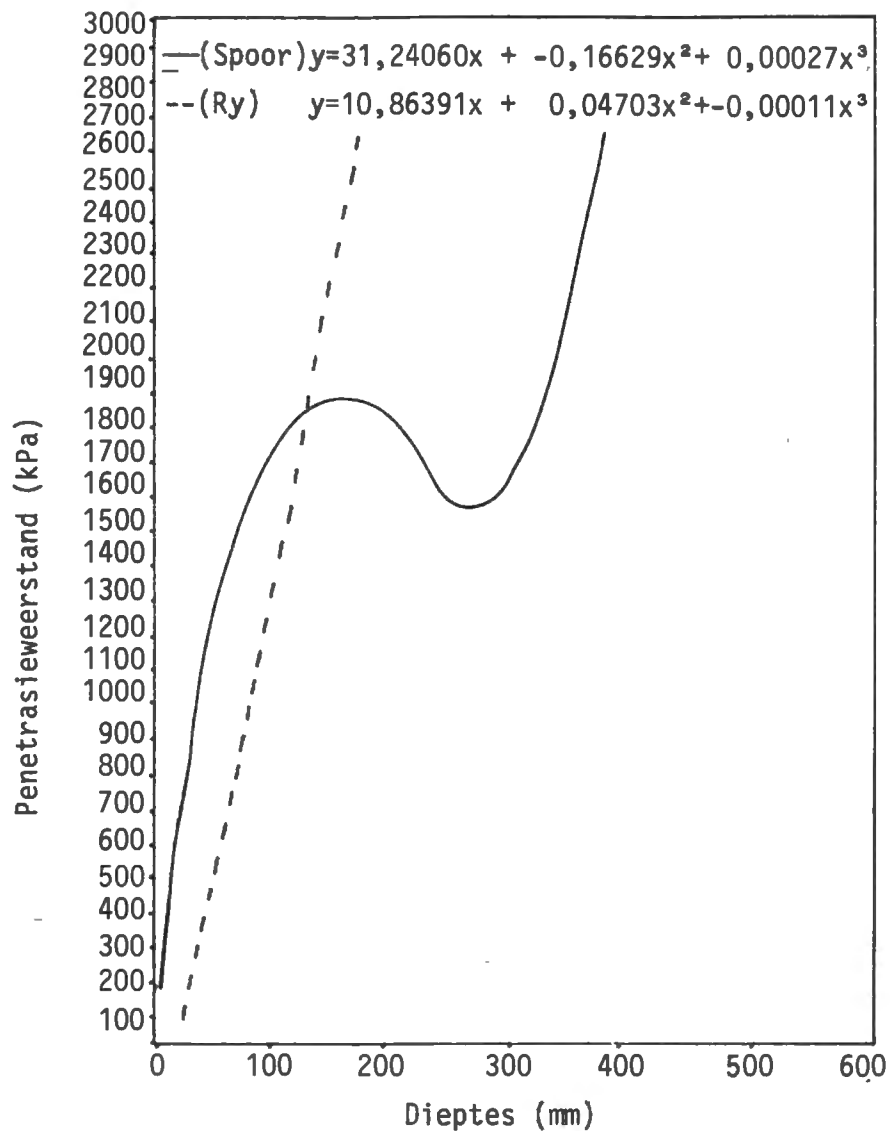
Behandeling	Dieptes (mm)	Toegekende waardes van wortelverspreiding op verskillende dieptes			
		Herhaling en gemiddeld			
		i	ii	iii	Gemiddeld
Sny-eg	0-100	3,0	2,3	1,6	2,3
	100-200	1,3	1,2	0,8	1,1
	200-300	0,3	0,5	0,2	0,5
	300-400	0,6	0,3	0,0	0,3
	400-500	0,0	0,2	0,0	0,1
Skaarploeg	0-100	2,3	1,8	2,7	2,3
	100-200	2,5	2,1	2,1	2,2
	200-300	1,2	0,7	0,7	0,5
	300-400	1,0	0,2	0,4	0,5
	400-500	0,9	0,1	0,1	0,4
Skeurploeg	0-100	1,7	2,5	2,8	2,3
	100-200	2,0	1,8	3,2	2,3
	200-300	1,8	1,3	1,9	1,7
	300-400	1,0	0,6	1,1	0,9
	400-500	0,2	0,0	0,0	0,07

Tabel 2.5 Wortelverspreiding by die Msingaserie

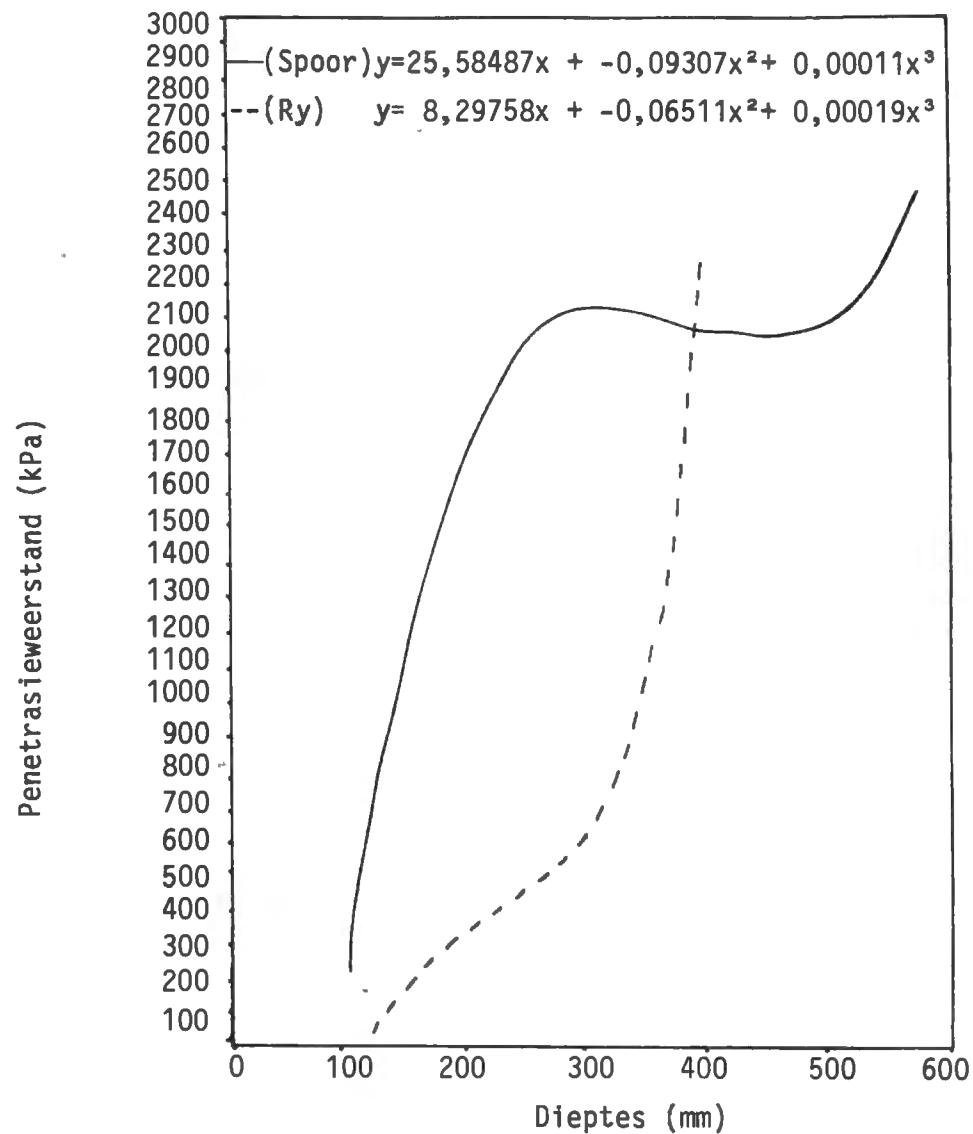
Behandeling	Dieptes (mm)	Toegekende waardes van wortelverspreiding op verskillende dieptes			
		Herhaling en gemiddeld			
		i	ii	iii	Gemiddeld
Sny-eg	0-100	3,2	2,8	2,8	2,9
	100-200	2,7	2,6	2,3	2,5
	200-300	2,3	2,3	2,0	2,2
	300-400	2,0	2,3	1,8	2,0
	400-500	1,7	1,9	1,3	1,6
Skaarploeg	0-100	3,1	3,4	2,9	3,1
	100-200	2,9	2,8	2,8	2,8
	200-300	2,8	2,3	2,1	2,4
	300-400	1,6	2,1	1,9	1,9
	400-500	2,6	1,6	1,7	1,8
Skeurploeg	0-100	3,2	3,5	2,6	3,1
	100-200	2,8	3,1	2,6	2,8
	200-300	2,6	2,2	2,0	2,3
	300-400	2,3	1,9	2,1	2,1
	400-500	2,1	1,6	1,6	1,8

2.5.3 Penetrasieweerstand

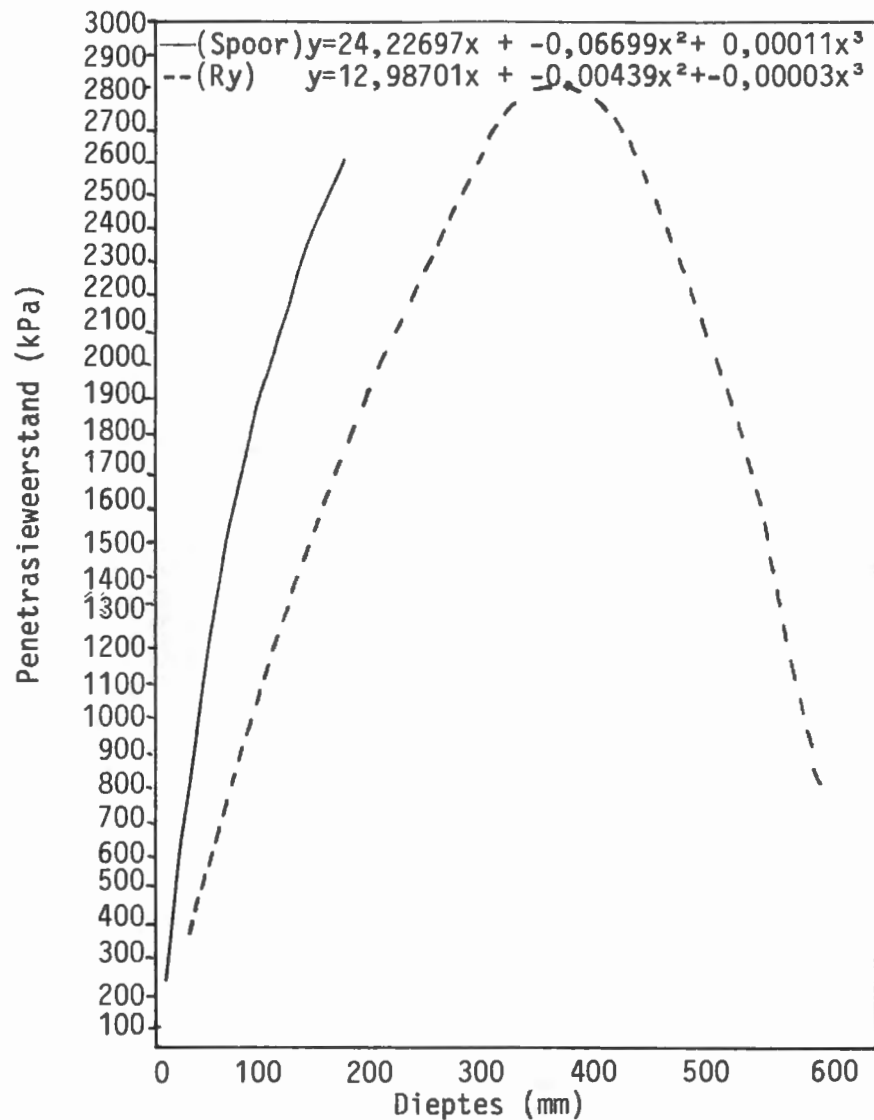
Die penetrasieweerstand (kPa) in die rye en spore van die verskillende behandelings op die Bleeksandserie word in Figure 2.4(a) tot 2.4(c) weergegee en die in die ry en spoor van die verskillende behandelings op die Msingaserie in Figure 2.5(a) tot 2.5(c).



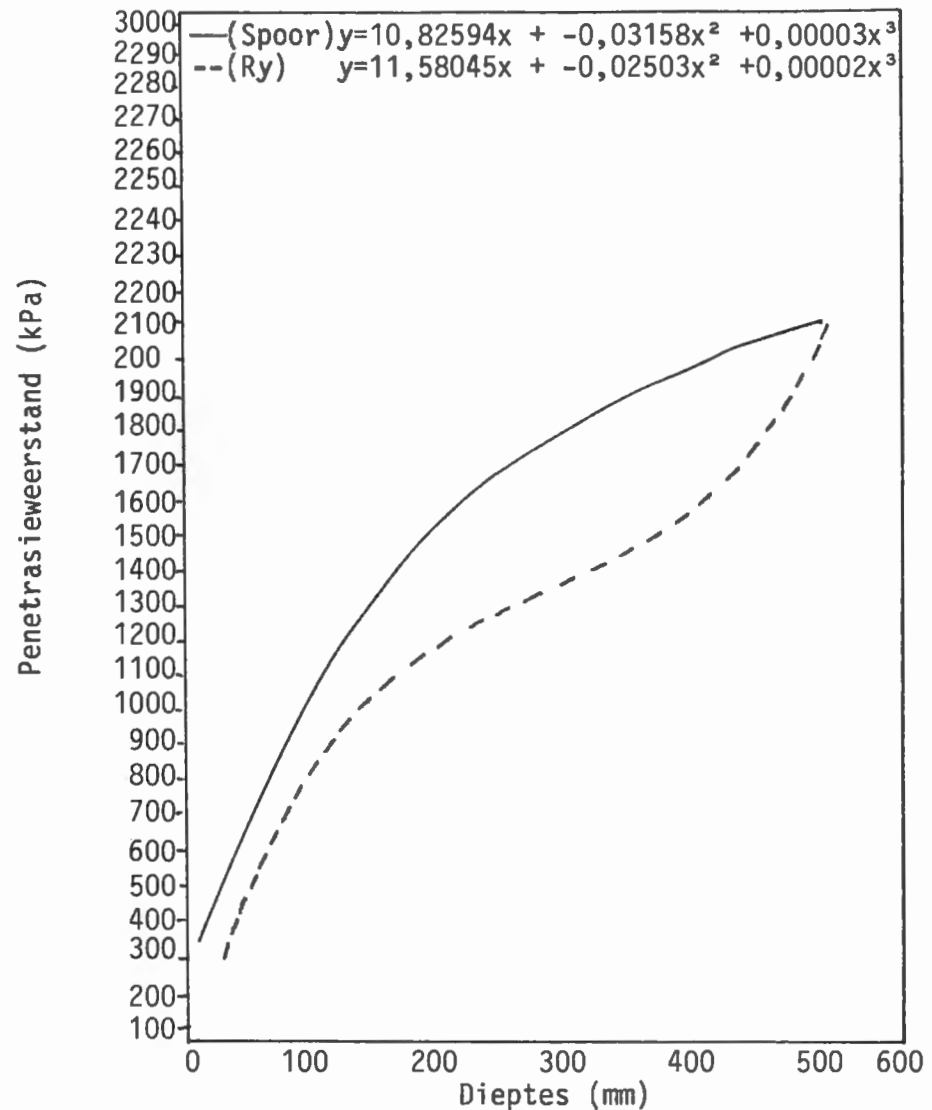
Figuur 2.4(a) Penetrasiweerstand in 'n spoor en ry in die geval van 'n sny-egbewerking op 'n Bleeksandserie



