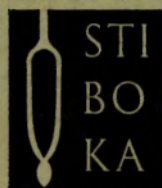


N31396.1582.2

STICHTING VOOR BODEMKARTERING
WAGENINGEN

DICHTHEID VAN GRONDEN GEMETEN AAN DE MEEST
VOORKOMENDE BODEMEENHEDEN IN NEDERLAND



1407 I
Stichting voor Bodemkartering
Afdeling Bodemtechniek
Postbus 98
6700 AB Wageningen
Tel. 08370-19100

Rapport nr. 1582
Project nr. 144.33

DICHTHEID VAN GRONDEN GEMETEN AAN DE MEEST VOORKOMENDE
BODEMEENHEDEN IN NEDERLAND

C.Hoekstra en J.N.B.Poelman

ISBN 90 327 0112 6

JSN 156 368-02

Wageningen, januari 1982

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm en op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de Stichting voor Bodemkartering.

1	INLEIDING	5
2	DE DICHTHEID VAN ZANDGRONDEN	7
2.1	Bewerking	7
2.1.1	Het materiaal	7
2.1.2	Bodemeenheden en hun grondwatertrappen	8
2.1.3	Bodemhorizonten	9
2.2	Resultaten	9
2.2.1	De dichtheid van de grond in horizonten van natte en droge gronden	9
2.2.2	Invloed van organische-stofgehalte op de dichtheid van de grond	11
2.2.3	Invloed van leemgehalte op de dichtheid van de grond	14
2.2.4	Invloed van de mens op de dichtheid van de grond van enkeerdgronden	18
2.2.5	Invloed van de mens op de dichtheid van de grond in A-horizonten >20 à 30 cm	19
2.2.6	Dichtheid van de grond bij C-horizonten in droge gronden in samenhang met de diepte	22
2.2.7	Invloed van de dichtheid van de grond op de wortelingsdiepte	23
2.2.8	Bewerking volgens de multiple regressiemethode	28
3	DE DICHTHEID VAN DE GROND IN DE ZUID-LIMBURGSE LÖSS	30
4	DE DICHTHEID VAN DE GROND IN ZEE- EN RIVIERKLEI	32
4.1	Bewerking	32
4.2	Resultaten	34

5	SAMENVATTING EN CONCLUSIES	44
---	----------------------------	----

	LITERATUUR	46
--	------------	----

LIJST VAN FIGUREN

1	Dichtheid van de grond in afhankelijkheid van het organische-stofgehalte bij zeer dichte, dichte en niet dichte pakking	20
2	Frequentieverdeling van de dichtheid van de grond van lagen die nog wel en van lagen die niet meer beworteld zijn. De lagen behoren tot profielen in de Gt-groep nat	25
3	Frequentieverdeling van de dichtheid van de grond van lagen die nog wel en van lagen die niet meer beworteld zijn. De lagen behoren tot profielen in de Gt-groep droog	26
4	Dichtheden in rivierkleibovengronden, afhankelijk van het organische-stofgehalte	41
5	Dichtheden in zeekleibovengronden, afhankelijk van het organische-stof- en lutumgehalte	42
6	Dichtheden in ondergronden	43

LIJST VAN TABELLEN

1	Bemonsterde profielen en lagen, gerangschikt naar Gt-groep en bodemeenheid	8
2	Gemiddelde dichtheid van de grond in A-, B- en C-horizonten met 0-1,5% organische stof per Gt-groep	10
3	Gemiddelde dichtheid van de grond in A- en B2-horizonten per Gt-groep en organische-stofklassen	12
4	Gemiddelde dichtheid van de grond in A- en B2-horizonten met 0-17,5% leem en 17,5-50% leem ingedeeld per Gt-groep en organische-stofklassen	15

5	Gemiddelde dichtheid van de grond in B3+BC- en C1g+C1-horizonten met 0-1,5% organische stof ingedeeld naar Gt-groep en leemklassen	17
6	Gemiddelde dichtheid van de grond in Aan-horizonten van enkeerdgronden behorend tot de Gt-groep droog. Er is een indeling gemaakt naar diepte nl. van 20 à 30-50 cm en dieper dan 50 cm	19
7	Percentage dicht en zeer dicht gepakte lagen (ploegzolen) ingedeeld naar Gt-groep en organische-stofklasse	20
8	Gemiddelde dichtheid van de grond in meer en minder diep gestoken monsters in C-horizonten behorend tot de Gt-groep droog	22
9	Gemiddelde organische-stofgehalten en hun standaardafwijking in de diepst bewortelde en daaronder liggende niet bewortelde laag ingedeeld naar Gt-groep	24
10	Overzicht van de factoren in de lineaire functie $SV \text{ (spec.vol.)} = b_0 + b_1 \cdot H$ (organische stof) voor de onderscheiden horizonten en Gt-groepen	27
11	Uit formules afgeleide dichtheid van de grond voor de onderscheiden horizonten en Gt-groepen onder aanname dat de grond 1% organische stof heeft	29
12	Gemiddelde dichtheid van de grond in de löss voor de onderscheiden horizonten (n = 57)	30
13	Resultaten van de multiple regressieberekening: $SV = b_0 + b_1 \cdot H + b_2 \cdot L$ voor bovengronden	37
14	Resultaten van de multiple regressieberekening: $SV = b_0 + b_1 \cdot H + b_2 \cdot L$ voor ondergronden	38
15	De dichtheid in bovengronden	39
16	De dichtheid in ondergronden	39
17	Spreiding in dichtheid van rivier- en zeekleigronden zowel voor boven- als ondergrond bij verschillende organische-stof- en lutumgehalten	40

1 INLEIDING

De ruimtelijke opbouw van een grond kan gemeten worden door de massa van een volume-eenheid in zijn natuurlijke ligging, na drogen bij 378 K te bepalen. Werd dit tot voor kort nog "volumegewicht van een grond" genoemd, tegenwoordig in de nieuwe Nederlandse terminologie voor bodemfysische begrippen wordt de term "dichtheid van de grond" gebruikt.

Bodemkundig is de dichtheid van een grond een belangrijk gegeven. Met behulp van de dichtheid van de vaste fase (vroeger het soortelijk gewicht van de grond genoemd) kan de verhouding tussen de vaste bodembestanddelen en de poriën worden berekend. De dichtheid van een grond is een noodzakelijk gegeven voor de omrekening van gewichtsprocenten naar volumeprocenten, bij voorbeeld bij de advisering van de stikstofgift en van de kalkbemesting. In het algemeen voor elke omrekening van gehalten tot voorraden (Kortleven, 1970).

Van de Nederlandse gronden zijn echter nog maar weinig gegevens bekend die hierop betrekking hebben. In kringen van de landbouwvoorlichting moet men het tot nu toe doen met een tweetal tabellen in het "Handboek voor de rundveehouderij" (okt. 1980), die alleen maar betrekking hebben op het verband tussen organische-stofgehalte en de dichtheid van de bovengrond resp. voor zand- en veengronden en voor kleigronden.

Bij het bepalen van de vocht karakteristiek is de dichtheid van de grond een onderdeel van een hele serie waarnemingen die aan een grond worden verricht. In het kader van een programma van verzamelen en ordenen van de vocht karakteristieken van Nederlandse gronden werd aan de dichtheden bijzondere aandacht besteed. In het volgende wordt als voorlopig resultaat een globaal overzicht gegeven van de dichtheden van zandgronden, van lössgronden en van zeeklei- en rivierkleigronden. De eerste

auteur bewerkte de groep zandgronden, terwijl de tweede dit deed voor de beide andere groepen.

Alle in dit rapport genoemde waarden voor de dichtheid van de grond zijn uitgedrukt in grammen per cm^3 (g.cm^{-3}).

2 DE DICHTHEID VAN ZANDGRONDEN

2.1 Bewerking

2.1.1 Het materiaal

Voor de zandgronden heeft het onderzoek betrekking op een elftal bodemeenheden met hun grondwatertrappen (tabel 1). De verdeling van de bemonsterde profielen bleek zeer onregelmatig te zijn, niet alleen over de bodemeenheden, maar gezien de landelijke spreiding ook over de zandgebieden in Nederland. In bepaalde streken waren veel monsters genomen en in andere weinig of geen. Ook het aantal bemonsterde lagen of horizonten per profielkuil varieert. Vanwege deze onevenwichtigheid is gekozen voor een verwerking per horizont en niet per bodemeenheid.

De verwerkte gegevens zijn afkomstig van monsters, waarvan de eerste in 1953 en de laatste in 1976 gestoken zijn. Niet verwerkt is het materiaal waarvan de dichtheid wel bekend was maar geen granulaire samenstelling of grondwatertrap. Ook monsters met grof zand ($M_{50} > 210 \mu\text{m}$), een leemgehalte $> 50\%$ en een organische-stofgehalte $> 15\%$ werden vanwege hun kleine aantallen niet in het onderzoek betrokken. Wel zijn de monsters verwerkt die minder dan 50% leem en meer dan 8% lutum hebben. Bij Stiboka worden deze tot de zandige leem gerekend. Vaak kon deze klasse niet worden onderscheiden omdat van een aantal oude monsters het percentage lutum niet was bepaald.

In dit verslag wordt getracht verbanden te leggen tussen de dichtheid en:

- de bodemhorizont,
- het organische-stofgehalte,
- het leemgehalte,
- de menselijke activiteiten en
- de diepte van een laag in het profiel.

Voor alle zojuist genoemde factoren wordt rekening gehouden met de grondwatertrappen, afgekort Gt's genoemd').

In totaal waren er gegevens uit 1558 lagen, verdeeld over 407 profielen.

2.1.2 Bodemeenheden en hun grondwatertrappen

Elk van de elf bodemeenheden hebben weer verschillende Gt's. Om het onderzoek te vereenvoudigen zijn ze in twee groepen ingedeeld (tabel 1). Gronden met Gt II, III en V zijn samengebracht in een groep die in het vervolg Gt-nat is genoemd, terwijl Gt IV, VI en VII te samen de droge groep vormen.

Tabel 1 Bemonsterde profielen en lagen, gerangschikt naar Gt-groep en bodemeenheid

Bodemeenheid		Gt II, III of V (nat)		Gt IV, VI of VII (droog)	
		profielen	lagen	profielen	lagen
Holtpodzolgronden	(2i)	-	-	7	21
Looppodzolgronden	(2d)	-	-	8	33
Veldpodzolgronden	(2r)	63	213	80	326
Laarpodzolgronden	(2q)	17	79	22	108
Haarpodzolgronden	(2z)	-	-	2	9
Bruine enkeerdgronden	(4r)	-	-	15	44
Zwarte enkeerdgronden	(4s)	9	38	87	358
Beekeerdgronden	(4k)	44	160	-	-
Broekeerdgronden	(4d)	9	26	-	-
Gooreerdgronden	(4i)	28	85	12	45
Vlakvaaggronden	(5k)	-	-	4	13

¹⁾ Een grondwatertrap is een combinatie van een zeker gemiddeld hoogste (GHG) en een gemiddeld laagste (GLG) grondwaterstand-traject (bijv. GHG 40-80 cm met GLG >120 cm, Gt VI). Beide grondwaterstanden kunnen worden berekend uit langjarige waarnemingen.

Uit tabel 1 blijkt dat verschillende profielen zoals bijvoorbeeld de holt-, de loo- en de haarpodzolgronden alleen in de Gt-groep "droog" voorkomen. Dit is in overeenstemming met hun bodemkundige ontwikkeling. Evenzo komen de beekeerd- en de broekeerdgronden alleen in de Gt-groep "nat" voor. De indeling in een Gt-groep "droog" en "nat" houdt dus rekening met de ontwikkeling van de bodem onder invloed van het grondwater.

2.1.3 Bodemhorizonten

Elk van de onderscheiden A1- of Ap, B- en C-horizonten is gewoonlijk door meetbare of geschatte kenmerken nader onder te verdelen. Daarvoor hanteert men bij de Stichting voor Bodemkartering uniforme criteria. Om praktische redenen is in dit rapport van de gebruikelijke indeling afgeweken. Zo hebben we voor de A-horizonten de volgende onderverdelingen gemaakt: A1- of Ap-horizonten van 0-20 à 30 cm en A-horizonten dieper dan 20 à 30 cm. Bij de B-horizonten werden de B2-horizonten apart onderscheiden, terwijl de B3- en BC-horizonten werden samengevoegd. Ook de C1g- en C1-horizonten werden samengevoegd, alleen in tabel 2 zijn ze apart onderscheiden.

2.2 Resultaten

2.2.1 De dichtheid van de grond in horizonten van natte en droge gronden

De vergelijking van de dichtheden van de grond tussen de Gt-groep nat en droog moest beperkt blijven tot de A-, B- en C-horizonten met 0-1,5% organische stof. Immers, de B3+BC, de C1g- en de C1-horizonten bevatten gewoonlijk geen hoger percentage, in tegenstelling tot de B2- en vooral de A-horizonten. Een eventueel verschil

Tabel 2 Gemiddelde dichtheid van de grond in A-, B- en C-horizonten met 0-1,5% organische stof per Gt-groep

Horizont	Gt-groep nat	Gt-groep droog
A (>20 à 30 cm)		
dichtheid grond	1,592	1,479
st.afw.	0,100	0,071
aantal	12	38
B2		
dichtheid grond	1,637	1,492
st.afw.	0,107	0,107
aantal	24	55
B3+BC		
dichtheid grond	1,659	1,544
st.afw.	0,063	0,110
aantal	45	104
C1g		
dichtheid grond	1,655	1,620
st.afw.	0,131	0,104
aantal	112	35
C1		
dichtheid grond	1,698	1,622
st.afw.	0,075	0,092
aantal	67	133

Opm.: De horizonten in de Gt-groep nat hebben t.o.v. de overeenkomstige in de Gt-groep droog bij een betrouwbaarheidsinterval van 95% een significant grotere dichtheid van de grond. Binnen de Gt-groep nat heeft alleen de C1- t.o.v. de C1g-horizont een significant grotere dichtheid. Binnen de Gt-groep droog hebben de B3+BC- t.o.v. de B2-horizont en de C1g- t.o.v. de B3+BC-horizont significant grotere dichtheden van de grond.

in dichtheid van de grond zou dan het gevolg kunnen zijn van een verschil in organische-stofgehalte tussen de horizonten. Deze beperking betekent dat de gegevens van A1- of Ap-horizonten van 0-20 à 30 cm hier niet verwerkt kunnen worden.

Volgens tabel 2 hebben de horizonten van de natte gronden een grotere dichtheid dan die van de droge. Het grootste verschil vertonen de B2-horizonten en het kleinste de C1g-horizonten.

Ook binnen één Gt-groep treden tussen de horizonten verschillen in dichtheid van de grond op. Hoewel deze soms gering zijn, blijkt in volgorde van A t/m C1 de dichtheid van de volgende horizont telkens iets hoger. Van de beide Gt-groepen is binnen de groep "droog" het verschil tussen de laagste in de A-horizont en de hoogste in de C1-horizont evenwel het grootst.

Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn, dat droge profielen meer beïnvloed worden door biologische activiteiten. Dit resulteert in een lagere dichtheid van de grond. Natte profielen daarentegen ondervinden op geringe diepte de inwerking van een wisselende grondwaterstand; ze kunnen daardoor in zekere zin "aanplempen".

2.2.2 Invloed van organische-stofgehalte op de dichtheid van de grond

Om de invloed van het organische-stofgehalte op de dichtheid van de grond na te gaan konden alleen de gegevens van de twee onderscheiden horizonten (0-20 à 30 cm en >20 à 30 cm) en van de B2-horizonten worden verwerkt. Hiervan was het aantal monsters voldoende groot om een vijftal organische-stofklassen te kunnen vormen, nl. van 0-1,5, 1,5-2,5, 2,5-5,0, 5,0-8,0 en 8,0-15,0%. Voor elk van deze klassen is per Gt-groep en per horizont de gemiddelde dichtheid bepaald.