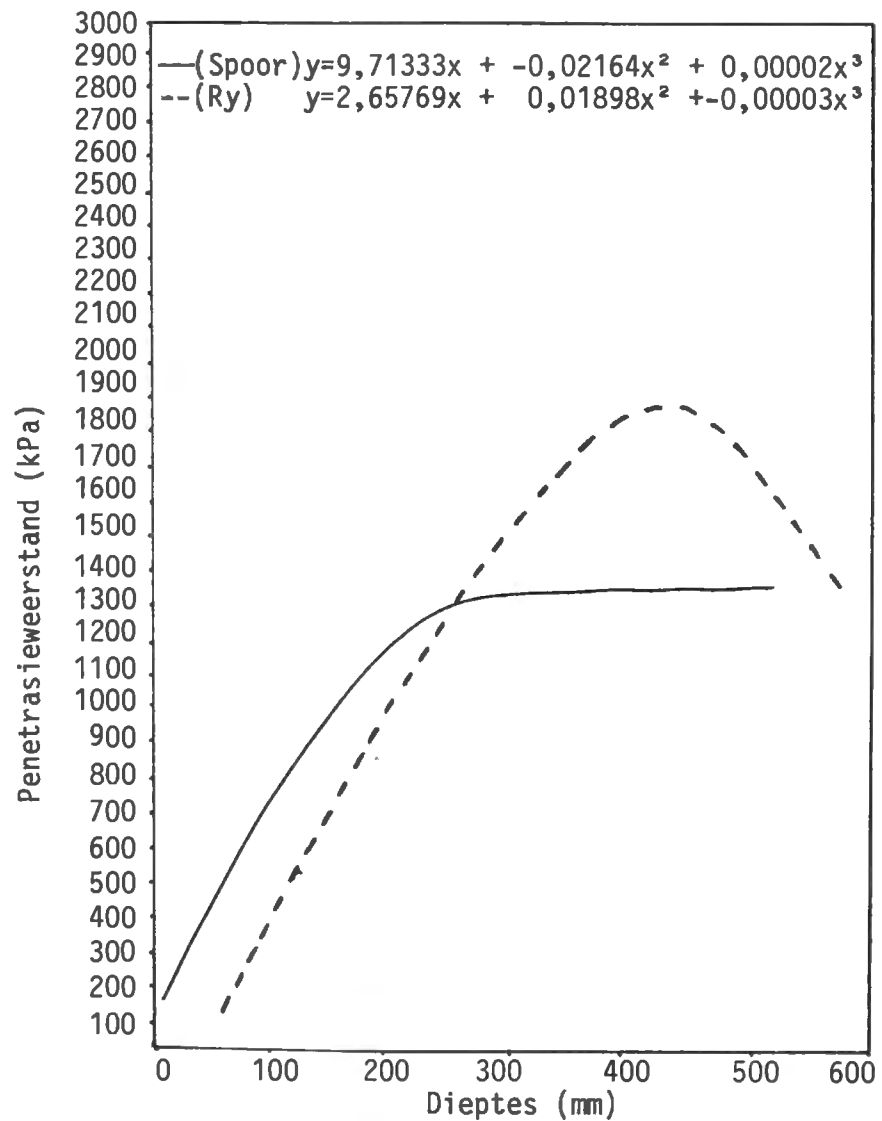
Figuur 2.4(b) Penetrasiweerstand in 'n spoor en ry in die geval van 'n skaarploegbewerking op 'n Bleek=sandserie



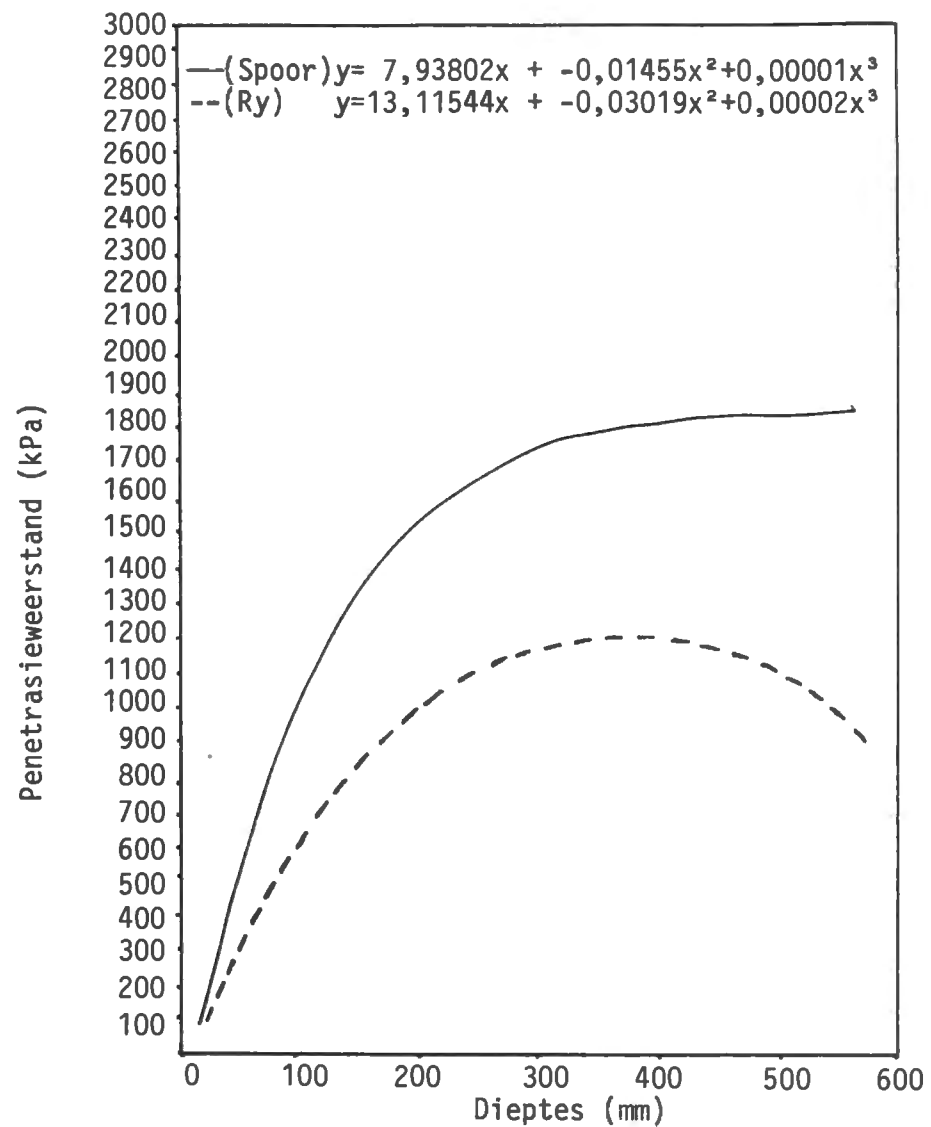
Figuur 2.4(c) Penetrasiweerstand in 'n spoor en ry in die geval van 'n skeurploeg op ry-bewerking op 'n Bleeksandserie



Figuur 2.5(a) Penetrasiweerstand in 'n spoor en ry in die geval van 'n sny-egbewerking op 'n Msingaserie



Figuur 2.5(b) Penetrasiweerstand in 'n spoor en ry in die geval van 'n skaarploegbewerking op 'n Msingaseries



Figuur 2.5(c) Penetrasiweerstand in 'n spoor en ry in die geval van 'n skeurploeg op ry-bewerking op 'n Msingaseries

Dit was ongelukkig, as gevolg van die lae hidrouliese geleibaarheid van die verdigte lae en gevolglike versameling en laterale beweging van water op hierdie lae, nie moontlik om die grond op alle dieptes tot by veldkapasiteit te benut nie. Penetrasieweerstand is dus nie op alle dieptes by veldkapasiteit bepaal nie en gevolglik is hierdie penetrasieweerstande nie werklik vergelykbaar nie. Dit wil egter nietemin voorkom asof die penetrasieweerstand by al die behandelings van albei proewe in die spore hoër neig as in die rye.

2.5.4 Grondwaterstudies

Die grond se waterinhoud (%) op bewerkingsdiepte, soos gemeet tydens die pluimstadium van die proefplante in die geval van al drie die behandelings by die Bleeksand- en Msingaseries, word in Tabel 2.6 gegee. In die geval van die Msingaserie is daar nie ooglopende verskille gevind nie. By die Bleeksandserie was die waterinhoud op die skeurploeg se bewerkingsdiepte (450mm) aansienlik hoër as wat die geval was op die bewerkingsdiepte van die sny-eg (150mm) en skaarploeg (250mm). Die hoër waterinhoud op 'n diepte van 450mm was moontlik die gevolg van kapillêre styging vanaf die grondwatervlak. Die diepte van die grondwatervlak was 1000mm en in die laboratorium het water as gevolg van kapillêre styging oornag, by kamertemperatuur, 530mm in 'n grondkolom met 'n digtheid van $1\,430\text{kg m}^{-3}$ gestyg.

Tabel 2.6 Grond se waterinhoud (%) op bewerkingsdiepte, soos gemeet tydens pluimstadium van die proefplante in die geval van sny-eg-, skaarploeg en skeurploegbewerkings by 'n Bleeksand- en Msingaserie

Grondserie	Behandeling	Waterinhoud* (%) op bewerkingsdiepte
Bleeksand	Sny-eg	3,0
	Skaarploeg	3,5
	Skeurploeg	11,0
Msinga	Sny-eg	9,0
	Skaarploeg	9,0
	Skeurploeg	8,0

* Gravimetriese waterinhoud

2.6 GEVOLGTREKKING

Skeurploeg-, sny-eg en skaarploegbewerkings het by die Bleeksandserie in die Noordwes-Vrystaat ooglopende grondverdigting veroorsaak. Slegs die dieptes van die verdigte lae het tussen die verskillende behandelings verskil. Brutodigthede wat wissel van $1\,580\text{kg m}^{-3}$ tot $1\,640\text{kg m}^{-3}$ is in die verdigte lae gemeet. Hierdie hoë brutodigthede was voldoende om wortelindringing te beperk. Uit die ondersoek het dit duidelik geblyk dat skeurploegbewerkings tot op 'n diepte van 450mm in die plantry, met gepaardgaande toepassing van beheerde spoorverkeer soos deur Burger (1982: 21), Koch & Badenhorst (1979:7) en Mallet *et al.* (1980:12) voorgestel, grond in so 'n mate verdig dat wortelgroei beperk kan word. As gevolg van die diepte van hierdie verdigte laag kan verwag word dat dit slegs teen hoë koste opgehef kan word. Hierdie metode van bewerking sal waarskynlik op sekere gronde wel met sukses toegepas kan word, veral as voldoende grondwater op bewerkingsdiepte teenwoordig is en die grondsterkte in die verdigte laag gevolglik verlaag word sodat wortels moontlik deur hierdie laag kan dring. 'n Ander moontlike verklaring is dat die grondwatervlak in sulke grond so vlak is dat dit binne die bereik van kapillêre styging na die verdigte laag geleë is. Meer navorsing sal egter nodig wees om gronde waarop hierdie bewerking suksesvol toegepas kan word, te karakteriseer. Fluktuasies van grondwatervlakke en die invloed van tekstuur en digtheid op kapillêre styging behoort hier aandag te geniet.

Die verskillende bewerkingstegnieke wat in die persele op die Msingaserie toegepas is, het geen noemenswaardige verdigting wat wortelontwikkeling sigbaar gestrem het, tot gevolg gehad nie.

Verdigting wat die gevolg is van kontakdrukke, veroorsaak deur trekkerwiele, het in beide die Bleeksand- en Msingaserie plaasgevind.

Dit sou egter gevaarlik wees om uit hierdie bevindings algemene gevolgtrekkinge te maak sonder dat die invloed van sekere veranderlikes, soos die grond se waterinhoud, op verdigting meer breedvoerig ondersoek is. Nietemin het dit duidelik uit die resultate geblyk dat die kompakteerbaarheid van verskillende grondtipes verskil. Gevolglik is besluit om ander faktore se invloed onder gekontroleerde toestande in die laboratorium te evalueer.

HOOFSTUK 3

DIE INVLOED VAN VERDIGTINGSPOGING, KLEI- EN WATERINHOUD OP VERDIGTING

3.1 INLEIDING

Volgens Coleman & Perumpral (1974:856-860), Harris (1971:9-47), Sowers & Sowers (1970:206-209) en Vanden Berg *et al.* (1958:24-27) is dit duidelik dat grondverdigting grootliks deur die omvang van die verdigtingspoging en die klei- sowel as waterinhoud beïnvloed word.

Elke grond het 'n sekere optimumwaterinhoud, waarby maksimum verdigting vir 'n bepaalde verdigtingspoging moontlik is (Sowers & Sowers, 1970:208). Die optimumwaterinhoud vir 'n spesifieke grond is dus die faktor wat bepaal tot watter maksimum brutodigtheid grond deur middel van 'n spesifieke verdigtingspoging verdig kan word. Indien die waterinhoud laer as die optimum is, neem verdigting vir die poging toe namate die waterinhoud tot by die optimum toeneem. In geval van waterinhoude hoër as die optimum neem die verdigting met die spesifieke poging af namate die waterinhoud toeneem (Soehne, 1958:280). Hierdie optimumwaterinhoud is in die omgewing van die plastisiteitsgrens (Weaver & Jamison, 1951:21).

Wanneer al die tussenruimtes in die grond by verskillende digthede met water gevul is, dit wil sê wanneer die grond vir elkeen van hierdie digthede versadig is, sal die verhoudings tussen die waterinhoude en brutodigthede die nullugruimte-kromme gee. Die teoretiese maksimum digtheid vir die nullugruimte-kromme word bereken uit die soortlike massa van die soliede fase by elke waterinhoud:

$$Y_z = \frac{Y_w}{W + \left(\frac{1}{G_s}\right)}$$

Y_w = die eenheidsmassa van water

G_s = die soortlike massa van die soliede fase

W = die waterinhoud

Y_z = die maksimum digtheid vir die nullugruimte-kromme.

Indien grond by 'n bepaalde waterinhoud tot so 'n mate verdig word dat die ruimtes slegs met water gevul is, met ander woorde versadig is by die bepaalde digtheid, sal die teoretiese digtheid laer wees as wanneer grond by 'n laer waterinhoud verdig word. Die digtheid sal dan toeneem tot 'n teoretiese maksimum wanneer die waterinhoud tot nul verminder. By hierdie punt sal die massa van die soliede fase gelyk wees aan die teoretiese maksimum digtheid (Sowers & Sowers, 1970:208).

In kohesielose gronde word die gronddeeltjies tydens verdigting in 'n digter pakking gerangskik. Wrywing tussen die deeltjies veroorsaak weerstand teen heroriëntasie van deeltjies. Hierdie wrywing word deur die kapillêre spanning in die waterlagies tussen die deeltjies verhoog. Met toename in waterinhoud verlaag die kapillêre spanning. Die verdigtingspoging se effektiwiteit neem dus toe tot by die optimumwaterinhoud. Indien die waterinhoud verder toeneem, sal die verhouding water:gronddeeltjies ook toeneem en die laer digtheid van water veroorsaak gevolglik 'n verlaging in brutodigtheid.

Volgens Sowers & Sowers (1970:207) is verdigting in 'n kohesiegrond hoofsaaklik die gevolg van distorsie en heroriëntering van gronddeeltjies. Hierdie distorsie en heroriëntering word deur die aantrekkingskrag tussen die gronddeeltjies bemoeilik. Met 'n toename in waterinhoud sal die kohesiekragte verlaag en die weerstand teen verdigting sal afneem. Die verdigtingspoging word nou progressief meer effektief. By 'n hoër waterinhoud sal verdigting aanleiding gee tot hoër versadiging. Dit veroorsaak 'n verhoging in die neutrale-spanning. Hierdie verhoging in neutrale-spanning werk 'n verdere verlaging in dielugruimteverhouding teen. Indien verdigting by 'n waterinhoud wat hoër as die optimum is, plaasvind, sal die gedispergeerde deeltjies verder van mekaar af beweeg sodat meer ruimte vir die groter hoeveelheid water gemaak word. Die grond se digtheid sal gevolglik vir dieselfde verdigtingspoging by hoër waterinhoude verminder.

Grond met 'n hoër klei-inhoud kan by die optimumwaterinhoud dertig persent meer verdig as wanneer die grond droog is. Sandgronde kan egter by die optimumwaterinhoud slegs twintig persent meer as droë sand verdig. Die waterinhoud het dus by grond met 'n hoër klei-inhoud 'n groter invloed

op verdigting as by grond met 'n lae klei-inhoud (McKyes *et al.*, 1980: 130). Ongelukkig meld die outeur nie by watter klei-inhoud sy bepalinge gedoen is nie.

Die mate van verdigting wat plaasvind word nie slegs beïnvloed deur die waterinhoud nie maar ook deur die verdigtingspoging. Met 'n toename in die verdigtingspoging neem die optimumwaterinhoud af. Larson *et al.* (1977:2) het 'n reglynige verband tussen die brutodigtheid en die logaritme van die toegepaste spanning gepostuleer. Indien brutodigtheid teenoor die toegepaste spanning gestip word, het hierdie navorsers bevind dat die helling van die kromme deur die tipe klei-mineraal beïnvloed word en dat dit toeneem totdat die klei-inhoud 'n waarde van 33 persent bereik het. Met 'n verdere toename in klei-inhoud bly die helling konstant.

3.2 DOEL VAN GEKONTROLEERDE VERDIGTINGSTOETSE

Uit die voorafgaande literatuuroorsig is dit duidelik dat die verdigtingspoging, sowel as die grond se klei- en waterinhoud, faktore is wat verdigting grootliks beïnvloed. Die doel met hierdie gedeelte van die ondersoek was dan ook om die invloed van hierdie drie faktore op verdigting te evalueer.

Teneinde die resultate op die mielieproduksiegebiede van die Hoëveldstreek van toepassing te maak, was dit noodsaaklik dat die grond so deeglik as moontlik gekarakteriseer word. 'n Aantal verteenwoordigende grondmonsters, waarvan die klei-inhoud verskil, is in die laboratorium ondersoek. Daar is vervolgens gepoog om die volgende ten opsigte van sekere gronde van die Hoëveldstreek vas te stel:

- i) Die verwantskap tussen klei-inhoud en die maksimum brutodigtheid waartoe grond by die optimumwaterinhoud kan verdig.
- ii) Die verwantskap tussen klei-inhoud en die optimumwaterinhoud.
- iii) Die verwantskap tussen klei-inhoud en die maksimum brutodigtheid waartoe grond by waterinhoude wat afwyk van die optimum, kan verdig.
- iv) Die gekombineerde invloed van klei- en waterinhoud op verdigting.
- v) Die invloed van die grootte van die verdigtingspoging op verdigting.

3.3 BESKRYWING VAN DIE ONDERSOEKGEBIED

Die homogene boerderygebiede met nommers 1, 2, 4, 6, 7, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 27, 28, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 44, 45, 46, 51, 52, 53, 54 en 55 in Figuur 3.3 word deur die Departement Landbou (1981:16) as die belangrikste mielieproduksiegebiede van die Hoëveldstreek beskou. Grondmonsters is van die B21-horisonte van die dominante gronde in sommige van hierdie mielieproduksiegebiede geneem. In Figuur 3.2 word die verspreiding van die Hoëveldstreek se dominante gronde (Departement Landbou, 1981:16), aangedui. Die lokaliteite waar die monsters geneem is, word in Figuur 3.1 aangedui.

Aangesien verskeie navorsers (Bodman & Constantin, 1965:590; Moolman & Weber, 1978:44; Staple, 1975:407) gevind het dat deeltjiegrootteverspreiding 'n belangrike kenmerk is wat die verdigbaarheid beïnvloed, is sortering, kurtose, skeefheid en gemiddelde deeltjiegrootte as parameters gebruik om die monsters wat in die verdere ondersoek gebruik is, te kwantifiseer. Die berekening en implikasies van die parameters word deur Folk (1961:34-51) beskryf. Volledige deeltjiegrootte-analises van die grondmonsters is deur toepassing van die hidrometermetode en sif-analises, soos beskryf deur Bowles (1970:41), uitgevoer. Vir die akkurate berekening van bogenoemde parameters is die volgende deeltjiegroottes, in millimeters, bepaal: 1,700; 1,400; 1,180; 1,000; 0,850; 0,710; 0,600; 0,500; 0,425; 0,355; 0,300; 0,250; 0,212; 0,180; 0,150; 0,160; 0,090 en 0,070. Aangesien die klei-inhoud van die gronde verskil, en dit 'n groot invloed op die deeltjiegrootteverspreidingskrommes het, is die klei-inhoud in die berekenings weggelaat en is slegs die verspreiding van die deeltjies groter as 0,002mm inaggeneem. Die sortering, skeefheid, kurtose, gemiddelde deeltjiegrootte en klei-inhoud van monsters 1 tot 20 word in Tabel 3.1 gegee. Die grondmonsters is hoofsaaklik gemiddeld gesorteer, simmetries tot fynskeef en met 'n gemiddelde kurtose. Die klei-inhoud wissel vanaf 5 persent tot 28 persent.

Die Neldwindjie p-7-8

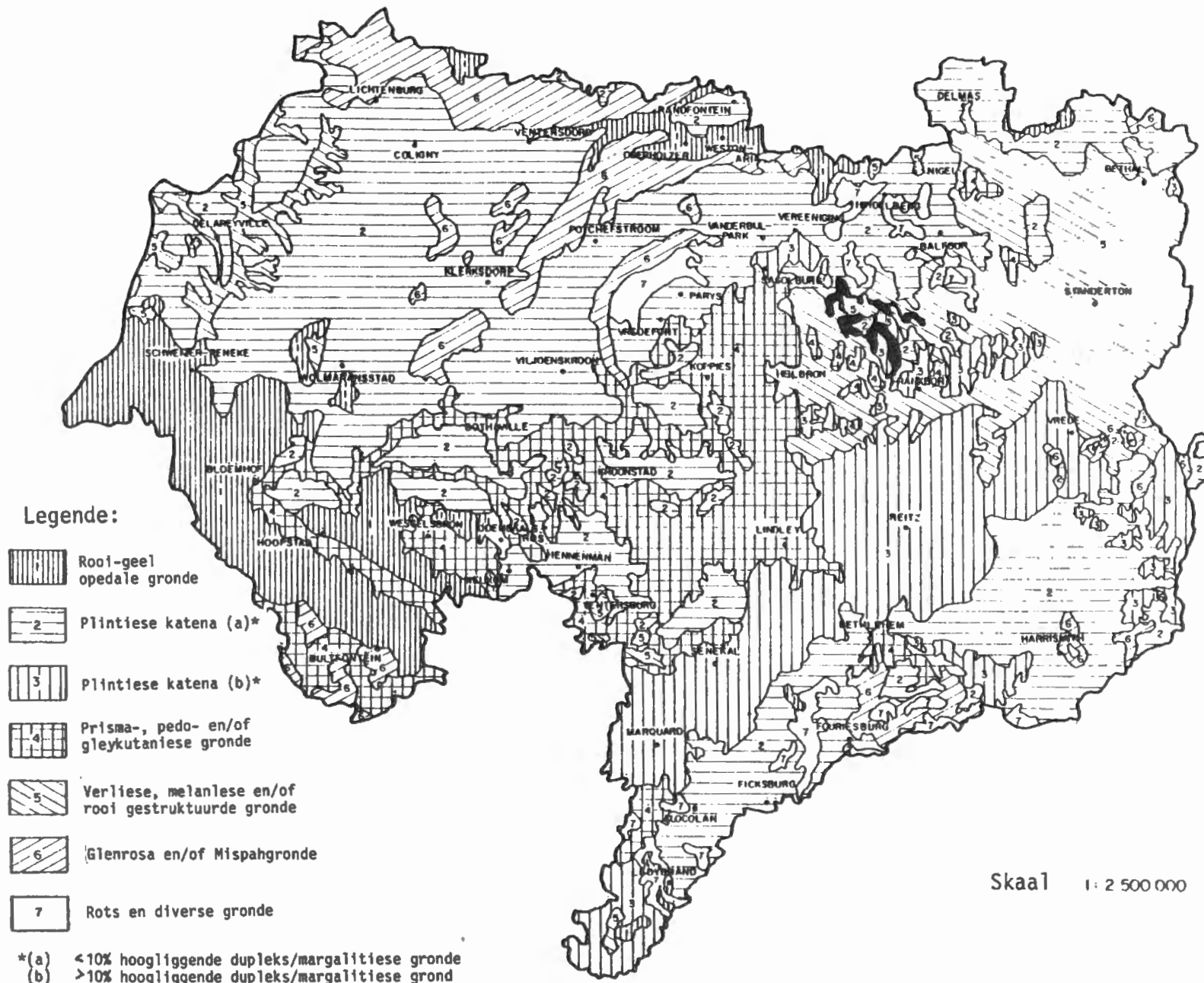


Figuur 3.1 Lokalteite waar grondmonsters geneem is

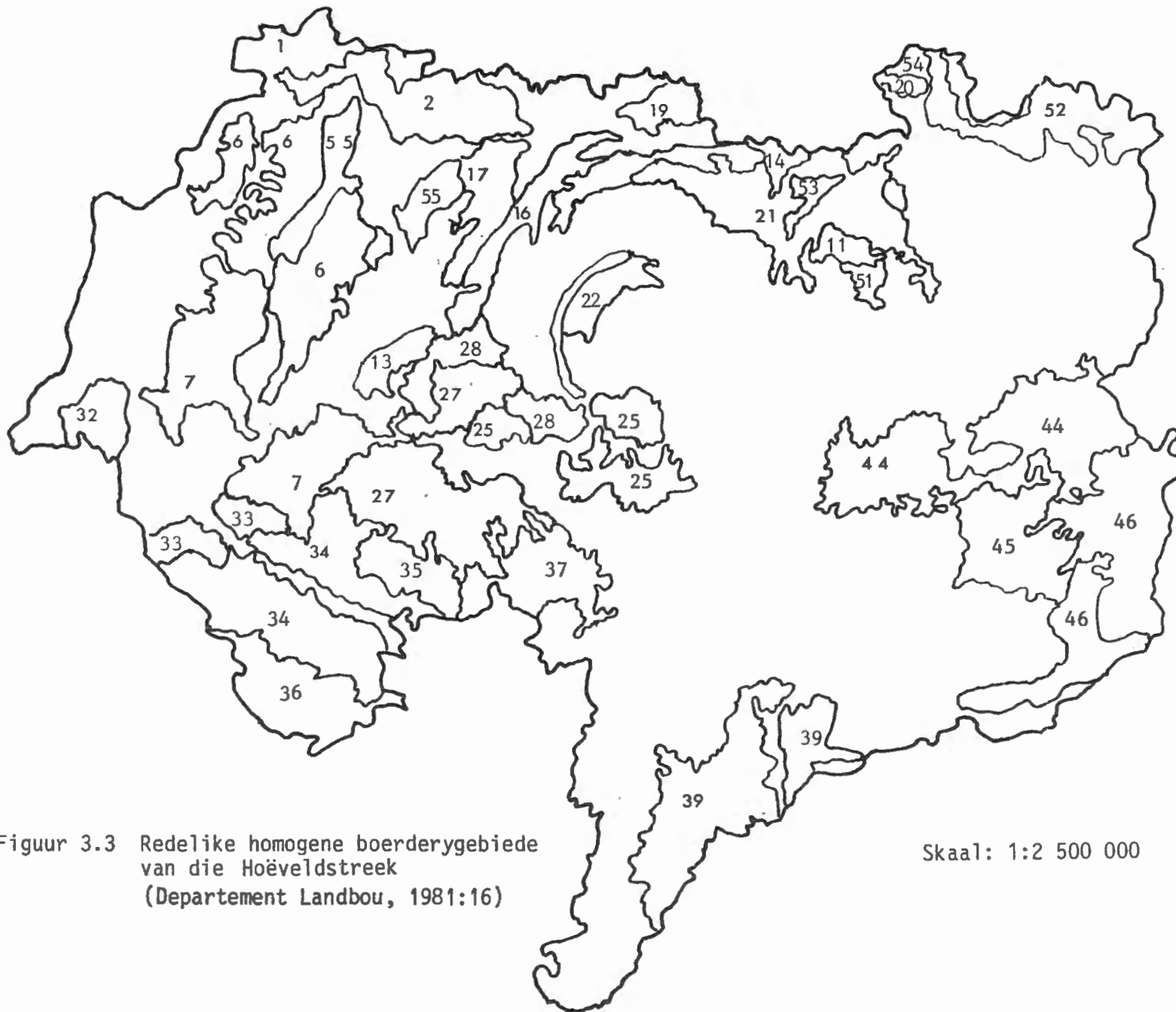
R Witer nag p. 5-6



Figuur 3.1 Lokalteite waar grondmonsters geneem is



Figuur 3.2 Skematiese grondkaart van die Hoëveldstreek (Departement Landbou, 1981:16)



Figuur 3.3 Redelike homogene boerderygebiede
van die Hoëveldstreek
(Departement Landbou, 1981:16)

Skaal: 1:2 500 000

Tabel 3.1 Korrelgrootteparameters van grondmonsters 1 tot 20

Grondmonster	Klei-inhoud (%)	Gemiddelde deeltjie=grootte	Sortering ϕ	Skeefheid	Kurtose
1	5	1,97	0,74	0,08	1,07
2	7	2,6	0,79	0,04	1,07
3	13	2,7	0,83	0,17	1,22
4	15	2,7	0,96	0,19	1,19
5	17	2,77	0,81	0,15	1,11
6	22	2,66	1,06	0,09	1,37
7	28	2,50	0,80	0,19	1,19
8	18	2,70	0,90	0,10	1,18
9	11	2,70	0,89	0,25	1,56
10	13	2,80	1,31	0,48	1,73
11	2	2,53	0,74	0,21	4,2
12	9	2,61	0,79	0,10	1,15
13	15	2,70	0,89	0,25	1,60
14	12	2,53	0,85	0,20	1,31
15	5	2,81	0,74	0,01	1,10
16	7	2,65	0,90	0,08	1,20
17	11	2,60	1,0	0,05	1,40
18	21	2,53	1,40	0,50	1,63
19	15	1,99	0,80	0,10	1,20
20	16	2,49	0,69	0,08	1,07

Om die invloed van die verdigtingspoging en die klei- en waterinhoud op verdigting te ondersoek is vanuit grondmonsters 1 tot 20 'n aantal monsters met deeltjiegrootteverspreidings wat ooreenstem met die res van die monsters, gekies. Hierdie monsters se klei-inhoude varieer vanaf 5 tot 28 persent en hul deeltjiegrootteverspreiding word as monsters 1 tot 7 in Tabel 3.1 gegee.

3.4 METODES IN DIE ONDERSOEK GEBRUIK

3.4.1 Die invloed van klei- en waterinhoud op verdigting

Daar bestaan 'n aantal metodes waarvolgens die optimumwaterinhoud en maksimum brutodigtheid van 'n grond bepaal kan word (Lambe, 1951:43). Hierdie metodes is almal daarop ingestel om die verdigtingspoging wat in die praktyk gebruik word, so getrou as moontlik in die laboratorium na te boots. Hierdie outeur wys daarop dat die optimumwaterinhoud wat in die laboratorium verkry word, ietwat laer is as die optimumwaterinhoud wat in die veld waargeneem word. Die metode wat die meeste gebruik word, is die Proctor-metode. Hierdie metode bestaan daaruit dat 'n 2,5kg hamer vyf en twintig keer, 300mm hoog op 'n 100mm dik grondlaag in 'n 944cm³ houer laat val word. Die prosedure word twee keer herhaal nadat elke keer nog 'n laag van 100mm grond bygevoeg is (Sowers & Sowers, 1970:210). Die omvang van die verdigtingspoging is $\pm 592,7 \text{ kJm}^{-2}$.

Die grondmonsters se optimumwaterinhoud en maksimum brutodigtheid is in die laboratorium, volgens die Proctor-metode, bepaal. Om statisties betroubare data te verkry, is 25 monsters van elke grond, wat almal verskillend benat was, met behulp van die Proctor-metode verdig. Die verband tussen waterinhoud en brutodigtheid is vir al sewe gronde grafies voorgestel. Hierdie krommes is gebruik om die eerste vier verwantskappe, soos uiteengesit in paragraaf 3.2, te bepaal.

3.4.2 Die invloed van die omvang van die verdigtingspoging op verdigting

Grondmonsters 2, 5 en 7, met klei-inhoude van 7, 17 en 28 persent onderskeidelik, is in hierdie ondersoek gebruik. Die grondmonsters is volgens variasies van die standaard Proctor-metode verdig met toepassing van

5, 15, 20 en 25 houe onderskeidelik om sodoende vier verdigtingspogings vir elke grondmonster te verkry. Die optimumwaterinhoud en maksimum brutodigtheid is vir elke verdigtingspoging bereken. Om die invloed van die grootte van die verdigtingspoging op verdigting te bepaal, is die verwantskap tussen die toegepaste energie (kJm^{-2}) en brutodigtheid vasgestel.

3.5 RESULTATE EN BESPREKING

3.5.1 Die invloed van klei-inhoud op die maksimum brutodigtheid waartoe grond by die optimumwaterinhoud kan verdig

In Tabel 3.2 word die brutodigthede waartoe grondmonsters 1 tot 7, met verskillende klei-inhoude (kyk Tabel 3.1), by verskillende waterinhoue verdig het, gegee. Deur van hierdie data gebruik te maak is die verwantskap tussen waterinhoud en brutodigtheid van die grondmonsters in Figure 3.4(a) tot (g) voorgestel. Elke grondmonster se optimumwaterinhoud en maksimum brutodigtheid (met stippellyne aangetoon) is vanaf hierdie figure afgelees en in Tabel 3.3 tesame met die klei-inhoud aangetoon. Regressievergelykings 1 tot 7 (Tabel 3.3) is onderskeidelik vir die krommes wat in Figure 3.4(a) tot (g) getoon word, ontwikkel. Hierdie vergelykings kan gebruik word om die brutodigthede (y) waartoe grondmonsters 1 tot 7 by verskillende waterinhoue (x) kan verdig, te bereken.