Tabel 3 Gemiddelde dichtheid van de grond in A- en B2-horizonten per Gt-groep en organische-stofklassen

Horizont	Gt-groep nat					Gt-groep droog				
	organische-stofklassen					organische-stofklassen				
	0- 1,5	1,5- 2,5	2,5- 5,0	5,0- 8,0	8,0- 15,0	0- 1,5	1,5- 2,5	2,5- 5,0	5,0- 8,0	8,0- 15,0
A (0-20 à 30 cm)										
dichtheid grond			1,393	1,277	1,124			1,331	1,265	1,170
st.afw.			0,069	0,101	0,131			0,114	0,093	0,073
aantal			55	70	20			126	73	7
A (>20 à 30 cm)										
dichtheid grond	1,592	1,472	1,417	1,250		1,479	1,414	1,344	1,277	
st.afw.	0,100	0,069	0,093	0,124		0,071	0,100	0,084	0,080	
aantal	12	23	44	21		38	80	113	36	
B2										
dichtheid grond	1,637	1,530	1,386	1,266		1,492	1,434	1,395	1,275	
st.afw.	0,107	0,081	0,091	0,099		0,107	0,116	0,104	0,122	
aantal	24	16	24	6		55	35	44	20	

Opn.: Bij een betrouwbaarheidsinterval van 80% zijn de dichtheïden van de grond van de opeenvolgende organische-stofklassen per horizont en Gt-groep significant verschillend, behalve voor de A-horizont (0-20 à 30 cm) met 2,5-5,0% en 5,0-8,0% organische stof en voor de A-horizont (>20 à 30 cm) met 0-1,5%, 1,5-2,5% en 2,5-5,0% organische stof, beide in de Gt-groep nat.

Bij de B3+BC- en C1g- en C1-horizonten, die gewoonlijk minder dan 1,5% organische stof hebben, kon de invloed van het organische-stofgehalte niet worden nagegaan. Voor de A-horizont, 0-20 à 30 cm, waren in de twee klassen met de laagste organische-stofgehalten te weinig waarnemingen voor vergelijkingen. In de twee andere horizonten was dit het geval voor de klasse 8,0-15,0% organische stof.

Uit tabel 3 blijkt voor elke horizont duidelijk de invloed van het organische-stofgehalte op de dichtheid van de grond. Elke volgende organische-stofklasse met een hoger gehalte heeft een kleinere dichtheid. Dit is zowel bij de Gt-groep nat als bij de Gt-groep droog het geval.

De oorzaak van een kleinere dichtheid van de grond bij een hoger organische-stofgehalte kan in de eerste plaats toegeschreven worden aan de kleinere dichtheid van de vaste fase van de organische-stofcomponent (1,47). Toch is het aannemelijk, dat door een geringe toename in organische-stofgehalte een meer ruimtelijk bouwsel van de grond tot stand komt m.a.w. het poriënvolume neemt toe.

Tussen de Gt-groep nat en Gt-groep droog zijn de dichtheden van de grond ook per horizont met elkaar vergeleken. Echter alleen de dichtheden die tot dezelfde organische-stofklasse behoorden. De hoogste dichtheden van de grond treft men in het algemeen bij de natte gronden aan (tabel 3). De grootste verschillen worden echter in de laagste organische-stofklassen gevonden. Daarentegen laten de klassen met een hoog gehalte aan organische stof nauwelijks enig verschil in dichtheid van de grond zien. Soms is dat van de natte gronden dan iets lager.

Verder is nagegaan of het samenvoegen van bodemeenheden met grote variaties in het aantal waarnemingen wel verantwoord is. Een eenheid met een betrekkelijk groot aantal waarnemingen zou de gemiddelde dichtheid van de grond in sterke mate kunnen beïnvloeden. Voor een toetsing viel de keuze op de A-horizont (0-20 à 30 cm)

in de Gt-groep droog met 2,5-5,0% organische stof (tabel 3). De helft van de 126 waarnemingen was afkomstig uit bruine (9) en zwarte (54) enkeerdgronden, de andere 63 uit podzolgronden (53), gooreerd- (8) en vlakvaaggronden (2). Van de podzolgronden eisten de veldpodzolgronden (35) het leeuwedeel op.

Uit de berekeningen blijkt dat de gemiddelde dichtheid van de grond van de A-horizont van de laatstgenoemde 63 waarnemingen 1,309 (0,124) is. Bij vergelijking met de gemiddelde waarde van alle waarnemingen uit tabel 3 (1,331¹⁾) blijkt er tussen beiden nauwelijks enig verschil te zijn. Toch zijn in de ontstaanswijze van de A-horizonten grote verschillen aan te wijzen. Die van de bruine en zwarte enkeerdgronden zijn immers ontstaan door het gebruik van aardmest en wijken sterk af van het ontstaan van de overige A-horizonten. Ondanks dat domineren de dichtheden van de enkeerdgronden niet en was het samenvoegen van bodemeenheden verantwoord.

2.2.3 Invloed van leemgehalte op de dichtheid van de grond

Om de invloed van het leemgehalte op de dichtheid van de grond te kunnen nagaan, werden de tabellen 4 en 5 samengesteld. In tabel 4 staan de gegevens van de A-horizont 0-20 à 30 cm, de A-horizont(en) >20 à 30 cm en de B2-horizont. De horizonten in deze tabel werden weer onderverdeeld in een aantal organische-stofklassen. De gegevens van de B3+BC- en C1g+C1-horizonten staan in tabel 5. Deze horizonten bevatten slechts 0-1,5% organische stof. De C1g- en C1-horizonten werden hier samengevoegd. Dit werd niet bezwaarlijk geacht, hoewel de dichtheden van de grond in de

¹⁾ Bij een betrouwbaarheidsinterval van 80% zijn de verschillen niet significant.

Tabel 4 Gemiddelde dichtheid van de grond in A- en B2-horizonten met 0-17,5% leem en 17,5-50% leem ingedeeld per Gt-groep en organische-stofklassen

Horizont	Leem- klassen	Gt-groep nat				Gt-groep droog		
		organische-stofklassen				organische-stofklassen		
		0- 2,5	2,5- 5,0	5,0- 8,0	8,0- 15,0	0- 2,5	2,5- 5,0	5,0- 8,0
A (0-20 à 30 cm)	0-17,5							
dichtheid grond			1,378	1,285	1,143		1,318	1,265
st.afw.			0,098	0,106	0,144		0,108	0,094
aantal			28	37	7		94	62
	17,5-50							
dichtheid grond			1,408	1,268	1,115		1,371	1,266
st.afw.			0,085	0,099	0,128		0,124	0,091
aantal			27	33	13		32	11
A (>20 à 30 cm)	0-17,5							
dichtheid grond		1,519	1,418	1,250		1,432	1,345	1,279
st.afw.		0,081	0,091	0,087		0,085	0,075	0,082
aantal		19	22	4		85	81	34
	17,5-50							
dichtheid grond		1,506	1,415	1,250		1,442	1,314	
st.afw.		0,118	0,098	0,130		0,120	0,100	
aantal		16	22	18		33	32	
B2	0-17,5							
dichtheid grond		1,595	1,387			1,471	1,388	
st.afw.		0,101	0,082			0,098	0,100	
aantal		31	15			68	34	
	17,5-50							
dichtheid grond		1,592	1,384			1,450	1,415	
st.afw.		0,144	0,113			0,160	0,122	
aantal		9	9			22	10	

Opm.: De uitkomsten zijn bij een betrouwbaarheidsinterval van 80% niet significant verschillend, behalve voor de A-horizont (0-20 à 30 cm) in de Gt-groep droog met 2,5-5,0% organische stof.

Gt-groep nat significant verschillen (tabel 2).

In beide tabellen werden de horizonten van zowel de natte als de droge profielen naar hun leemgehalte in twee klassen ingedeeld. Als grens is 17,5% leem gekozen. Horizonten met een laag leemgehalte bevatten 0-17,5% leem en die met een hoog leemgehalte 17,5-50% leem.

Worden in tabel 4 de dichtheden van de grond uit eenzelfde horizont en organische-stofklasse, maar de een met een laag en de ander met een hoog leemgehalte met elkaar vergeleken, dan is er nauwelijks verschil tussen beiden. Wel valt duidelijk op de invloed van het organische-stofgehalte.

Tabel 5 is uit drie delen opgebouwd; deze zijn aangegeven met I, II en III. Onder I staan de gegevens van de B3+BC-horizonten vermeld. Voor de C-horizonten werd een splitsing wenselijk geacht (II en III). Onder II staan de gegevens van de beekeerd- en broekeerdgronden. In deze gronden komen vaak fossiele gangen voor uit een ver verleden. Onder III vindt men de gegevens van de C1g+C1-horizonten van de "overige gronden".