Die verwantskap tussen klei-inhoud en die maksimum brutodigtheid waartoe die grond by die optimumwaterinhoud kan verdig (Tabel 3.3), word in Figuur 3.5 voorgestel. Regressievergelyking 8 is vir hierdie kromme ontwikkel. Indien die klei-inhoud (x) bekend is, kan vergelyking 8 gebruik word om die maksimum brutodigtheid (y) waartoe die grond by die optimumwaterinhoud kan verdig, te bereken.

$$y = -0,74x^2 + 28,74x + 1692,13; r = 0,98 \quad (\text{vergelyking 8})$$

Die maksimum brutodigtheid waartoe die grond kan verdig, neem toe namate die klei-inhoud tot ongeveer 19 persent toeneem. Die brutodigtheid neem egter af namate die klei-inhoud verder toeneem. Hierdie resultate is in ooreenstemming met die bevinding van Bodman & Constantin (1965:590) wat maksimum brutodigthede by grond met 'n slik + klei-inhoud van 25

Tabel 3.2 Brutodigthede (kg m^{-3}) waartoe grondmonsters 1 tot 7 met klei-inhoude van onderskeidelik 5-, 7-, 13-, 15-, 17-, 22-, en 28 persent, by verskillende waterinhoud (%), deur middel van die Procter-metode verdig het

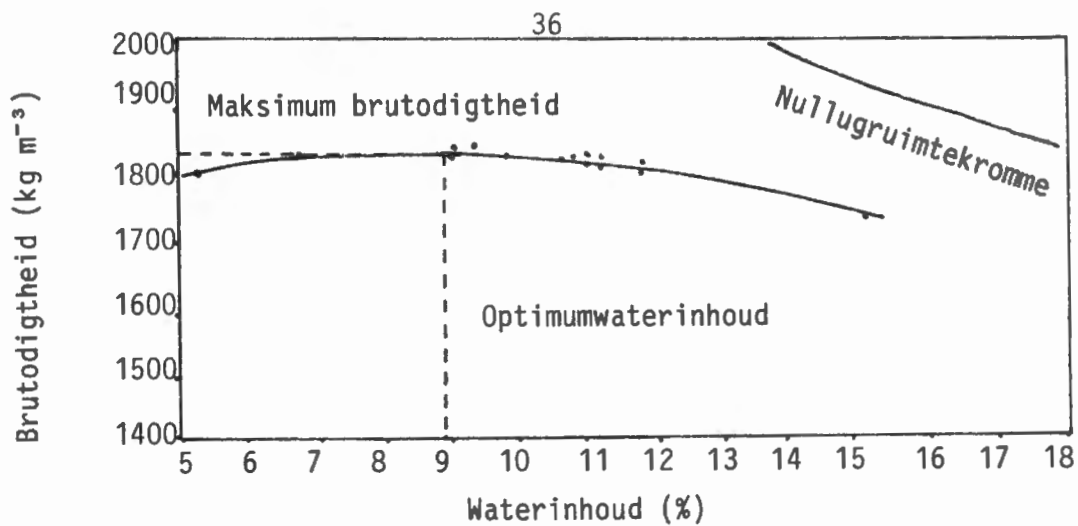
Grond= monster	Klei= inhoud %	Water= inhoud %	Brutodigt= heid kg m^{-3}	Grond= monster	Klei= inhoud %	Water= inhoud %	Brutodigt= heid kg m^{-3}	Grond= monster	Klei= inhoud %	Water= inhoud %	Brutodigt= heid kg m^{-3}
1	5,0	5,0	1800,0	2	7,0	6,2	1790,0	2	7,0	10,9	1830,0
1	5,0	6,0	1810,0	2	7,0	7,8	1820,0	2	7,0	12,2	1820,0
1	5,0	5,2	1800,0	2	7,0	10,1	1840,0	2	7,0	15,8	1690,0
1	5,0	7,0	1820,0	2	7,0	12,6	1820,0	2	7,0	10,1	1850,0
1	5,0	7,5	1820,0	2	7,0	13,6	1780,0	2	7,0	10,0	1840,0
1	5,0	7,6	1820,0	2	7,0	6,3	1820,0	2	7,0	8,9	1840,0
1	5,0	9,0	1830,0	2	7,0	9,1	1840,0	2	7,0	10,0	1840,0
1	5,0	9,5	1830,0	2	7,0	12,7	1790,0	2	7,0	10,0	1850,0
1	5,0	10,0	1820,0	2	7,0	14,3	1760,0	3	13,0	5,4	1800,0
1	5,0	10,8	1810,0	2	7,0	6,1	1810,0	3	13,0	7,0	1900,0
1	5,0	11,0	1810,0	2	7,0	10,0	1840,0	3	13,00	10,2	1950,0
1	5,0	11,2	1800,0	2	7,0	12,4	1810,0	3	13,00	10,2	1950,0
1	5,0	11,4	1800,0	2	7,0	14,5	1750,0	3	13,00	12,2	1910,0
1	5,0	12,0	1790,0	2	7,0	6,1	1820,0	3	13,0	5,3	1800,0
1	5,0	15,3	1720,0	2	7,0	11,1	1830,0	3	13,0	7,0	1900,0
1	5,0	9,2	1830,0	2	7,0	12,3	1820,0	3	13,0	10,1	1960,0
1	5,0	9,2	1830,0	2	7,0	15,7	1710,0	3	13,0	12,2	1910,0
1				2	7,0	6,0	1810,0	3	13,0	15,1	1790,0

Tabel 3.2 (vervolg)

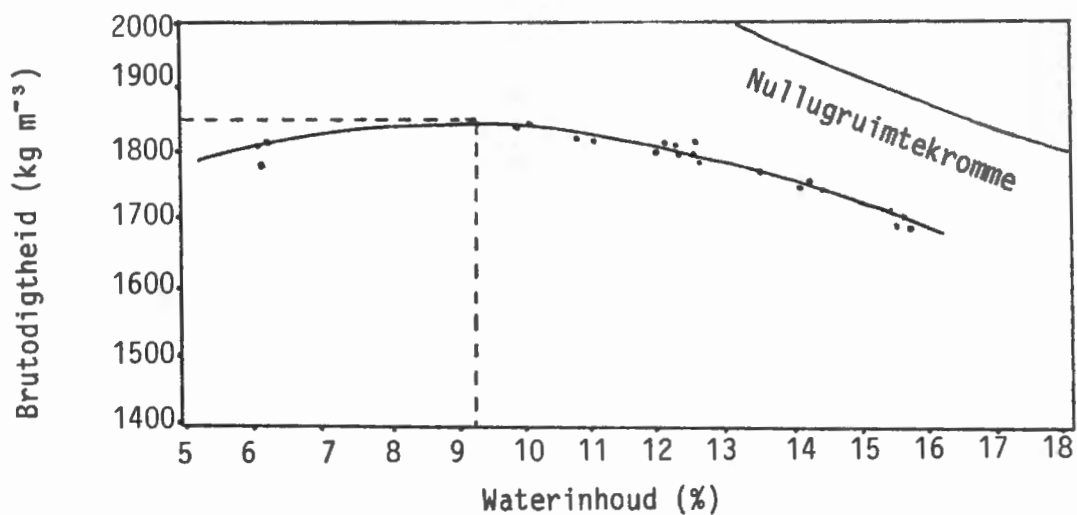
Grond= monster	Klei= inhoud %	Water= inhoud %	Brutodigt= heid kg m ⁻³	Grond= monster	Klei= inhoud %	Water= inhoud %	Brutodigt= heid kg m ⁻³	Grond= monster	Klei= inhoud %	Water= inhoud %	Brutodigt= heid kg m ⁻³
3	13,0	5,0	1770,0	4	15,0	9,7	1960,0	4	15,0	10,9	1960,0
3	13,0	7,4	1920,0	4	15,0	12,1	1940,0	5	17,0	5,5	1720,0
3	13,0	10,1	1950,0	4	15,0	13,6	1880,0	5	17,0	6,5	1800,0
3	13,0	12,2	1910,0	4	15,0	6,7	1820,0	5	17,0	7,0	1830,0
3	13,0	14,8	1790,0	4	15,0	8,2	1890,0	5	17,0	8,0	1900,0
3	13,0	5,0	1770,0	4	15,0	8,8	1920,0	5	17,0	8,5	1930,0
3	13,0	7,5	1900,0	4	15,0	10,7	1970,0	5	17,0	9,0	1950,0
3	13,0	10,2	1950,0	4	15,0	14,2	1840,0	5	17,0	9,9	1980,0
3	13,0	14,9	1790,0	4	15,0	6,2	1790,0	5	17,0	11,0	1990,0
3	13,0	8,6	1940,0	4	15,0	7,9	1880,0	5	17,0	13,2	1890,0
3	13,0	10,3	1960,0	4	15,0	9,7	1950,0	5	17,0	5,4	1720,0
4	15,0	7,5	1830,0	4	15,0	12,9	1900,0	5	17,00	8,6	1920,0
4	15,0	8,1	1890,0	4	15,0	14,4	1840,0	5	17,0	10,9	1990,0
4	15,0	9,5	1920,0	4	15,0	11,0	1970,0	5	17,0	13,2	1890,0
4	15,0	11,3	1970,0	4	15,0	10,5	1970,0	5	17,0	5,2	1710,0
4	15,0	13,8	1850,0	4	15,0	10,7	1970,0	5	17,0	8,5	1930,0
4	15,0	6,6	1850,0	4	15,0	10,7	1950,0	5	17,0	11,0	1980,0
4	15,0	7,7	1880,0	4	15,0	10,8	1970,0	5	17,0	11,8	1960,0

Tabel 3.2 (Vervolg)

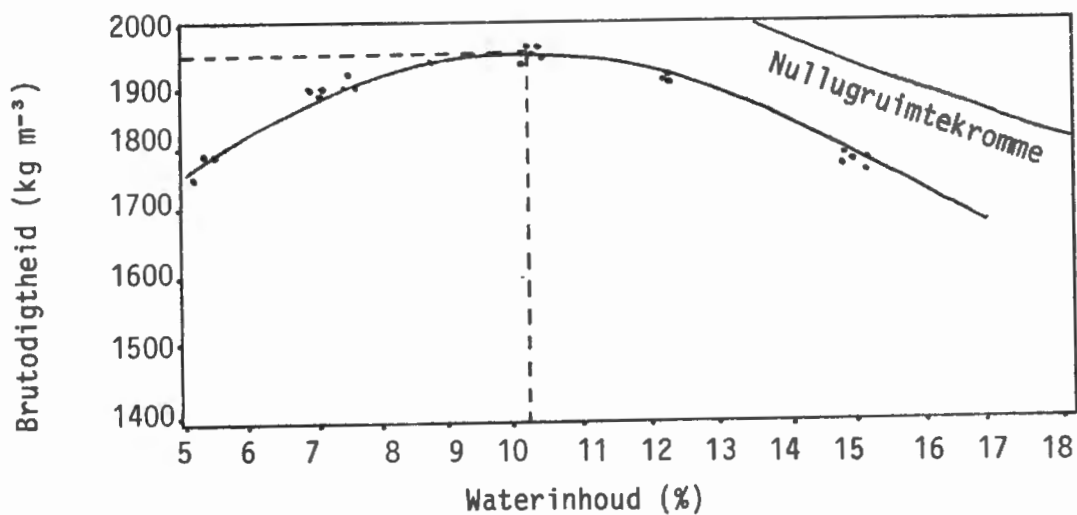
Grond= monster	Klei= inhoud %	Water= inhoud %	Brutodigt= heid kg.m ⁻³	Grond= monster	Klei= inhoud %	Water= inhoud %	Brutodigt= heid kg m ⁻³	Grond= monster	Klei= inhoud %	Water= inhoud %	Brutodigt= heid kg m ⁻³
5	17,0	14,2	1850,0	6	22,0	11,5	1960,0	7	28,0	15,5	1780,0
5	17,0	5,1	1720,0	6	22,0	11,7	1950,0	7	28,0	7,8	1500,0
5	17,0	8,2	1930,0	6	22,0	12,0	1950,0	7	28,0	12,6	1950,0
5	17,0	11,5	1960,0	6	22,0	13,0	1930,0	7	28,0	13,5	1920,0
5	17,0	10,8	1980,0	6	22,0	13,7	1900,0	7	28,0	15,0	1800,0
5	17,0	10,9	1990,0	6	22,0	14,5	1860,0	7	28,0	7,7	1510,0
6	22,0	7,0	1720,0	7	28,0	8,7	1620,0	7	28,0	12,3	1900,0
6	22,0	7,3	1750,0	7	28,0	10,7	1830,0	7	28,0	12,9	1920,0
6	22,0	7,7	1750,0	7	28,0	12,4	1940,0	7	28,0	14,8	1840,0
6	22,0	7,8	1800,0	7	28,0	13,0	1940,0	7	28,0	7,8	1510,0
6	22,0	8,5	1840,0	7	28,0	16,0	1730,0	7	28,0	12,9	1920,0
6	22,0	8,7	1850,0	7	28,0	8,3	1550,0	7	28,0	15,2	1800,0
6	22,0	9,1	1850,0	7	28,0	10,9	1820,0				
6	22,0	9,0	1870,0	7	28,0	12,6	1950,0				
6	22,0	9,5	1920,0	7	28,0	16,0	1750,0				
6	22,0	10,0	1930,0	7	28,0	8,3	1540,0				
6	22,0	11,0	1950,0	7	28,0	11,5	1910,0				
6	22,0	11,4	1960,0	7	28,0	13,0	1940,0				



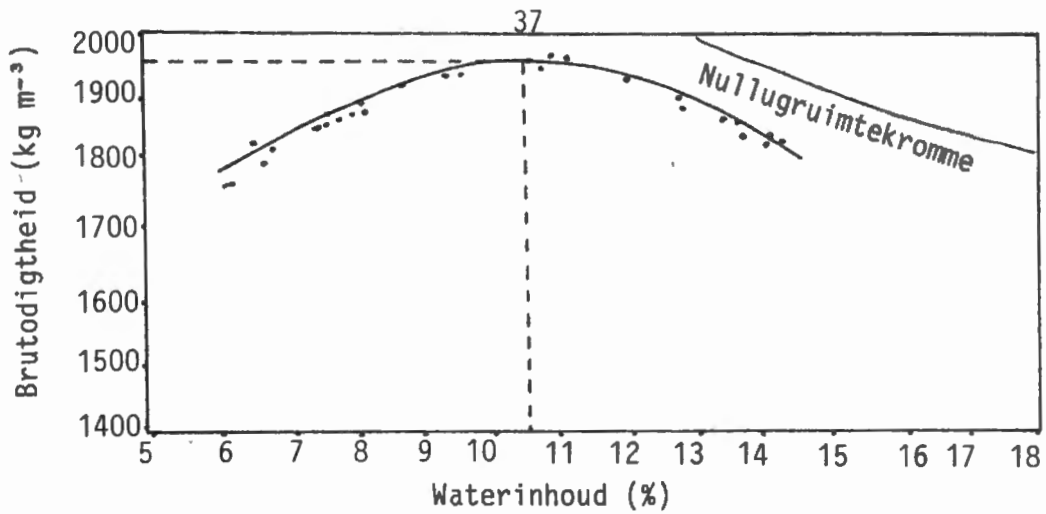
Figuur 3.4(a) Optimum waterinhoud en maksimum brutodigtheid van 'n grond met 'n klei-inhoud van 5 persent



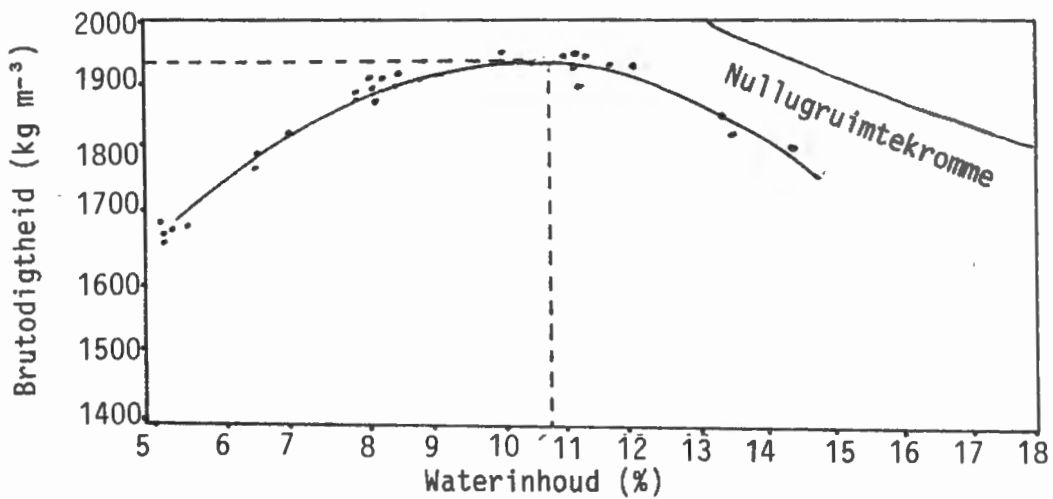
Figuur 3.4(b) Optimum waterinhoud en maksimum brutodigtheid van 'n grond met 'n klei-inhoud van 7 persent



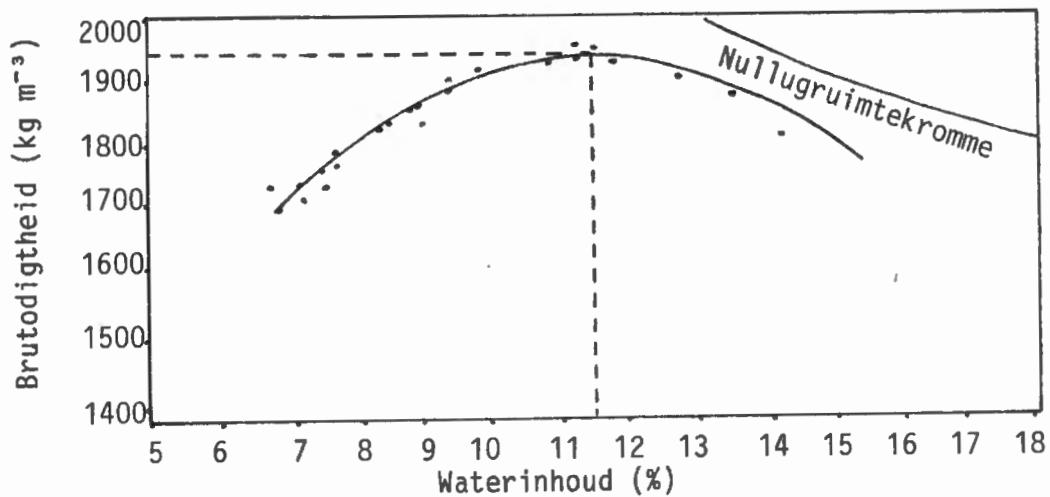
Figuur 3.4(c) Optimum waterinhoud en maksimum brutodigtheid van 'n grond met 'n klei-inhoud van 13 persent



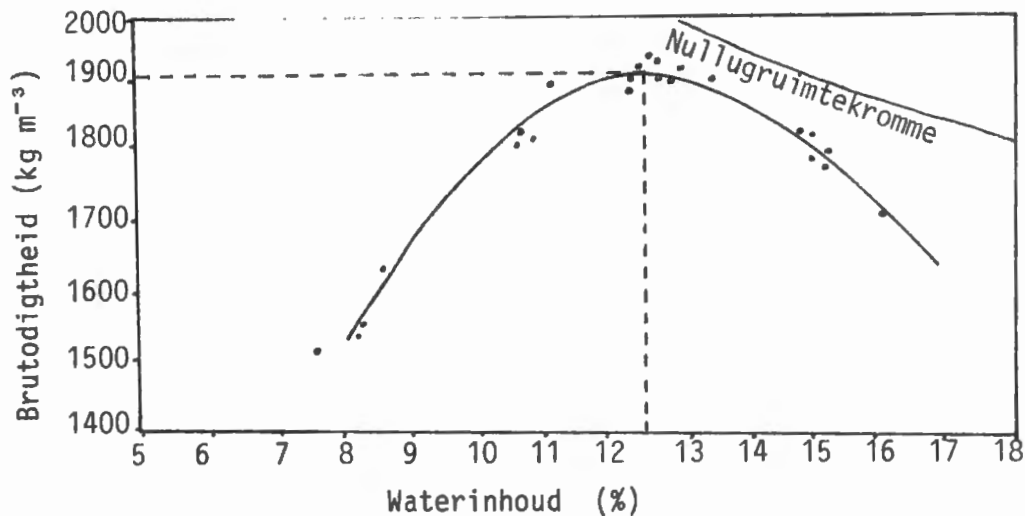
Figuur 3.4(d) Optimum waterinhoud en maksimum brutodigtheid van 'n grond met 'n klei-inhoud van 15 persent



Figuur 3.4(e) Optimum waterinhoud en maksimum brutodigtheid van 'n grond met 'n klei-inhoud van 17 persent



Figuur 3.4(f) Optimum waterinhoud en maksimum brutodigtheid van 'n grond met 'n klei-inhoud van 22 persent



Figuur 3.4(g) Optimum waterinhoud en maksimum brutodigtheid van 'n grond met 'n klei-inhoud van 28 persent

persent verkry het. Dit is egter belangrik dat, hoewel die verwantskap tussen brutodigtheid en klei-inhoud betekenisvol is, al sewe grondmonsters tot hoë brutodigthede by hulle onderskeie optimumwaterinhoude verdig het.

3.5.2 Die invloed van klei-inhoud op die optimumwaterinhoud

Die verwantskap tussen klei-inhoud en die optimumwaterinhoud (Tabel 3.3) word in Figuur 3.6 voorgestel. Regressievergelyking 9 is vir Figuur 3.6 ontwikkel. Vergelyking 9 kan gebruik word om 'n grond se optimumwaterinhoud (y), soos bepaal deur die klei-inhoud (x), te bereken.

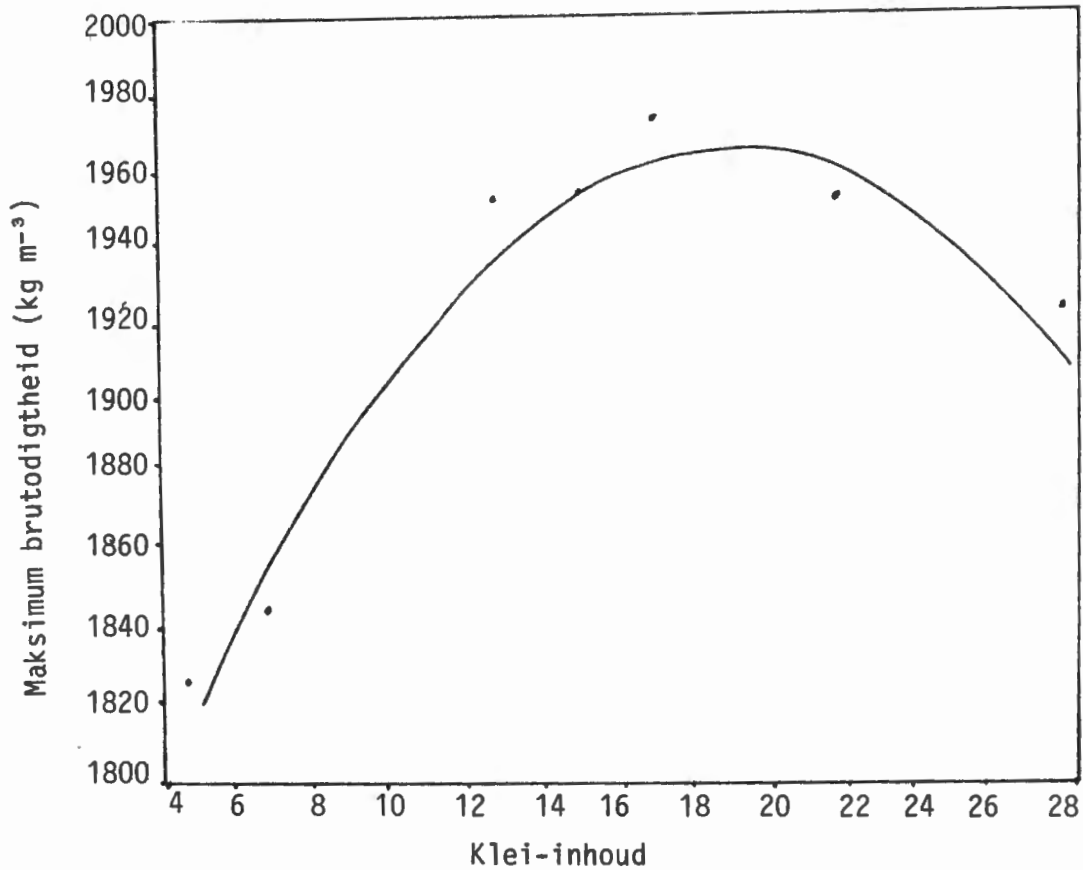
$$y = 0,16x + 8,13; \quad r = 0,99$$

(vergelyking 9)

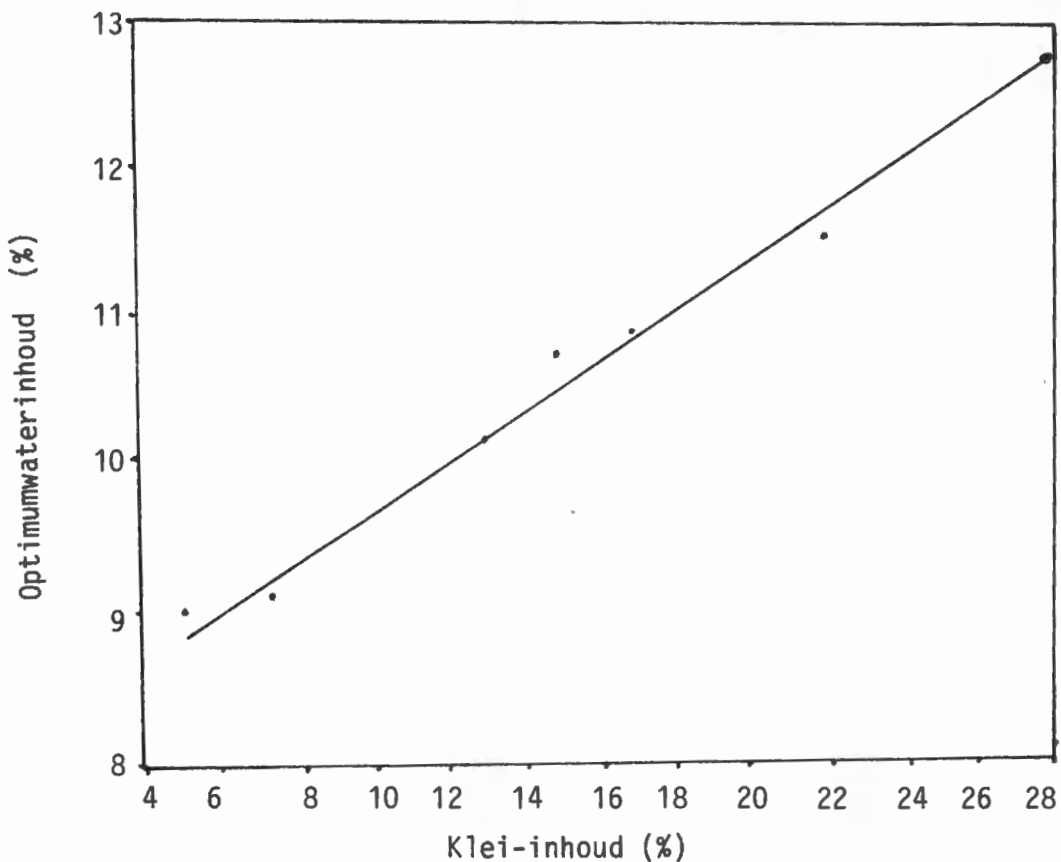
'n Reglynige verwantskap tussen klei-inhoud en optimumwaterinhoud is waargeneem tot by 'n klei-inhoud van 28 persent. Die optimumwaterinhoud verhoog met 'n toename in die klei-inhoud. Hierdie verwantskap kan moontlik toegeskryf word aan die feit dat daar volgens Sowers & Sowers (1970:212) meer water by 'n hoë klei-inhoud nodig is om die sisteem van 'n geflokkuleerde na 'n gedispergeerde toestand te verander. Verskeie navorsers (Weaver & Jamison, 1951:23; Swoboda, 1982:24; Raghavan *et al.*, 1977:220) het dan ook tydens grondbewerkingsondersoeke gevind dat grond met 'n hoë klei-inhoud, maklik verdig indien die grond te nat bewerk word.

Tabel 3.3 Die optimumwaterinhoud (%) en maksimum brutodigtheid (kg.m^{-3}) waartoe geselekteerde grondmonsters by optimumwaterinhoud kan verdig

Grondmonster	Klei-inhoud %	Optimumwaterinhoud %	Brutodigtheid by optimumwaterinhoud kg.m^{-3}	Regressievergelykings vir die berekening van die brutodigtheid (y) waartoe gronde 1 tot 7 by waterinhoud (x) sal verdig
1	5	8,93	1817	$y = -2,30x^2 + 38,62x + 1662,64$; $r = 0,98$ (vergelyking 1)
2	7	9,28	1857	$y = -3,44x^2 + 64,20x + 1543,66$; $r = 0,98$ (vergelyking 2)
3	13	10,20	1940	$y = -6,92x^2 + 138,80x + 1256,66$; $r = 0,99$ (vergelyking 3)
4	15	10,52	1956	$y = -8,97x^2 + 190,91x + 942,63$; $r = 0,96$ (vergelyking 4)
5	17	10,84	1966	$y = -9,58x^2 + 202,06x + 908,76$; $r = 0,98$ (vergelyking 5)
6	22	11,64	1966	$y = -11,60x^2 + 268,81x + 395,02$; $r = 0,99$ (vergelyking 6)
7	28	12,59	1916	$y = -17,83x^2 + 453,93x - 965,71$; $r = 0,99$ (vergelyking 7)



Figuur 3.5 Die invloed van klei-inhoud op die maksimum brutodigtheid waartoe grond by die optimum waterinhoud, deur middel van die Proctor-metode, verdig kan word



Figuur 3.6 Die invloed van klei-inhoud op die optimumwaterinhoud

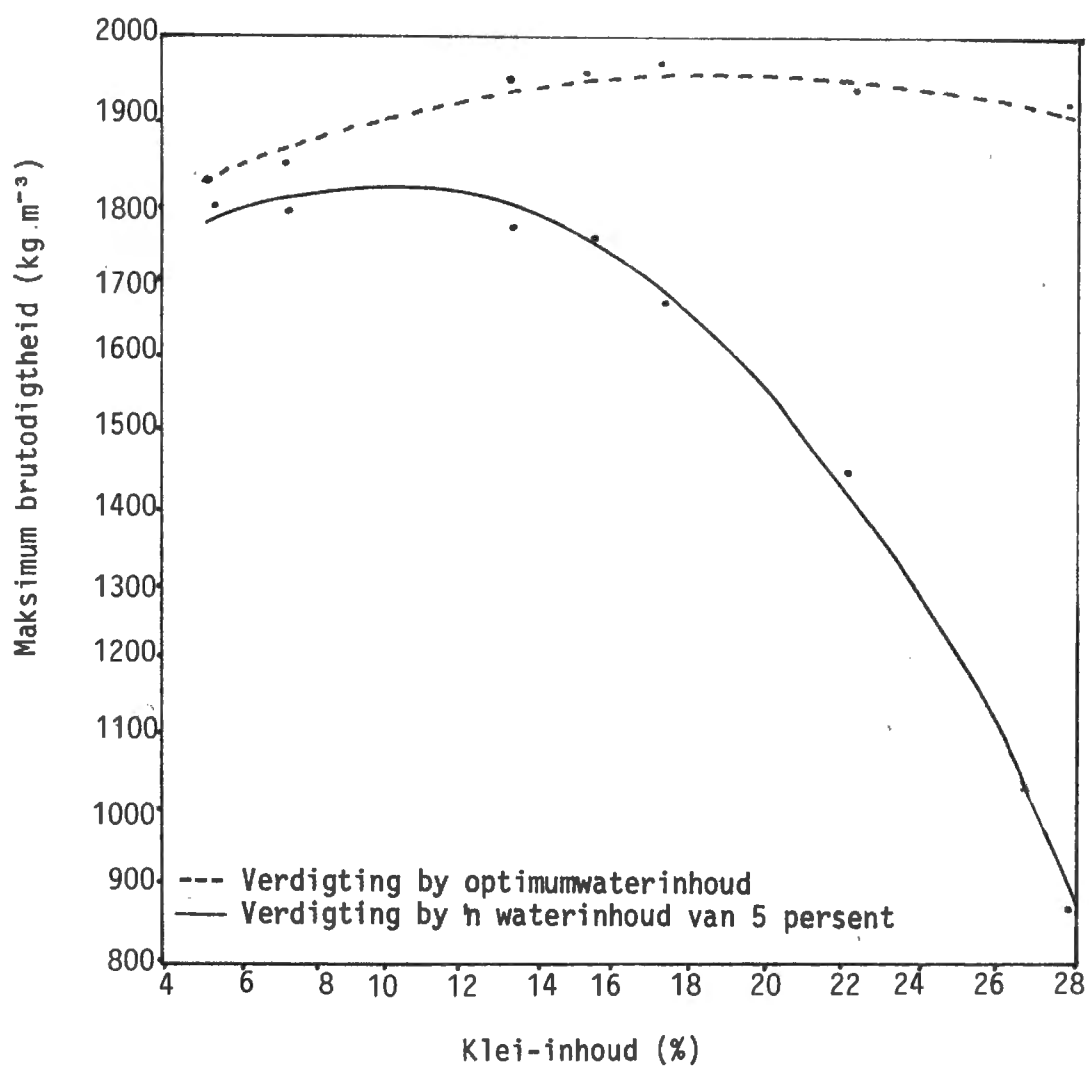
3.5.3 Die invloed van klei-inhoud op die brutodigtheid waartoe grond by ander waterinhoude as die optimum, kan verdig

Vergelykings 1 tot 7 is onderskeidelik gebruik om die brutodigthede te bereken waartoe monsters 1 tot 7 by 'n waterinhoud van 5 persent sal verdig (kyk Tabel 3.4). Die data in Tabelle 3.3 en 3.4 is gebruik om die verwantskap tussen grond se klei-inhoud en die brutodigtheid (Figuur 3.7) waartoe die grond by 5 persent en by die optimumwaterinhoud kan verdig, te vergelyk. Regressievergelyking 10 is ontwikkel om die maksimum brutodigtheid (y) waartoe 'n grond met klei-inhoud x by 'n waterinhoud van 5 persent kan verdig, te bepaal.

$$y = -2,86x^2 + 56,05x + 1555,18; r = 0,99 \quad (\text{vergelyking 10})$$

Indien verdigting by 'n lae waterinhoud van 5 persent plaasvind, neem die brutodigtheid af namate die klei-inhoud toeneem. Hierdie verskynsel kan moontlik toegeskryf word aan die feit dat die weerstand teen verdigting, van grond met 'n lae klei-inhoud, by 'n lae waterinhoud hoofsaaklik die gevolg van kapillêre spanning in die waterlagies tussen die gronddeeltjies is. In die geval van gronde met 'n hoë klei-inhoud is die kollede by lae waterinhoude volgens Sowers & Sowers (1970:212) hoofsaaklik geflokkuleerd en die hoë kohesiekragte in grond met 'n hoë klei-inhoud, bied weerstand teen verdigting.