Uit tabel 5 blijkt het volgende:

- I In de Gt-groep nat kan de iets kleinere dichtheid van de B3+BC-horizonten met 17,5-50% leem t.o.v. die met 0-17,5% leem toeval zijn. Maar in de Gt-groep droog hebben de horizonten met een hoog leemgehalte een aanzienlijk lagere dichtheid van de grond. Dit maakt bewortelbaarheid van de horizonten met een hoog leemgehalte mogelijk.
- II De kleinere dichtheid van de grond van de C-horizonten met een hoog leemgehalte is opvallend, evenals de grote spreiding (0,207). De afscheiding van de C-horizonten van de beekeerd- en broekeerdgronden van de C-horizonten in de "overige" gronden is voor die met een hoog leemgehalte zinvol gebleken.
- III De dichtheid van de grond van horizonten met een laag en een hoog leemgehalte is vrijwel gelijk aan elkaar.

Tabel 5 Gemiddelde dichtheid van de grond in B3+BC- en C1g+C1-horizonten met 0-1,5% organische stof ingedeeld naar Gt-groep en leemklassen

Horizonten	Gt-groep nat		Gt-groep droog	
	leemklassen		leemklassen	
	0-17,5%	17,5-50%	0-17,5%	17,5-50%
I monsters uit alle bodemeenheden				
B3+BC-horizont				
dichtheid grond	1,668	1,637	1,557	1,460
st.afw.	0,064	0,060	0,100	0,133
aantal	34	9	89	13
II monsters uit beekeerd- en broekeerdgronden				
C1g+C1-horizonten				
dichtheid grond	1,692	1,580		
st.afw.	0,064	0,207		
aantal	54	27		
III "overige" monsters (niet uit beekeerd- en broekeerdgronden)				
C1g-C1-horizonten				
dichtheid grond	1,691	1,683	1,625	1,600
st.afw.	0,067	0,117	0,092	0,122
aantal	67	30	130	38

Opm.: I Alleen in de Gt-groep droog zijn bij een betrouwbaarheidsinterval van 95% de uitkomsten significant verschillend.

II De uitkomsten zijn bij een betrouwbaarheidsinterval van 99% significant verschillend.

III De uitkomsten zijn bij een betrouwbaarheidsinterval van 80% niet significant verschillend.

Voor een deel van deze B- en C-horizonten was het lutumgehalte bepaald. Daardoor konden in I, II en III de horizonten in de leemklasse 17,5-50% worden gesplitst in die met <8% lutum en in >8% lutum. Gebleken is dat een lage dichtheid van de grond in de beekeerd- en broekeerdgronden nu gevonden wordt voor de horizonten met >8% lutum. Voor de horizonten met <8% lutum blijft het vrijwel gelijk aan dat voor de leemklasse 0-17,5%.

Een aannemelijke verklaring voor de lage dichtheid in gronden met >8% lutum is het veelvuldig voorkomen van vele in grootte variërende gangen. De grote spreiding in dichtheden wijst in deze richting.

Verschil in lutumgehalte bleek voor de waarden van de groepen I en II in de tabel niet van invloed te zijn.

2.2.4 Invloed van de mens op de dichtheid van de grond van enkeerdgronden

De bruine- en zwarte enkeerdgronden zijn door jarenlange aanwending van aardmest uit potstallen opgehoogd tot vaak meer dan 50 cm dik. De eerste losse grond, die nu diep en ongestoord in het profiel ligt zou in de loop der jaren door het gewicht van de bovenliggende grond samengeperst kunnen zijn. Ook eventuele verdichtingen van de grond uit een vroegere bewerkingsperiode kunnen stand hebben gehouden. In verband met de sterke menselijke beïnvloeding worden deze gronden apart besproken.

Om informatie te krijgen over verschillen in dichtheden van de grond in het opgebrachte dek zijn de gegevens van de lagen binnen 50 cm en dieper dan 50 cm apart verwerkt. De grens van 50 cm is gekozen omdat voor de enkeerdgronden het opgebrachte dek tenminste aan deze dikte moet voldoen. Het onderzoek heeft zich bepaald tot de gronden van de Gt-groep droog. De Gt-groep nat komt namelijk weinig voor bij enkeerdgronden.

Tabel 6 Gemiddelde dichtheid van de grond in Aan-horizonten van enkeerdgronden behorend tot de Gt-groep droog. Er is een indeling gemaakt naar diepte, nl. van 20 à 30-50 cm en dieper dan 50 cm

	Diepte in cm - mv. 20 à 30-50		Diepte in cm - mv. >50	
	organische- stofklassen		organische- stofklassen	
	0-2,5	2,5-5	0-2,5	2,5-5
Dichtheid grond	1,445	1,367	1,404	1,278
St.afw.	0,077	0,074	0,066	0,076
Aantal	33	45	43	30

Opm.: De uitkomsten zijn bij een betrouwbaarheidsinterval van 98% significant verschillend.

Uit tabel 6 blijkt van een samenpersing van de ondergrond door het bovenliggende pakket geen sprake te zijn. Die drukken zijn ook vrij laag vergeleken met belastingen die de boer op de grond uitoefent. De lossere pakking van de diepere lagen zou verklaard kunnen worden als een gevolg van biologische activiteiten en homogenisatie. De grotere dichtheid van de grond voor de laag van 20 à 30-50 cm t.o.v. de onderliggende laag in dezelfde organische-stofklasse is met vrij grote zekerheid het gevolg van de huidige mechanisatie van de bedrijven.

2.2.5 Invloed van de mens op de dichtheid van de grond in A-horizonten >20 à 30 cm

Door berijden en beweiden van grasland en berijden en bewerken van bouwland kan de A-horizont >20 à 30 cm tot op variërende diepte iets tot zeer sterk verdichten. Om een indruk te krijgen over de verbreiding van de verdichtingen zijn de gegevens van de laag 23-27 cm verwerkt.

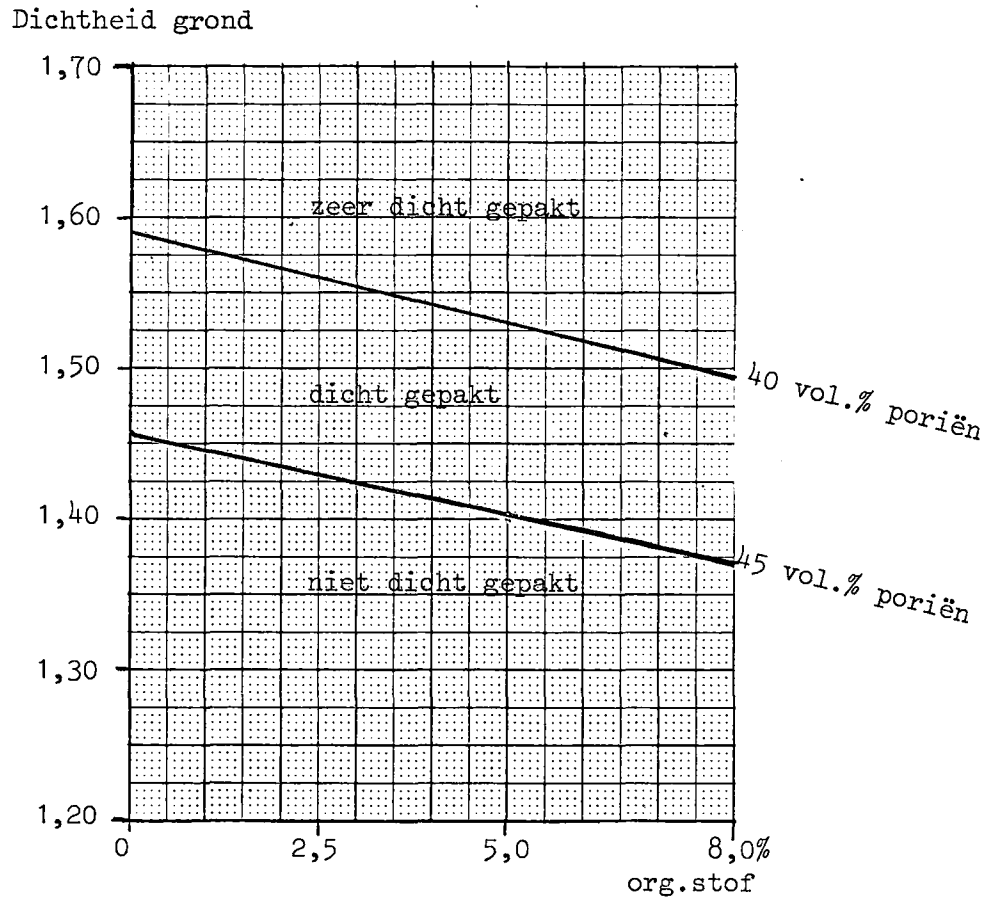


Fig. 1 Dichtheid van de grond in afhankelijkheid van het organische-stofgehalte bij zeer dichte, dichte en niet dichte pakking

Tabel 7 Percentage dicht en zeer dicht gepakte lagen (ploegzolen) ingedeeld naar Gt-groep en organische-stofklasse

	Org.-stofklasse 0-2,5		Org.-stofklasse 2,5-5		Org.-stofklasse 5-8	
	Gt-groep		Gt-groep		Gt-groep	
	nat	droog	nat	droog	nat	droog
Percentage dicht en zeer dicht gepakte lagen	85,7	43,5	54,5	20,7	0	12,5
Aantal	7	23	11	29	11	8
') = 100%						

Om een grond op verdichting te beoordelen kozen we bepaalde poriënvolumes als norm. Met het poriënvolume wordt vaak de bewortelbaarheid van een laag of profiel beoordeeld. Uit de literatuur blijkt dat leemarm en humusarm zand met <40 volumepercenten poriën niet of uiterst moeilijk bewortelbaar is (Hidding en Van den Berg, 1961). Bevat een grond daarentegen meer dan 45 volumepercenten poriën, dan menen wij aan de hand van praktijkwaarnemingen te mogen veronderstellen dat het percentage poriën voor de beworteling geen belemmerende factor behoeft te zijn. Deze 40 en 45 volumepercenten poriën vormden de basis voor het beoordelen van een grond op verdichting. Met de formule:

$$p = (1 - \frac{\text{dichtheid grond}}{\text{dichtheid vaste fase}}) \cdot 100$$

is de dichtheid van de grond bij de beide poriënvolumes berekend. Uit de formule kan men afleiden dat verandering van de dichtheid van de vaste fase ook verandering van de dichtheid van de grond geeft bij gelijkblijvend poriënvolume.

Hieronder volgt een indeling van de verdichting van een grond, uitgedrukt in de mate van pakking:

- a. <40 volumepercenten poriën, zeer dicht gepakt
- b. 40-45 volumepercenten poriën, dicht gepakt
- c. >45 volumepercenten poriën, niet dicht gepakt.

Bij een bekende dichtheid van de grond en organische-stofgehalte kan met behulp van fig. 1 een grond op verdichting beoordeeld worden. Dit werd gedaan voor de lagen op een diepte van 23-27 cm, waarbij onderscheid gemaakt werd tussen de Gt-groepen nat en droog en tussen drie organische-stofklassen. De resultaten zijn samengevat in tabel 7.

De kans op dicht en zeer dicht gepakte lagen is het grootst in natte gronden. De gronden uit de Gt-groep nat hebben t.o.v. de Gt-groep droog het hoogste percentage dicht en zeer dicht gepakte lagen met uitzondering van de organische-stofklasse 5-8%.

2.2.6 Dichtheid van de grond bij C-horizonten in droge gronden in samenhang met de diepte

Nagegaan is of de gemiddelde dichtheid van de grond van de diepst bemonsterde horizonten verschilt ten opzichte van de minder diep bemonsterde. Het onderzoek moest zich beperken tot de waarnemingen uit de Gt-groep droog. In de Gt-groep nat werd de dichtheid van de grond immers beïnvloed door het grondwater (tabel 2). Daar hebben de natte gronden steeds de grootste dichtheid. Om over een voldoende groot aantal waarnemingen te kunnen beschikken zijn ook hier de C1g- en C1-horizonten weer samengevoegd. Bij de droge gronden bestaan er echter nog verschillen in gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) en in het niveau van de grondwatertrappen (Gt VI en Gt VII). Bij het samenstellen van de twee groepen van resp. ondiep en diep gestoken monsters, is daar rekening mee gehouden. De eerste groep omvat monsters gestoken binnen 80 cm (Gt VI, GHG 40-80 cm) of binnen 120 cm (Gt VII, GHG >80 cm). De tweede groep omvat de monsters gestoken dieper dan 80 cm resp. 120 cm.

Tabel 8 Gemiddelde dichtheid van de grond in meer en minder diep gestoken monsters in C-horizonten behorend tot de Gt-groep droog

	Diepte van de gestoken monsters	
	< 80 cm (Gt VI)	> 80 cm (Gt VI)
	en <120 cm (Gt VII)	en >120 cm (Gt VII)
Dichtheid grond	1,596	1,650
St.afw.	0,097	0,094
Aantal	66	56

Opm.: Bij een betrouwbaarheidsinterval van 99% zijn de uitkomsten significant verschillend.

In tabel 8 zien we voor de diepst gestoken monsters een gemiddeld grotere dichtheid. Wisselende standen van het grondwater zouden

hier "aanplempend" kunnen hebben gewerkt. Voor profielen met Gt VII is de laatste mogelijkheid momenteel echter zeer beperkt, omdat in een aantal profielen het grondwater in de natte periode niet tot in de bemonsterde laag stijgt. Zelfs bij de profielen met de diepst bemonsterde lagen blijft het grondwater soms ver beneden de monsterdiepte. Echter in vroeger tijden kan het grondwater veel hoger hebben gestaan, zodat dit verschijnsel in die periode zijn oorsprong heeft. Ook afzettingsprocessen van het dekzand zouden deze verschillen in dichtheid van de grond tot stand gebracht kunnen hebben.

2.2.7 Invloed van de dichtheid van de grond op de bewortelingsdiepte

Bij de tot nu toe verwerkte gegevens zijn nauwelijks aantekeningen gevonden over de bewortelingsdiepte. De vraag naar deze informatie neemt echter steeds toe. Nu is vanaf 1976 bij de monsternamen voor de vocht karakteristiek ook de diepte van de beworteling genoteerd. Deze gegevens werden gebruikt om de invloed van de dichtheid van de grond op de bewortelingsdiepte na te gaan.

In het onderzoek werden 83 profielen betrokken, waarvan 27 behorend tot de Gt-groep nat en 56 profielen tot de Gt-groep droog. De bodemeenheden zijn dezelfde als in tabel 1 genoemd. Voor elke groep, zowel nat als droog, is de dichtheid van de grond van de diepst bewortelde laag genoteerd, evenzo van de niet bewortelde laag direct daaronder. Deze dichtheden zijn in een aantal klassen gegroepeerd. Zowel voor de bewortelde, als voor de niet bewortelde lagen is het aantal per dichtheidsklasse in % uitgedrukt. De resultaten zijn samengevat in de figuren 2 en 3.

Hoewel de diepte van de wortels zowel tot in de Aan- en B2- als tot in de B3-, BC-, C- en C1g-horizont reikt is hierin geen verdere onderverdeling gemaakt. Het aantal waarnemingen per klasse wordt dan te klein. Dit geldt ook wanneer een onderverdeling gemaakt wordt naar

organische-stofgehalte. Beide eerstgenoemde horizonten, de Aan en de B2, hebben gewoonlijk een hoger gehalte dan de laatstgenoemden. Daardoor kan het organische-stofgehalte binnen één dichtheidsklasse sterk variëren. Dit blijkt ook wel uit de standaardafwijking (tabel 9).

Tabel 9 Gemiddelde organische-stofgehalten en hun standaardafwijking in de diepst bewortelde en de daaronder liggende niet bewortelde laag ingedeeld naar Gt-groep

	Gt-groep nat		Gt-groep droog	
	beworteld	niet beworteld	beworteld	niet beworteld
% org.stof	1,95	0,61	1,50	0,50
St.afw.	1,47	0,76	1,30	0,39

Uit de resultaten van het onderzoek blijkt dat in een natte grond een laag met een dichtheid van de grond van 1,600 zeer duidelijk een grens voor de beworteling is (fig. 2). Lagen die dichter zijn blijken zelden beworteld.

Om deze dichtheidsklasse (1,550-1,599) te vertalen in een poriënvolume zijn de gemiddelde waarden van de dichtheid van de grond en het organische-stofgehalte berekend. Deze zijn resp. 1,575 en 1,34%. Met behulp van fig. 1 lezen we een poriënvolume van 41% af. Dit is een waarde die zeer dicht bij de grens van het zeer moeilijk of niet bewortelbare gebied ligt.

Ook bij een grond uit de droge Gt-groep blijkt een laag met een dichtheid van 1,600 en hoger moeilijk bewortelbaar (fig. 3). Echter de lagen met een dichtheid van 1,500 tot 1,600 zijn in tegenstelling tot de natte gronden vaak ook niet beworteld. Een aannemelijke verklaring is, dat de lagen hoog boven het grondwater liggen en van onvoldoende vocht worden voorzien.