Die helling van die krommes in Figure 3.4(a) tot (g) dui aan of die optimumwaterinhoud krities vir verdigting is. 'n Steil helling impliseer dat die grond slegs by die optimumwaterinhoud maksimaal sal verdig. 'n Meer afgeplatte helling impliseer dat die waterinhoud vir maksimum verdigting nie so krities is nie. Die krommes in Figure 3.4(a) tot (g) se hellings word in Tabel 3.5 gegee. Die hellings neem toe met toename in klei-inhoud. Hierdie verwantskap dui daarop dat grond met 'n lae klei-inhoud ook by waterinhoude anders as die optimum, maklik sal verdig, in teenstelling met grond met 'n hoë klei-inhoud wat slegs by die optimumwaterinhoud maksimaal sal verdig.



Figuur 3.7 Die verwantskap tussen klei-inhoud en bruto= digtheid by 5 persent en by optimumwaterin= houd

Tabel 3.4 Brutodigthed (kg m⁻³) waartoe geselekteerde grondmonsters by 'n waterinhoud van 5 persent tydens die Proctor-toets sal verdig

Grondmonster	1	2	3	4	5	6	7
Klei-inhoud (%)	5	7	13	15	17	22	28
Brutodigtheid (kg m ⁻³) by 'n waterinhoud van 5%	1798	1778	1777	1749	1679	1449	0858

Tabel 3.5 Hellings van die krommes in Figure 3.4(a) tot (g)

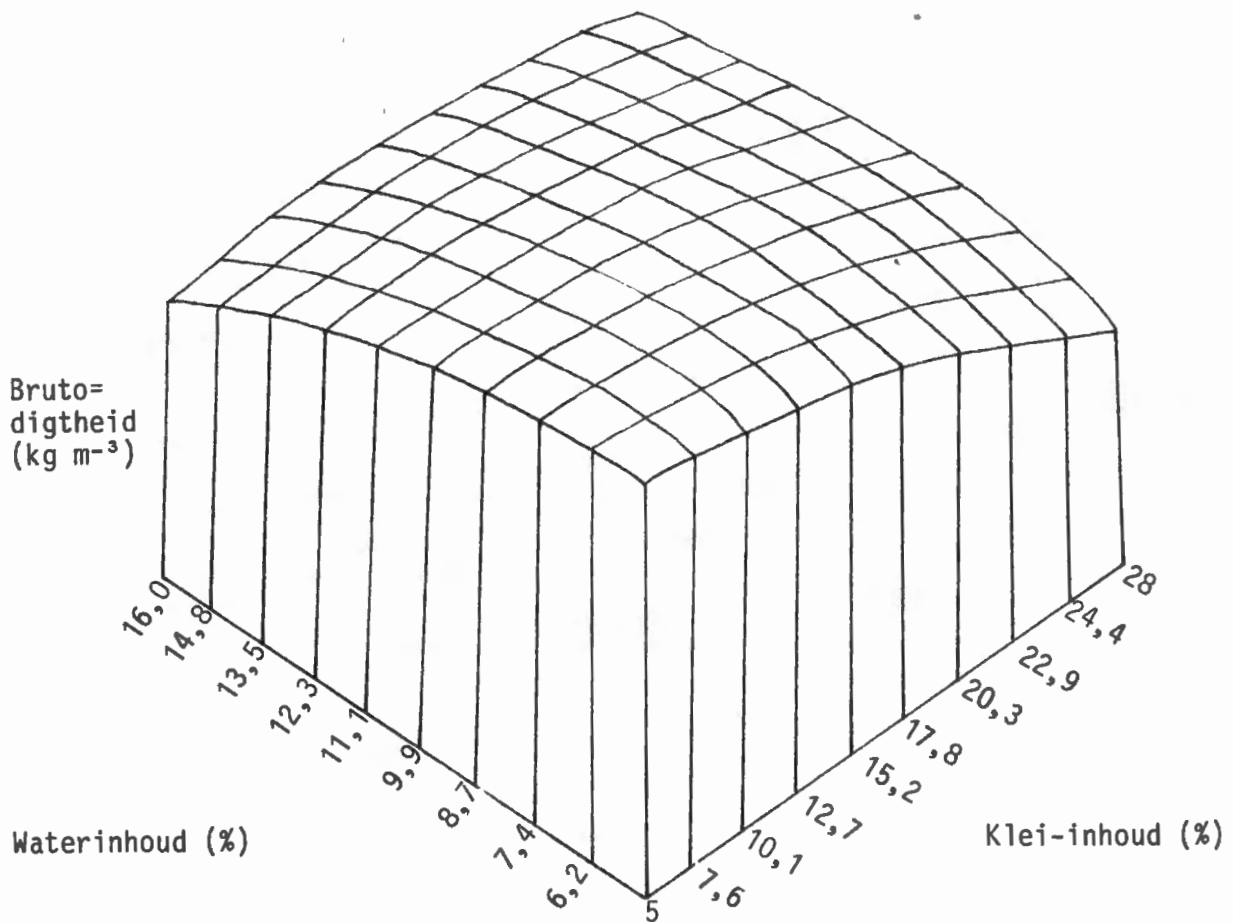
Grondmonster	1	2	3	4	5	6	7
Klei-inhoud (%)	5	7	13	13	17	22	28
Helling	0,06	0,09	0,32	0,41	0,5	0,52	0,91

3.5.4 Die relatiewe invloed van klei- en waterinhoud op verdigting

Die data in Tabel 3.2 is gebruik om die onderlinge invloed van klei- en waterinhoud op verdigting te bepaal. Hierdie verwantskap word in Figuur 3.8 driedimensioneel uitgebeeld. Vergelyking 11 is ontwikkel om die brutodigtheid waartoe grond, met klei-inhoud y en waterinhoud z sal verdig, te bereken wanneer 'n verdigtingspoging van $592,7 \text{ kJm}^{-2}$ toegepas word.

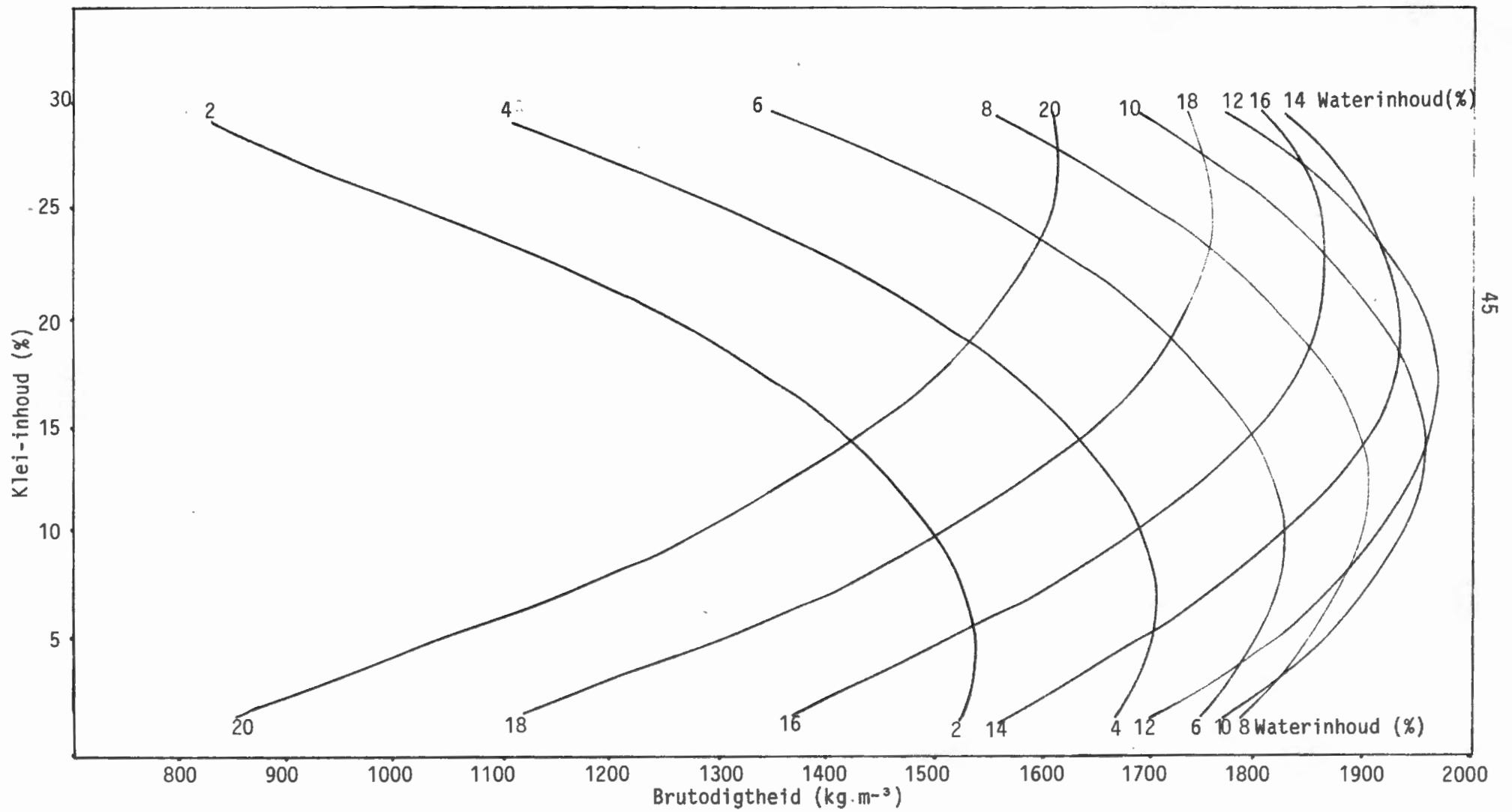
$$x = 1332,67 + 101,70z + -6,57z^2 + 5,49y - 1,15y^2 + 2,90yz; r = 0,9$$

(vergelýking 11)



Figuur 3.8 Die invloed van grond se klei- en waterinhoud op die bruto=digtheid waartoe die grond kan verdig wanneer 'n verdigtings=poging van $592,7 \text{ kJm}^{-2}$ op die grond toegepas word

Figuur 3.9 verteenwoordig 'n alternatiewe voorstelling van die verwantskap tussen brutodigtheid, klei-inhoud en waterinhoud. Hierdie figuur kan handig gebruik word om grond se verdigbaarheid, soos beïnvloed deur die klei- en waterinhoud, te voorspel.



Figuur 3.9 Die verwantskap tussen brutodigtheid, klei-inhoud en waterinhoud (kyk Tabel 3.6)

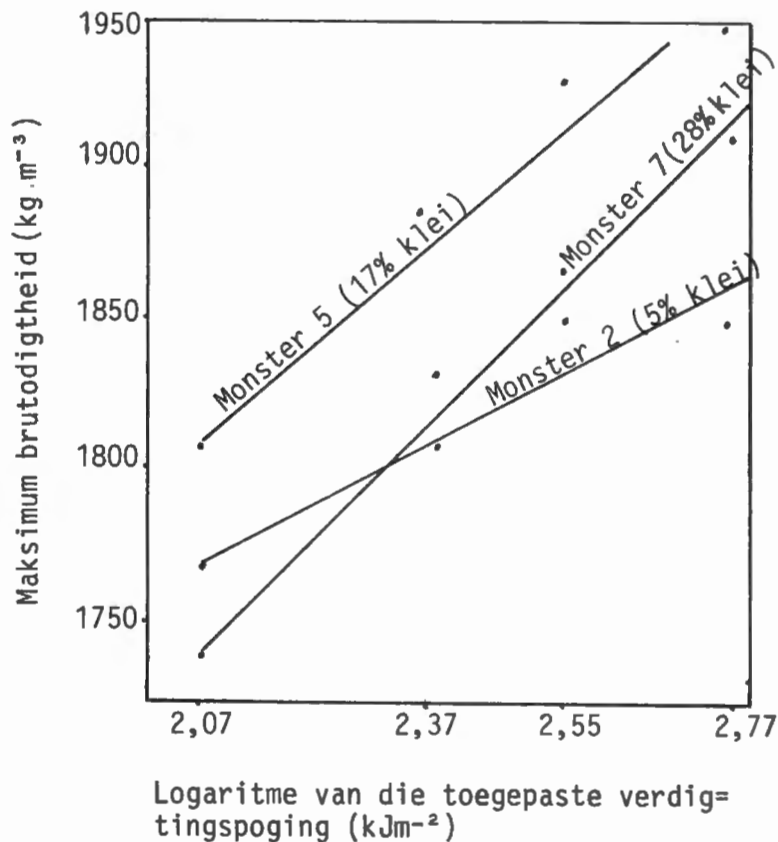
Tabel 3.6 Die invloed van klei- en waterinhoud (%) op die maksimum brutodigtheid(kg m^{-3}) waartoe grond deur middel van die Proctor-metode kan verdig

		Klei-inhoud (%)														
		2	4	6	6	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Waterinhoud (%)	2	1528	1537	1536	1526	1507	1479	1442	1396	1340	1276	1201	1118	1026	924	813
	4	1664	1684	1696	1698	1690	1674	1648	1613	1569	1516	1454	1382	1301	1211	1112
	6	1748	1780	1802	1816	1820	1816	1802	1778	1746	1704	1653	1593	1524	1446	1358
	8	1779	1823	1857	1882	1898	1905	1902	1891	1870	1840	1801	1752	1695	1628	1552
	10	1758	1813	1759	1896	1923	1941	1951	1951	1941	1923	1895	1858	1812	1757	1693
	12	1684	1751	1858	1856	1896	1926	1946	1958	1960	1953	1937	1912	1878	1834	1781
	14	1557	1636	1705	1765	1816	1857	1890	1913	1932	1932	1927	1910	1891	1859	1817
	16	1379	1469	1549	1621	1683	1736	1780	1815	1841	1857	1864	1862	1851	1831	1801
	18	1147	1249	1341	1424	1498	1563	1619	1665	1702	1730	1749	1758	1759	1750	1732
	20	863	976	1080	1175	1261	1337	1404	1462	1511	1585	1581	1602	1614	1617	1610

3.5.5 Die invloed van die omvang van die verdigtingspoging op verdigting

Die optimumwaterinhoude (%) en maksimum brutodigtheid (kg m^{-3}) wat vir grondmonsters 2,5 en 7 met klei-inhoude van onderskeidelik 7,17 en 28 persent, by verskillende verdigtingspogings verkry is, word in Tabel 3.7 aangetoon.

Alhoewel die data ontoereikend was om statistiese verwerkings te regverdig, kom dit duidelik na vore dat die optimumwaterinhoud afneem namate die omvang van die verdigtingspoging toeneem. Die maksimum brutodigtheid van hierdie drie grondmonsters (Tabel 3.7) word in Figuur 3.10 teenoor die logaritmes van die toegepaste pogings voorgestel. In ooreenstemming met die resultate van Larson et al. (1972) is daar 'n duidelike toename in maksimum bruto-digtheid met 'n toename in verdigtingspoging. Skynbaar verhoog die hellings van die krommes namate die klei-inhoud toeneem.



Figuur 3.10 Verwantskap tussen maksimum brutodigtheid en die logaritme van die toegepaste verdigtingspoging se grootte

Tabel 3.7 Die optimumwaterinhoud (%) en maksimum brutodigthede ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) wat by verskillende verdigtingspogings verkry is

Aantal houe tydens verdigtingspoging toegedien	Toegepaste verdigtingspoging kJm^{-2}	Optimumwaterinhoud (%)			Maksimum brutodigtheid ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)		
		Grondmonster			Grondmonster		
		2	5	7	2	5	7
5	118,50	14,50	13,00	16,00	1770	1810	1740
10	237,08	11,40	11,00	15,50	1810	1880	1830
15	355,60	11,00	10,90	13,50	1850	1930	1870
25	592,70	9,28	10,84	12,59	1850	1950	1910

3.6 OPSOMMING

Die twintig grondmonsters wat verspreid uit die mielieproduksiegebiede van die Hoëveldstreek geneem is, is hoofsaaklik matig gesorteer, simmetries tot fynskeef en met 'n gemiddelde kurtose. Die klei-inhoud wissel van 5 tot 28 persent.

Die klei- en waterinhoud beïnvloed die mate waartoe verdigting vir 'n spesifieke poging plaasvind. Elke grondmonster wat ondersoek is, het 'n bepaalde optimumwaterinhoud waarby maksimum verdigting plaasvind. Die optimumwaterinhoud word deur die klei-inhoud beïnvloed en neem toe met 'n toename in die persentasie klei (Figuur 3.6). In geval van grond met 'n hoë klei-inhoud, is die waterinhoud meer krities vir verdigting as wanneer die klei-inhoud laag is.

Die maksimum brutodigtheid neem toe namate die klei-inhoud toeneem en 'n maksimum word by ongeveer 19 persent bereik. Met 'n verdere toename in klei-inhoud is daar 'n afname in maksimum brutodigtheid. Hierdie verwantskap geld egter slegs indien verdigting by die optimumwaterinhoud plaasvind.

Figuur 3.9 kan gebruik word vir die voorspelling van die invloed van klei-inhoud, soos gekondisioneer deur waterinhoud, op die mate van verdigting wat ver wag kan word.