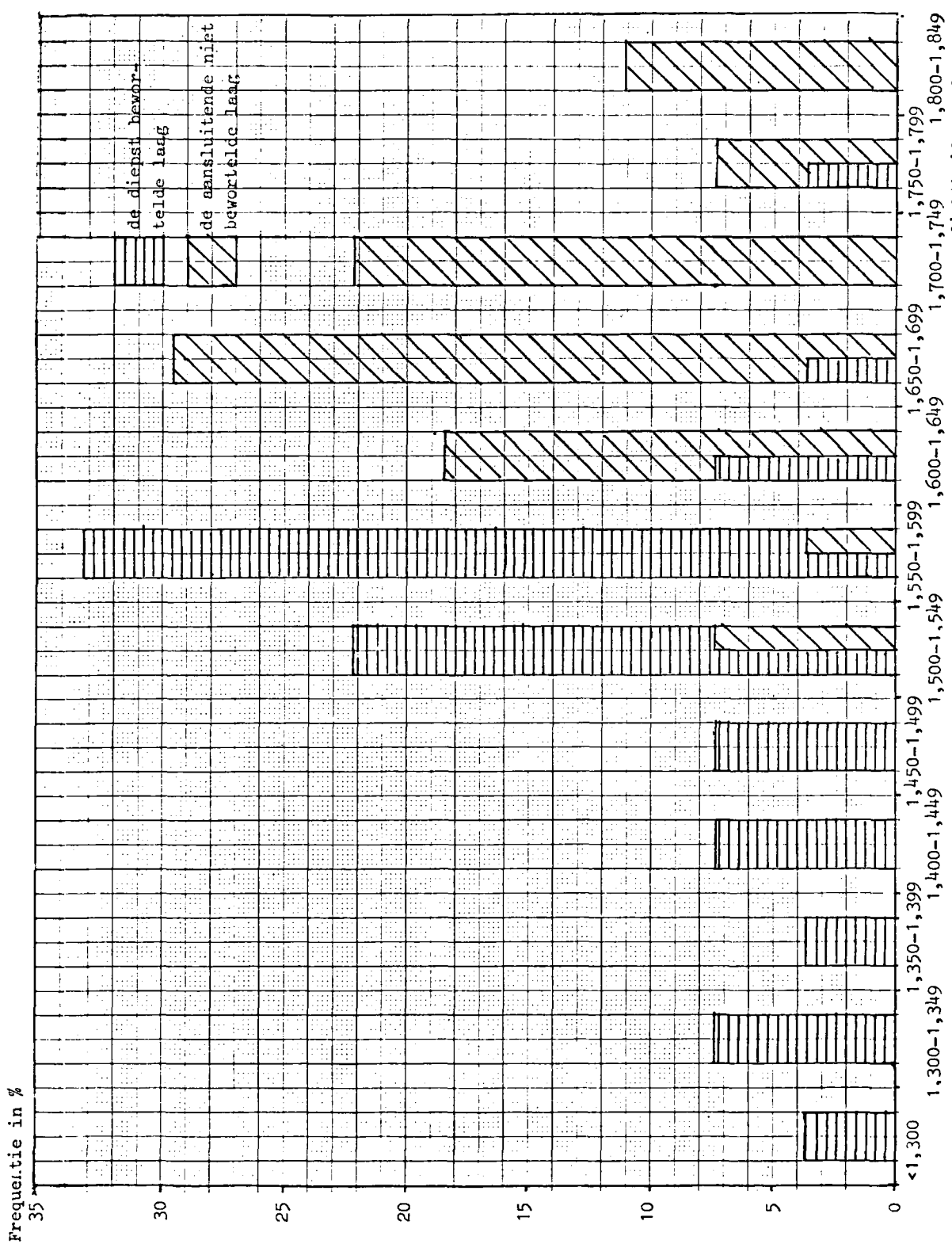


Fig. 2 Frequentieverdeling van de dichtheid van de grond van lagen die nog wel en van lagen die niet meer beworteld zijn. De lagen behoren tot profielen in de Gt-groep nat

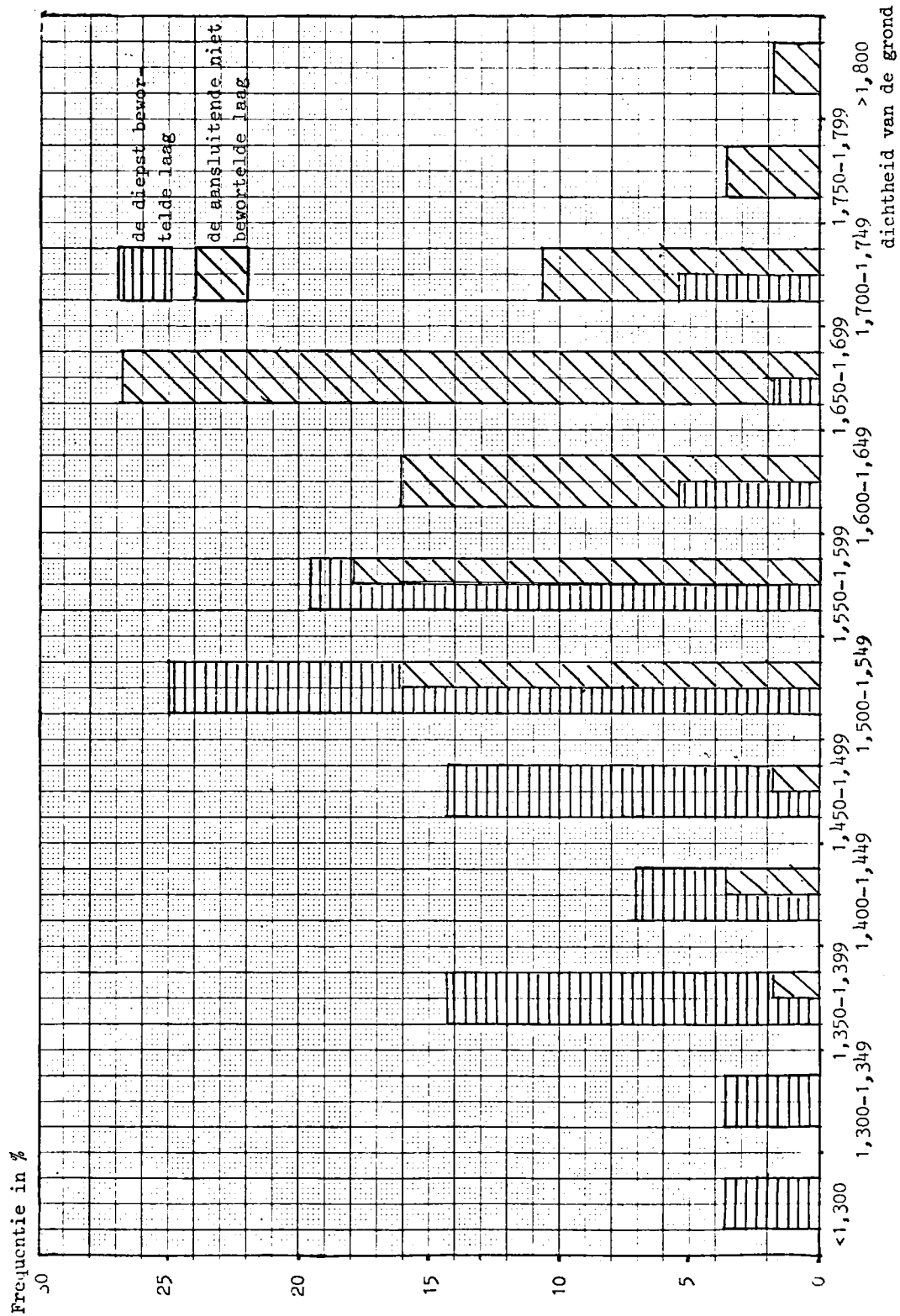


Fig. 3 Frequentieverdeling van de dichtheid van de grond van lagen die nog wel en van lagen die niet meer beworteld zijn. De lagen behoren tot profielen in de 6t-groep droog

Tabel 10 Overzicht van de factoren in de lineaire functie SV
(spec.vol.) = $b_0 + b_1 \cdot H$ (organische stof) voor de onderscheiden horizonten en Gt-groepen