DIE INVLOED VAN DEELTJIEGROOTTEVERSPREIDING OP VERDIGTING

4.1 INLEIDING

Volgens Koch & Badenhorst (1979:18) kan die verdigting van gronde in die Wes-Transvaal en Oranje-Vrystaat aan die lae klei-inhoud en die hoë fynsandinhoud van hierdie gronde toegeskryf word.

Volgens Van der Watt (1969:79) se diagram, met behulp waarvan die verdigbaarheid van gronde voorspel kan word, word die fynsandinhoud egter nie in ag geneem nie. Volgens genoemde diagram korreleer die growwesandinhoud en klei-inhoud positief met grond se verdigbaarheid.

Volgens Bodman & Constantin (1965:590) verdig grond met 'n goed gesorteerde deeltjiegrootteverspreiding die maklikste. Hulle het maksimum brutodigtheid met 'n grondmengsel van 75 persent fynsand en 25 persent slik + klei verkry. Die werk van Moolman & Weber (1978:44) op die fynsandgronde van die Suid-Kaap, dui daarop dat uiterste toestande van grondverdigting sal ontstaan indien die korrelgrootteverspreiding effens grofskeef is. Hulle het maksimum brutodigtheid verkry in gevalle waar 55 persent fynsand en 45 persent slik + klei teenwoordig was.

Uit 'n ondersoek na die invloed van deeltjiegrootteverspreiding op die brutodigtheid van eenvormig gepakte glasdeeltjies, het Staple (1975:407) bevind dat deeltjiegrootteverspreiding 'n belangrike maatstaf is om die digtheid van granulêre materiaal te voorspel. Gupta & Larson (1979:758-764) het 'n ewekansig gepakte model, gebaseer op deeltjiegrootteverspreiding, ontwikkel. Hierdie model kan, volgens genoemde outeurs, gebruik word om maksimum en minimum brutodigtheid te voorspel.

4.2 DOELSTELLINGS

Die doel met hierdie gedeelte van die ondersoek was eerstens om vas te stel of die maksimum brutodigtheid waartoe die Proctor-metode grond kan verdig deur deeltjiegrootteverspreiding beïnvloed word. Daar is verder ondersoek ingestel na die invloed van deeltjiegrootteverspreiding op die verwantskap tussen brutodigtheid (kg m^{-3}) en penetrasieweerstand (kPa).

4.3 METODE VAN ONDERSOEK

4.3.1 Die invloed van deeltjiegrootteverspreiding op verdigting

Sewe grondmonsters (A, B, C, D, E, F en G), met verskillende deeltjiegrootteverspreidings (Tabel 4.1 en Figuur 4.1), is tydens hierdie studie ondersoek. Elke monster se maksimum brutodigtheid is deur middel van die standaard Proctor-toets (Sowers & Sowers, 1970:210) vasgestel. Daar is ook bepaal of enige korrelasie tussen deeltjiegrootteverspreiding en maksimum brutodigtheid bestaan.

4.3.2 Die invloed van brutodigtheid (kg m^{-3}) op penetrasieweerstand (kPa)

Grondmonsters A, B, C en F (soos beskryf in Tabel 4.1) is vir die doel van hierdie studie ondersoek. Die apparaat benodig vir die Proctor-toets is gebruik om elkeen van hierdie monsters afsonderlik, tot vier verskillende digthede, te verdig. Om verskillende digthede te verkry is slegs die aantal houe wat tydens die standaard Proctor-toets toegedien word gevarieer. Die penetrasieweerstand van die monsters is by elke digtheid met behulp van 'n penetrometer (soos beskryf in Hoofstuk 2) by veldkapasiteit op 'n diepte van 50mm bepaal.

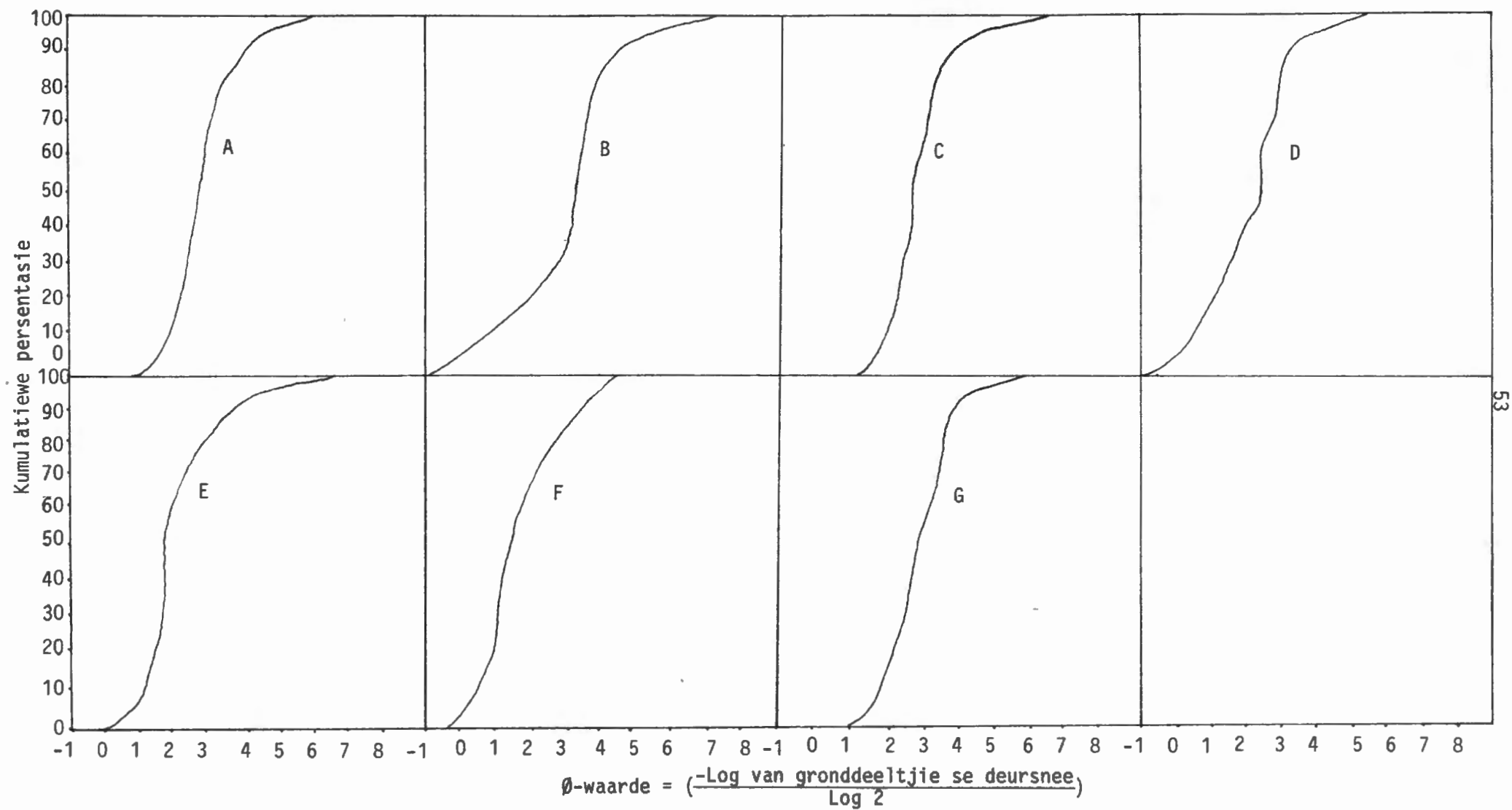
4.4 RESULTATE EN BESPREKING

4.4.1 Die invloed van deeltjiegrootteverspreiding op verdigting

Grondmonsters A, B, C, D, E, F, en G se sortering, skeefheid, kurtose, gemiddelde deeltjiegrootte en maksimum brutodigthede word in Tabel 4.1 getoon. Al sewe monsters het tot verskillende maksimum brutodigthede verdig. Geen

Tabel 4.1 Maksimum brutodigthede en statistiese korrelgrootteverspreidingsparameters van grondmonsters A tot G

Monster no.	Gemiddelde deeltjiegrootte	Sortering	Skeefheid	Kurtose	Brutodigtheid kg m ⁻³
A	2,53	0,72 Gemiddeld gesorteer	0,14 Fynskeef	1,18 Leptokurties	1650
B	2,90	1,45 Swak gesorteer	-0,17 Grofskeef	1,98 Baie leptokurties	1800
C	2,60	0,79 Gemiddeld gesorteer	0,04 Naby simmetries	1,07 Mesokurties	1850
D	2,13	1,13 Swak gesorteer	-0,43 Sterk grofskeef	0,87 Platykurties	1630
E	1,90	0,98 Gemiddeld gesorteer	0,36 Sterk fynskeef	1,79 Baie leptokurties	1750
F	1,73	0,39 Swak gesorteer	1,08 Sterk fynskeef	1,08 Mesokurties	1940
G	2,97	0,82 Gemiddeld gesorteer	-0,07 Naby simmetries	0,85 Platykurties	1900

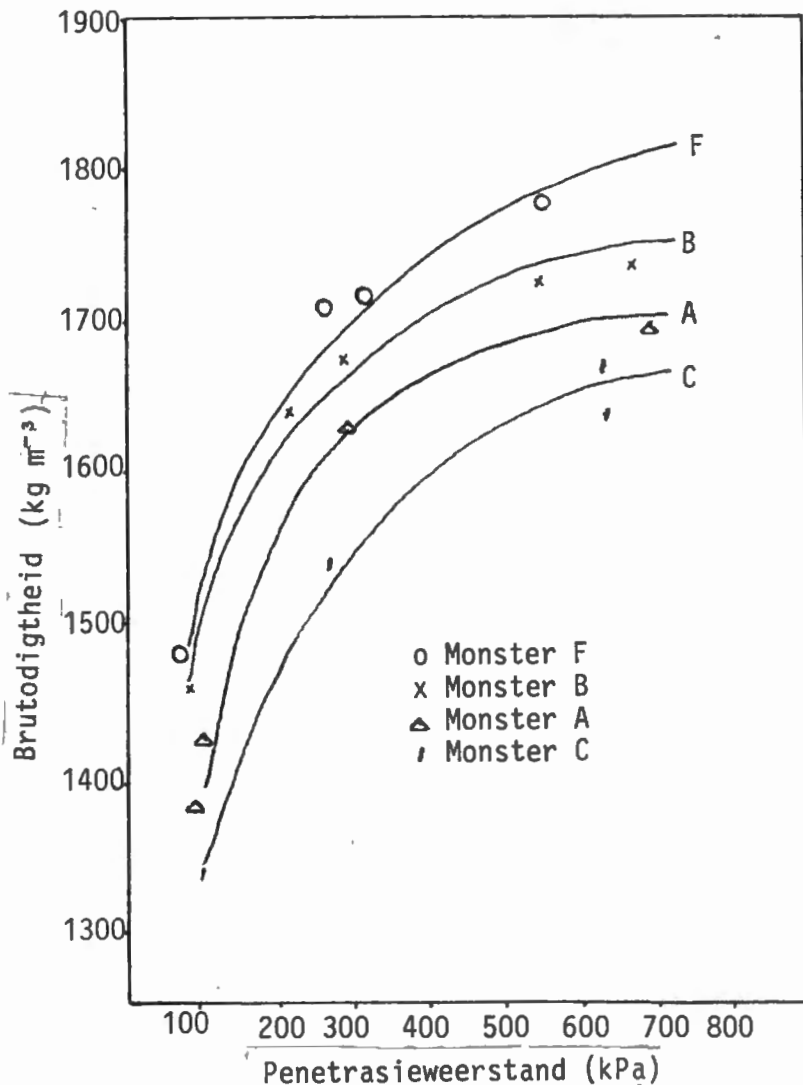


Figuur 4.1 Deeltjegrootteverspreiding van grondmonsters A tot G se deeltjies groter as 0,002mm

ooglopende korrelasie tussen die parameters waarmee die deeltjiegrootteverspreidings gekwantifiseer is en maksimum brutodigtheide kon verkry word nie. Die verskil tussen die deeltjiegrootteverspreidings van die monsters (Figuur 4.1) was waarskynlik te klein om so 'n korrelasie waar te neem.

4.4.2 Die invloed van brutodigtheid (kg m^{-3}) op penetrasieweerstand (kPa)

Die verwantskap tussen penetrasieweerstand (kPa) en brutodigtheid (kg m^{-3}) word in Figuur 4.2 vir grondmonsters A, B, C en F voorgestel. By al vier monsters is 'n verwantskap tussen penetrasieweerstand en brutodigtheid waargeneem. In ooreenstemming met die bevinding van Chessness *et al.* (1972:219) verskil hierdie verwantskap egter van monster tot monster.



Figuur 4.2 Die verband tussen brutodigtheid (kg m^{-3}) en penetrasieweerstand (kPa) by veldkapasiteit, van grondmonsters waarvan die korrelgrootteverspreidingsparameters verskil (kyk Tabel 4.1)

4.5 GEVOLGTREKKING

Alhoewel geen ooglopende korrelasie tussen deeltjiegrootteverspreiding en maksimum brutodigtheid verkry kon word nie, is dit duidelik dat alle grond nie tot dieselfde maksimum brutodigtheid verdig nie. Gevolglik mag die waardes van maksimum brutodigthede en optimumwaterinhoude, soos verkry in Hoofstuk 3, van grond tot grond verskil. Verder varieer die verwantskap tussen penetrasieweerstand en brutodigtheid van grond tot grond. Die waardes van brutodigthede wat wortelindringing beperk, soos bepaal in Hoofstuk 2, mag dus ook van grond tot grond verskil.

HOOFSTUK 5

OPSOMMING

Uit die ondersoek het dit geblyk dat daar 'n sekere verwantskap tussen die maksimum brutodigtheid waartoe grond kan verdig en klei-inhoud, bestaan. Die maksimum brutodigtheid neem toe namate die klei-inhoud tot ongeveer 19 persent toeneem, waarna dit afneem met 'n verdere verhoging in klei-inhoud. Elke grondmonster wat ondersoek is, het 'n bepaalde optimumwaterinhoud waarby maksimum verdigting plaasvind. Die optimumwaterinhoud neem toe met 'n toename in klei-inhoud.

Trekkerverkeer, asook skeurploeg-, sny-eg- en skaarploegbewerkings, het in die geval van 'n Bleeksandserie (Avalonvorm), met 'n klei-inhoud van 7 persent, verdigting veroorsaak wat wortelontwikkeling nadelig beïnvloed het. Dit is duidelik dat verdigting by hierdie grond 'n probleem is. Uit gekontroleerde laboratoriumondersoeke het dit geblyk dat relatiewe lae verdigtingspogings grond met 'n lae klei-inhoud by feitlik enige waterinhoud kan verdig. Aangesien genoemde drie metodes van grondbewerking verdigting veroorsaak het, is meer navorsing nodig om gronde waarop enige van hierdie bewerkings suksesvol toegepas kan word, te karakteriseer. Fluktuasies van grondwatervlakke en die invloed van tekstuur en digtheid op kapillêre styging behoort hier aandag te geniet.

Trekkerverkeer het verdigting by 'n Msingaserie met 'n klei-inhoud van 18 persent tot gevolg gehad. Grondbewerkingsimplimente het geen verdigting hier veroorsaak nie. Dit moet egter in gedagte gehou word dat indien bewerking by optimumwaterinhoud plaasvind, hierdie grond tot 'n hoë mate kan verdig. Indien die waterinhoud laer as die optimum is, behoort verdigting nie 'n wesenlike probleem by grond met 'n hoë klei-inhoud te wees nie.

'n Diagram is ontwikkel en kan aangewend word om grond se verdigbaarheid, soos beïnvloed deur klei- en waterinhoud, te voorspel.

Aangesien hierdie ondersoek slegs op geselekteerde grondmonsters uitgevoer is, moet in gedagte gehou word dat hierdie resultate moontlik nie op alle gronde van toepassing sal wees nie en dat daar teen veralgemening gewaak moet word.

TABELLE

Tabel 2.1	Korrelgrootteverspreidingsparameters en kohesie (kPa) van 'n Bleeksandserie (in Noordwes-Vrystaat) en 'n Msingaserie (in Suidoos-Transvaal)	8
Tabel 2.2	Brutodigthede (kg m^{-3}) op verskillende dieptes (1 is bo-, 2 in en 3 onder die verdigte lae) by die Bleeksandserie.	12
Tabel 2.3	Brutodigthede (kg m^{-3}) op verskillende dieptes (1 is bo- en 2 onder die bewerkingsdiepte) by die Msingaserie.....	14
Tabel 2.4	Wortelverspreiding by die Bleeksandserie	16
Tabel 2.5	Wortelverspreiding by die Msingaserie	17
Tabel 2.6	Grond se waterinhoud (%) op bewerkingsdiepte, soos gemeet tydens pluimstadium van die proefplante in die geval van sny-eg-, skaarploeg en skeurploegbewerkings by 'n Bleeksand- en Msingaserie	21
Tabel 3.1	Korrelgrootteparameters van grondmonsters 1 tot 20	30
Tabel 3.2	Brutodigthede (kg m^{-3}) waartoe grondmonsters 1 tot 7 met klei-inhoude van onderskeidelik 5-, 7-, 13-, 15-, 17-, 22-, en 28 persent, by verskillende waterinhoudes (%), deur middel van die Proctor-metode verdig het	33
Tabel 3.3	Die optimumwaterinhoud (%) en maksimum brutodigthede (kg m^{-3}) waartoe geselekteerde grondmonsters by optimumwaterinhoud kan verdig	39
Tabel 3.4	Brutodigthede (kg m^{-3}) waartoe geselekteerde grondmonsters by 'n waterinhoud van 5 persent tydens die Proctor-toets sal verdig	43
Tabel 3.5	Hellings van die krommes in figure 3.4(a) tot (g)	43
Tabel 3.6	Die invloed van klei- en waterinhoud (%) op die maksimum brutodigtheid (kg m^{-3}) waartoe grond deur middel van die Proctor-metode kan verdig	46
Tabel 3.7	Die optimumwaterinhoud (%) en maksimum brutodigthede (kg m^{-3}) wat by verskillende verdigtingspogings verkry is	48
Tabel 4.1	Maksimum brutodigthede en statistiese korrelgrootteverspreidingsparameters van grondmonsters A tot G	52

FIGURE

Figuur 2.1	Illustrasies van die relatiewe dieptes van die verdigte lae by die Bleeksandserie (Avalonvorm) vir verskillende metodes van bewerking	10
Figuur 2.2	Verdigting by die Bleeksandserie (kyk Tabel 2.2)....	11
Figuur 2.3	Verdigting by die Msingaserie (kyk Tabel 2.3).....	13
Figuur 2.4(a)	Penetrasieweerstand in 'n spoor en ry in die geval van 'n sny-egbewerking op 'n Bleeksandserie.....	18
Figuur 2.4(b)	Penetrasieweerstand in 'n spoor en ry in die geval van 'n skaarploegbewerking op 'n Bleeksandserie.....	18
Figuur 2.4(c)	Penetrasieweerstand in 'n spoor en ry in die geval van 'n skeurploeg op ry-bewerking op 'n Bleeksandserie	19
Figuur 2.5(a)	Penetrasieweerstand in 'n spoor en ry in die geval van 'n sny-egbewerking op 'n Msingaserie	19
Figuur 2.5(b)	Penetrasieweerstand in 'n spoor en ry in die geval van 'n skaarploegbewerking op 'n Msingaserie	20
Figuur 2.5(c)	Penetrasieweerstand in 'n spoor en ry in die geval van 'n skeurploeg op ry-bewerking op 'n Msingaserie...	20
Figuur 3.1	Lokaliteite waar grondmonsters geneem is	27
Figuur 3.2	Skematiese grondkaart van die Hoëveldstreek	28
Figuur 3.3	Redelike homogene boerderygebiede van die Hoëveldstreek	29
Figuur 3.4(a)	Optimum waterinhoud en maksimum brutodigtheid van 'n grond met 'n klei-inhoud van 5 persent	36
Figuur 3.4(b)	Optimum waterinhoud en maksimum brutodigtheid van 'n grond met 'n klei-inhoud van 7 persent	36
Figuur 3.4(c)	Optimum waterinhoud en maksimum brutodigtheid van 'n grond met 'n klei-inhoud van 13 persent	36
Figuur 3.4(d)	Optimum waterinhoud en maksimum brutodigtheid van 'n grond met 'n klei-inhoud van 15 persent	37
Figuur 3.4(e)	Optimum waterinhoud en maksimum brutodigtheid van 'n grond met 'n klei-inhoud van 17 persent	37
Figuur 3.4(f)	Optimum waterinhoud en maksimum brutodigtheid van 'n grond met 'n klei-inhoud van 22 persent	37
Figuur 3.4(g)	Optimum waterinhoud en maksimum brutodigtheid van 'n grond met 'n klei-inhoud van 28 persent	38

Figuur 3.5	Die invloed van klei-inhoud op die maksimum brutodigtheid waartoe grond by die optimum waterinhoud, deur middel van die Proctor-metode, verdig kan word	40
Figuur 3.6	Die invloed van klei-inhoud op die optimumwaterinhoud..	40
Figuur 3.7	Die verwantskap tussen klei-inhoud en brutodigtheid by 5 persent en by optimumwaterinhoud	42
Figuur 3.8	Die invloed van grond se klei- en waterinhoud op die brutodigtheid waartoe die grond kan verdig wanneer 'n verdigtingspoging van $592,7 \text{ kJm}^{-2}$ op die grond toegepas word	44
Figuur 3.9	Die verwantskap tussen brutodigtheid, klei-inhoud en waterinhoud (kyk Tabel 3.6)	45
Figuur 3.10	Verwantskap tussen maksimum brutodigtheid en die logaritme van die toegepaste verdigtingspoging se grootte	47
Figuur 4.1	Deeltjiegrootteverspreiding van grondmonsters A tot G se deeltjies groter as $0,002 \text{ mm}$	53
Figuur 4.2	Die verband tussen brutodigtheid (kg m^{-3}) en penetrasieweerstand (kPa) by veldkapasiteit, van grondmonsters waarvan die korrelgrootteverspreidingsparameters verskil (kyk Tabel 4.1)	54

60
ABSTRACT

This investigation showed that a relationship exists between clay content and the maximum bulk density to which soil can be compacted. The maximum bulk density increases with an increase in clay content up to approximately 19 percent, but decreases with a further increase in clay content. Each soil sample studied had a specific optimum water content at which compaction occurs. This optimum water content increased with increasing clay content.

Tractor traffic, as well as disc harrowing, ripping and mouldboard ploughing in the case of a Bleeksand series (Avalon form) with a 7 percent clay content, caused compaction which adversely affected root development. It is clear that compaction is a serious problem in this soil. A controlled laboratory investigation showed that a relatively low compaction effort could compact soil with a low clay content at virtually any water content. Since the abovementioned three methods of tillage caused compaction, more research is required to characterize those soils where any of these tillage methods are successfully used. Fluctuations in groundwater level and the effect of structure and density on capillary rise of water should receive attention.

Tractor traffic resulted in compaction in a Msinga series (Hutton form) with a clay content of 18 percent. Tillage implements caused no compaction. It must, however, be borne in mind that, should tillage be practised at optimum water content, considerable compaction can occur in this soil. Compaction should not be a great problem in soils with a high clay content if the water content is less than the optimum.

A diagram has been developed which can be used to predict soil compaction on the basis of clay and water content.

Since this investigation was only conducted on selected soil samples, it should be borne in mind that these results are possibly not applicable to all soils and care should be taken against generalization. The results of field experiments in which tillage practice is evaluated only from yields can lead to serious errors if factors such as water content during cultivation are not taken into account.

VERWYSINGS

- ADAMS, W.A. 1973. The effect of organic matter on the bulk and true density of some uncultivated podzolic soils. *Journal of Soil Science*, 24(1):10-17.
- AUBERTIN, G.M. & KARDOS, L.T. 1965. Root growth through poreus media under controlled condition. *Proceedings, Soil Science Society of America*, 29(3):290-293.
- BENNIE, A.T.P. & BURGER, R. DU T. 1980. Grondverdigting onder besproeiing op die Vaalhartsbesproeiingskema. (Universiteit van die Oranje-Vrystaat. Departement van Grondkunde verslag nr. 79/3).
- BODMAN, G.B. & CONSTANTIN, G.K. 1965. Influence of particle size distribution in soil compaction. *Hilgardia*, 36(15):567-591.
- BOWLES, J.E. 1970. Engineering properties of soils and their measurement. New York: McGraw-Hill. 187p.
- BRADY, N.C. 1974. The nature and properties of soils. London: Collier Macmillan. 639p.
- BRAUNACK, M.V. & DEXTER, A.R. 1978. Compaction of aggregate beds. (In Emerson, W.W., Bond, R.D. & Dexter, A.R., eds. Modification of soil structure. New York: Wiley. p.119-126.)
- BROEKMAN, J.J. 1982. Handleiding vir penetrometer model S.A.M.K.I. Pot=chefstroom: Instituut vir Bodemkundige Navorsing, PU vir CHO. Ongepubliseer. 16p.
- BURGER, R. DU T., BENNIE, A.T.P., BOTHA, F.J.P. & DU PREEZ, C.C. 1979. Grondverdigting onder besproeiing op die Vaalhartsbesproeiingskema. (Universiteit van die Oranje-Vrystaat. Departement van Grondkunde verslag nr. 79/1).

- BURGER, J.I. DE V. 1982. Nuwe bewerkingspraktyk in die Noordwes-Vrystaat. (In Deklaagbewerking: referate gelewer by die tweede simposium insake deklaagbewerking van die Suid-Afrikaanse Instituut van Landbou-Ingenieurs gelewer 1 September 1982 te Pretoria. Pretoria. p.19-22.)
- CHANCELLOR, W.J. 1971. Effects of compaction on soil strength. (In Barnes K.K., Carleton, W.M., Taylor, H.M., Throckmorton, R.I. & Vanden Berg, G.E. eds. Compaction of agricultural soils. Michigan: American Society of Agricultural Engineers. p.190-212.)
- CHANCELLOR, W.J. 1977. Compaction of soil by agricultural equipment. California: University of California. 53p. (Division of Agricultural Sciences. Bulletin 1881.)
- CHESSNESS, J.L., RUIZ, E.E. & COLB, C. 1972. Quantitative description of soil compaction in peach orchards utilizing a portable penetrometer. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 15(2): 217-219.
- COHRON, G.T. 1971. Forces causing soil compaction. (In Barnes, K.K., Carleton, W.M., Taylor, H.M., Throckmorton, R.I. & Vanden Berg, G.E., eds. Compaction of agricultural soils. Michigan: American Society of Agricultural Engineers. p.106-125.)
- COLEMAN, G.E. & PERUMPRAL, J.V. 1974. The finite element analysis of soil compaction. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 17(5):856-860.
- DEPARTEMENT VAN LANDBOU EN VISSERYE
kyk
SUID-AFRIKA (REPUBLIEK). DEPARTEMENT VAN LANDBOU EN VISSERYE.
- DU PREEZ, C.C., BENNIE, A.T.P. & BURGER, R. DU T. 1981. Invloed van implementverkeer en besproeiing op grondverdigting te Vaalharts. *Agrochemo=physica*, 13(1):7-12.
- FOLK, R.L. 1961. Petrology of sedimentary rocks. Austin:Hemphill's. 154p.

- GILL, W.R. 1959. The effects of drying on the mechanical strength of Lloyd clay. *Proceedings, Soil Science Society of America*, 23(3):253-257.
- 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., Trochmorton, R.I. & Vanden Berg, G.E., eds. *Compaction of Agricultural soils*. Michigan: p. 154-165.)
- GUPTA, S.C. & LARSON, W.E. 1979. A model for predicting packing density of soils using particle size distribution. *Soil Science Society of America, Journal*, 43(4):758-764.
- 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., eds. *Compaction of agricultural soils*. Michigan: *American Society of Agricultural Engineers*. p.9-47.)
- 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., Trochmorton, R.I. & Vanden Berg, G.E., eds. *Compaction of agricultural soils*. Michigan. *American Society of Agricultural Engineers*. p.178-190.)
- KOCH, C.D. & BADENHORST, J.H. 1979. Grondbewerkingspraktyke by mielieverbouing. *Mielies* F. 1.1. Pretoria: Departement van Landbou-
tegniese Dienste. 78p.
- KOOLEN, A.J. & KUIPERS, H. 1983. *Agricultural soil mechanics*. Berlin: Springer-Verlag. 241p.
- LAMBE, T.W. 1951. Compaction test. (In *The Massachusetts Institute of Technology*, ed. *Soil testing for engineers*. New York: Wiley. p.43-51.)

- LARSON, W.E. & ALLMARAS. 1971. Forces as related to compaction. (*In* Barnes, K.K., Carleton, W.M., Taylor, H.M., Trochmorton, R.I. & Van=den Berg, G.E., eds. *Compaction of agricultural soils*. Michigan: American Society of Agricultural Engineers. p.367-431.)
- LARSON, W.E., GUPTA, S.C. & USECHE, R.A. 197-? Compression of agricultural soils from eight soil orders. Minnesota: Agricultural Research, U.S. Department of Agriculture. 29p. Science Journal Serie no. 10,586.)
- MALLET, J.B., KOCH, C.D., VISSER, P.A. & BOTHA, A.J. 1980. Tillage related soil compaction and its affect upon maize grain yields on a Viljoens=kroon fine sand. Summer Grain Centre: Grain Crops Research Institute. 24p.
- 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.
- MAYAUSKAS, I.S. 1959. Investigation of the pressure distribution on the surface of a plow share in work. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 4:186-190.
- MOOLMAN, J.H. & WEBER, H.W. 1978. 'n Ondersoek na die bydrae van die fynsand=fraksie tot die verdigbaarheid van fynsandgrond in Suid-Kaapland. *Agrochemophysics*, 10(4):39-46.
- O'SULLIVAN, M.F. & BALL, B.C. 1982. Spring Barley growth, grain quality and soil physical conditions in a cultivation experiment on a sandy loam in Scotland. *Soil and tillage research*, 2(4): 359-378.
- PHILLIPS, S.H. 197-? No-tillage, past and present. (*In* Phillips, R.E., Thomas, G.W. & Blevins, R.L., eds. *Not-tillage research: Research reports and reviews*. Lexington: University of Kentucky. p.1-6.)
- PIDGEON, J.D. & SOANE, B.D. 1978. Soil structure and strength relations following tillage, zero tillage and wheel traffic in Scotland. (*In* Emerson, W.W., Bond, R.D. & Dexter, A.R., eds. *Modification of soil structure*. new York: Wiley. p.371-378.)

- RAGHAVAN, G.S.V., MCKYES, E., STERMSHORN, E., GRAY, A. & BEAULIEU, B. 1977. Vehicle compaction patterns in clay soil. *Transaction of the American Society of Agricultural Engineers*, 20(2):218-225.
- RUSSEL, R.C. 1977. Plant root systems: Their function and interaction with the soils. New York: McGraw-Hill. 298p.
- SCHUURMAN, J.J., DE BOER, J.J.H. & KNOT, I. 1974. De reactie van wortel= groei, opname en spruitgroei van haver op dichtheid van zandgrond. *Landbouweekblad tijdschrift*, 86,256-265.
- SNYMAN, R. 1983. Eerste bewerkingsnorme sien die lig. *Plantvoedsel*, 7(3):9-15.
- SOANE, B.D., DICKSON, J.W., CAMPBELL, D.J. 1982. Incidence and control of compaction in crop production. *Soil and Tillage Research*, 2:3-36.
- SOEHNE, W. 1958. Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tires. *Agricultural Engineering*, 39(5):276-291, May.
- SOWERS, G.B. & SOWERS, G.F. 1970. Soil mechanics and foundations. London: Colliers-Macmillan. 556p.
- SUID-AFRIKA (REPUBLIEK). 1981. Departement van Landbou en Visserye. Landbou-ontwikkelingsprogram van die Hoëveldstreek. Potchefstroom: Hoëveldstreek. 81p.
- STAPLE, W.J. 1975. The influence of size distribution on the bulk density of uniformly packed glass particles. *Proceedings, Soil Science of Ame= rica*, 39(3):404-408.
- SWOBODA, R. 1982. Wet fieldwork risks compaction. *Wallaces Farmer*: 24-25 April.
- TANNER, C.B. & MAMARIL, C.P. 1959. Pasture soil compaction by animal traf= fic. *Agronomy Journal*, 51:329-331.
- TAYLOR, J.H. & GILL, U.R. 1984. Soil compaction: state-of-the-art report. *Journal of Terra mechanics*, 21(2):195-213.

- TAYLOR, H.M., ROBERSON, G.M. & PARKER, J.J. 1965. Soil strength-root penetration relations for medium to coarse-textured soil materials. *Soil Science*, 102(1):18-22.
- TROUSE, A.C. & BAVER, L.D. 1962. The effect of soil compaction on root development. *International Society of Soil Science*, 3-8.
- TROUSE, A.C. 1977. Soil physical characteristics and root growth. (In Lal, R. & Greenland, D.J. eds. Soil physical properties and crop production in the tropics. New York: Wiley. p.319-327.)
- VANDEN BERG, G.E., BUCHELE, W.F. & MALVERN, L.E. 1958. Application of continuum mechanics to soil compaction. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 1(1):24-27.
- VAN DER WATT, H.V.H. 1969. Influence of particle size distribution on soil compactibility. *Agrochimophysics*, 1(3+4):79-86.
- VEEN, B.W. & BOONE, F.R. 1981. The influence of mechanical resistance and phosphate supply on morphology and function of corn roots. *Plant and Soil*, 63(1):77-81.
- WARKENTIN, B.P. 1971. Effects of compaction on content and transmission of water in soils. (In Barnes, K.K., Carleton, W.M., Taylor, H.M., Trockmorton, R.I. & Vanden Berg, G.E. eds. Compaction of agricultural soils. Michigan: American Society of Agricultural Engineers. p.126-154.)
- WEAVER, H.A. & JAMISON, V.C. 1951. Effects of moisture on tractor tire compaction of soils. *Soil Science*, 71(2):15-23.
- WILLAT, S.T. & WALLIS, A.H. 1965. Soil compaction in front of simple tillage tools. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 10(2): 109-113.