Horizont	b_0	dicht- heid grond	b_1	H. ($\bar{x}$, s)	n	R	s
A 0-20 à 30 cm							
Gt-groep nat	0,601	1,664	0,030	$5,8 \pm 2,2$	149	0,72	0,062
" droog	0,646	1,548	0,025	$4,7 \pm 1,7$	224	0,56	0,061
A >20 à 30 cm							
Gt-groep nat	0,606	1,650	0,031	$3,4 \pm 1,8$	100	0,74	0,053
" droog	0,668	1,497	0,021	$3,1 \pm 1,6$	267	0,59	0,046
B2							
Gt-groep nat	0,576	1,736	0,039	$2,5 \pm 1,6$	70	0,83	0,041
" droog	0,651	1,536	0,021	$2,7 \pm 1,8$	154	0,59	0,054
B3							
Gt-groep nat	0,562	1,779	0,048	$1,0 \pm 0,5$	53	0,75	0,022
" droog	0,626	1,597	0,030	$1,0 \pm 0,7$	123	0,41	0,047
<u>beek- en broek- eerdgronden</u>							
C1+C1g							
Gt-groep nat	0,575	1,739	0,068	$0,5 \pm 0,3$	81	0,38	
<u>overige gronden</u>							
C1	0,590	1,695	0,002	$0,4 \pm 0,3$	64	0,02	
C1g	0,607	1,647	-0,006	$0,5 \pm 0,3$	32	0,04	
C1+C1g	0,594	1,684	0,002	$0,4 \pm 0,3$	96	0,02	
Gt-groep nat							
C1	0,604	1,656	0,032	$0,4 \pm 0,3$	136	0,26	
C1g	0,587	1,704	0,070	$0,5 \pm 0,3$	29	0,43	
C1+C1g	0,602	1,661	0,039	$0,4 \pm 0,3$	165	0,30	
Gt-groep droog							

2.2.8 Bewerking volgens de multiple regressiemethode

Het gehele materiaal opgesplitst naar horizonten en Gt-groepen zoals hiervoor beschreven, werd ook onderworpen aan een multiple regressie-analyse volgens het model

$$SV \text{ (specifiek volume)}' = b_0 + b_1 \cdot H \text{ (org.stof)} + b_2 \cdot Le \text{ (leem-} \\ \text{gehalte)} + b_3 \cdot M \text{ (mediaan van de} \\ \text{zandfractie)}.$$

In de meeste gevallen leveren de factoren leemgehalte en mediaan zandfractie geen significante bijdrage tot het specifiek volume. Vrijwel in alle gevallen droeg het organische-stofgehalte wel daartoe bij, alleen niet voor de C-horizonten van de Gt-groep nat. Daar had de mediaan van de zandfractie een significant aandeel.

De regressie-analyse is dan ook herhaald met alleen de factor H. De resultaten van deze analyse zijn samengebracht in tabel 10. Ondanks het feit dat bij de C-horizonten van de Gt-groep nat organische stof geen significante bijdrage levert en de mediaan van de zandfractie wel, hebben we gemeend het effect van de organische-stoffactor toch te moeten uitrekenen om daarmee een zo homogeen mogelijk overzicht te verkrijgen. De factor b_0 , het zgn. intercept, is omgerekend in een dichtheid van de grond (kolom 3). Verder is in deze tabel het gemiddelde organische-stofgehalte en zijn standaardafwijking gegeven (kolom 5). Tenslotte staan in de volgende 3 kolommen resp. het aantal waarnemingen, de correlatiecoëfficiënt R en de standaardafwijkingen van deze berekende specifieke volumes.

Ter illustratie zijn de dichtheden van de grond van de verschillende onderscheiden groepen uitgerekend in het geval het materiaal 1% organische stof heeft. Deze staan vermeld in tabel 11.

') = *reciproke waarde van de dichtheid van de grond.*

Tabel 11 Uit formules afgeleide dichtheid van de grond voor de onderscheiden horizonten en Gt-groepen onder aanname dat de grond 1% organische stof heeft

Horizont	Gt-groep nat	Gt-groep droog
A 0-20 à 30 cm	1,59	1,49
A >20 à 30 cm	1,57	1,45
B2	1,63	1,49
B3	1,64	1,52
C	1,68	1,56

3 DE DICHTHEID VAN DE GROND IN DE ZUID-LIMBURGSE LÖSS

Evenals bij de zandgronden is ook bij de löss de bodemkundige horizontindeling een belangrijk criterium gebleken bij de groepering van de gegevens.

Het bewerkte materiaal was niet bijzonder groot. In totaal waren 58 monsters bruikbaar. Gesplitst naar de onderscheiden horizonten werden daarvan de gemiddelde waarden en hun standaardafwijkingen bepaald. Deze zijn samengebracht in tabel 12.

Tabel 12 Gemiddelde dichtheid van de grond in de löss voor de onderscheiden horizonten (n = 57)

Horizont	n	Gemiddelde dichtheid grond	Standaard- afwijking	SV ¹⁾
Ap	13	1,420	0,108	0,704
A2	5	1,428	0,025	0,700
B2	14	1,542	0,060	0,649
BC+B3	6	1,575	0,020	0,635
C1	10	1,533	0,058	0,652
C2	9	1,496	0,040	0,668

¹⁾ = *Specifiek volume = reciproke waarde van de dichtheid van een grond.*

Uit deze cijfers komt heel duidelijk de verdichting van de B-horizonten naar voren. Ap en A2 zijn niet significant verschillend, maar zijn duidelijk minder dicht dan de C-ondergrond.

De in tabel 12 genoemde waarden hebben alle betrekking op de eerste 1 à 1,5 meter min maaiveld. Uit een ander onderzoek in een vijftal groeven in Zuid-Limburg kenden we reeds een aantal andere waarden. In dit geval juist boven en onder de kalkgrens genomen, uiteenlopend tussen 1,5 en 3,5 meter min maaiveld. De gemiddelde dichtheden varieerden daar tussen 1,322 en 1,485 voor de kalkloze löss

(C1) en van 1,417 tot 1,532 voor de kalkrijke. Vergelijken we deze waarden met die in tabel 12 dan blijken vooral de C1-waarden nogal van elkaar te verschillen.

Aan deze verschillen zal in de toekomst nog de nodige aandacht moeten worden besteed.

4.1 Bewerking

De gegevens die gebruikt zijn voor de samenstelling van het rapport "Uit eenvoudige grootheden af te leiden pF-waarden voor zee- en rivierkleigronden" (Poelman, 1979) hebben in dit rapport ook gediend voor een oriëntering over de dichtheid van de grond bij rivier- en zeeklei. De onderscheiding in boven- en ondergronden in genoemd rapport leek voor het onderhavig doel eveneens nuttig. De bovengrond is immers veel sterker onderhevig aan veranderingen dan de ondergrond bijv. door grondbewerking, invloed van het biologisch leven, weersinvloeden enz. Meestal heeft de bovengrond een hoger organische-stofgehalte, soms een veel ruimere pakking door de grondbewerking, soms een veel dichtere (ploeg-zool). Ook de indeling in oude rivierklei, jonge rivierklei en een regionale indeling van de zeeklei in een viertal gebieden te weten zeeklei noord, Noord-Holland, Zuid-Holland en Zeeland uit het genoemde rapport is gehandhaafd.

Bij de bewerking is getracht verbanden te leggen met de granulaire samenstelling van de grond. Eén van de redenen daarvoor is bijvoorbeeld het feit dat de dichtheid van de vaste fase van organisch materiaal beduidend lager is dan die van de zandfractie (resp. 1,47 en 2,66 g.cm⁻³), terwijl de lutumfractie een grotere dichtheid heeft (2,88 g.cm⁻³ voor rivierklei, Poelman, 1975: 2,77 g.cm⁻³ voor zeekleigronden, Boekel 1976). Daarnaast hebben ook andere factoren invloed op de dichtheid van de grond, zoals het zwel- en krimpvermogen. Ook de mate van rijping is van belang.

Wat betreft het zwel- en krimpvermogen kan gesteld worden, dat de voorbehandeling van het monster (bemonstering in het voorjaar, bewaring van het monster in een bak met water) uniform geweest is zodat het de gelegenheid heeft gehad te zwellen.

Inzake de rijping is de formule van Zuur (1958, blz. 14) gebruikt om een maat te vinden voor de rijpingsgraad. Deze formule is als volgt samengesteld en geïnterpreteerd:

$$A = 20 + n (L + 3H)$$

waarin A = massa water bij een vochtspanning van -100 cm

L = lutumgehalte

H = organische-stofgehalte

n = rijpingsfactor of rijpingsgraad.

Bij de verwerking zijn alleen die monsters betrokken die gerijpt zijn. Dit is aangenomen voor alle bovengronden en voor de ondergronden met een rijpingsfactor kleiner dan 0,5.

In totaal waren er $\pm$ 480 gegevens van bovengronden en $\pm$ 630 gegevens van ondergronden.

Het verband tussen de dichtheid van de grond en de organische-stof-fractie heeft een asymptotisch karakter. Bij de bewerking is het eenvoudiger met de reciproke waarde van de dichtheid te werken (Kortleven, 1970). Hetzelfde geldt t.o.v. het lutumgehalte.

De bewerking bestond uit een meervoudige regressie-analyse, uitgaande van het model

$$SV = b_0 + b_1 \cdot H + b_2 \cdot L + e \quad (0, \sigma^2)$$

waarin:

SV = specifiek volume in cm^3 per gram grond

H = organische-stofgehalte in gewichtsprocenten van de grond

L = lutumgehalte in gewichtsprocenten van de grond

e = toevallige afwijking in cm^3 per gram grond; normaal verdeeld met verwachtingswaarde 0 en variantie σ^2

b_0, b_1, b_2 = regressiecoëfficiënten in cm^3 per gram grond.

Met behulp van de verkregen schatting $\hat{b}_1$ werd de 0-hypothese $b_1 = 0$ getoetst (t-toets tweezijdig, met significantieniveau 0,05). Evenzo $b_2 = 0$. Wanneer op grond van deze toetsing geen significante invloed van H of L op SV werd vastgesteld, werd een nieuwe berekening uitge-

voerd met H of L als enige parameter. Wel zijn ter vergelijking alle coëfficiënten weergegeven.

4.2 Resultaten

De resultaten zijn samengebracht in tabel 13 voor de bovengronden en in tabel 14 voor de ondergronden. Hierin staan de waarden voor de coëfficiënten B_0, B_1, B_2 vermeld, zomede hun standaardafwijkingen. Verder zijn in de volgende twee kolommen de totale correlatiecoëfficiënt en de standaardafwijking van het regressievlak gegeven. Tenslotte zijn in de volgende drie kolommen de gemiddelde waarden van de verwerkte gegevens en hun standaardafwijking opgenomen. Daarmee kan worden nagegaan over welk traject van de organische-stof- en lutumgehalten en van het specifiek volume de formules kunnen worden toegepast zonder ze te extrapoleren. In de laatste kolom is de marge voor het specifiek volume vertaald in dichtheden van de grond.

Indien de coëfficiënt van de organische-stof- en lutumparameter niet significant afwijkt van de nul-hypothese is dat met een asterisk aangegeven. De berekening is vervolgens herhaald met de overgebleven factor en de resultaten staan dan direct onder de volledig uitgewerkte formule.

In het geval van de oude rivierkleigronden waren de coëfficiënten voor organische stof en voor lutum beide niet significant afwijkend van de nulhypothese, zodat bij deze groep gronden kan worden volstaan met het opgeven van de gemiddelde waarde van de dichtheid van de grond en de daarbij behorende standaardafwijking. Deze waarden zijn 1,586 g per cm^3 ($\pm 0,0831$).

Het specifiek volume is een wat ondoorzichtige grootheid, daardoor zijn de formules minder gemakkelijk te overzien. Om aan dat bezwaar tegemoet te komen werden enkele tabelletjes gemaakt, waarin bij de gebruikelijke organische-stof- en lutumgehalten, de uit de formules

berekende dichtheden staan weergegeven: tabel 15 en 16. Deze tabellen zijn voor de verwende lezer nog weer omgezet in een drietal grafieken: figuur 4, 5 en 6.

Bij de beschouwing van de uitkomsten valt op, dat ook voor de bovengronden nog vrij redelijke verbanden gevonden worden, ondanks de vele veranderingen waaraan deze onderhevig zijn. Daarbij moet bedacht worden dat de bemonstering voor pF-onderzoek meestal plaats vindt in het voorjaar, wanneer de bovengrond voldoende tijd gehad heeft om te bezakken. Om een idee te geven van de spreiding in de uitkomsten zijn deze uitgerekend voor de rivierkleigronden en voor alle zeekleigronden samen bij enkele organische-stof- en lutumgehalten. De uitkomsten zijn samengevat in tabel 17.

Bij de beschouwing van tabel 13 en 14 valt verder op, dat bij de bovengronden het organische-stofgehalte een flinke invloed op de dichtheid van de grond heeft en het lutumgehalte een veel geringere (zeeklei) of één die verwaarloosbaar klein is (rivierklei). Voor de ondergronden geldt het tegenovergestelde. Bij de rivierkleigronden is de invloed van de organische stof verwaarloosbaar klein, terwijl bij de zeeklei beide factoren een rol spelen. Het eerste is alleen te verklaren uit een te klein spreidingsgebied van het organische-stofgehalte bij de rivierkleigronden.

Gelet op het doorgevoerde onderscheid in boven- en ondergronden en in verschillende gebieden zoals zeeklei en rivierklei, kan de vraag gesteld worden of de uitgewerkte formules significante verschillen opleveren. De toetsing met behulp van de toets van Welch heeft zich beperkt tot de regressiefactoren b_0 , b_1 en b_2 . Bij een éézijdige overschrijdingskans van 2,5% is nagegaan of de regressiefactoren in de verschillende formules ook significant verschillen. Dit bleek zo te zijn voor alle drie factoren in de formules van de bovengrond t.o.v. die van de ondergrond, zowel voor de rivierklei als voor de zeekleigronden. De toetsing van alle zeekleigronden, ook die van het totaal, t.o.v. de rivierkleigronden leverde eveneens significante verschillen op.

De toetsing van de bovengronden van de zeekelegebieden gaf ook significante verschillen, behalve voor de factor b_0 in de formule voor Zuid-Holland t.o.v. die van Zeeland en ook t.o.v. die van de zeelei totaal. De factor b_1 voor de organische stof leverde geen verschillen op tussen zeelei noord en zeelei totaal, terwijl b_2 , de factor voor het lutumgehalte, geen verschil gaf tussen zeelei noord en Zuid-Holland.

Wat betreft de ondergronden kunnen we kort zijn. De significant gelijke waarden bij de drie regressiecoëfficiënten zijn hier door onderstreping van het getal in de tabel aangegeven.

In geen enkel geval is het gerechtvaardigd de onderscheiden groepen samen te smelten. De bovenstaande vraag kan dan ook met ja beantwoord worden.

Tabel 13 Resultaten van de multiple regressieberekening: $SV = b_0 + b_1.H + b_2.L$ voor bovengronden

Gebieden	n	Coëfficiënten en hun standaardafwijkingen						R	s	Gemiddelde waarden en standaardafwijkingen van de verwerkte gegevens						Met $\pm$ s overeenkomende dichtheid van de grond
		b_0	s	b_1	s	b_2	s			% org. stof	s	lutum	s	SV	s	
Jonge rivierklei	87	+0,618	$\pm 0,016$	+0,023	$\pm 0,0026$	+0,00067*	$\pm 0,00062$	0,75	0,065	4,4	$\pm 3,0$	23,4	$\pm 12,5$	0,735	$\pm 0,099$	1,57-1,20
		+0,629	$\pm 0,013$	+0,024	$\pm 0,0024$			0,74	0,066							
Zeeklei noord	102	+0,581	$\pm 0,011$	+0,035	$\pm 0,0023$	+0,0014	$\pm 0,00038$	0,88	0,046	3,4	$\pm 2,2$	28,5	$\pm 13,0$	0,741	$\pm 0,097$	1,55-1,19
Noord-Holland	81	+0,647	$\pm 0,021$	+0,033	$\pm 0,0026$	+0,0011*	$\pm 0,00077$	0,83	0,082	5,4	$\pm 3,6$	21,3	$\pm 12,1$	0,849	$\pm 0,145$	1,42-1,01
		+0,666	$\pm 0,017$	+0,034	$\pm 0,0026$			0,83	0,082							
Zuid-Holland	119	+0,598	$\pm 0,016$	+0,027	$\pm 0,0017$	+0,0013*	$\pm 0,00068$	0,85	0,059	3,8	$\pm 3,4$	22,0	$\pm 8,4$	0,728	$\pm 0,110$	1,62-1,19
		+0,624	$\pm 0,008$	+0,028	$\pm 0,0017$			0,84	0,060							
Zeeland	90	+0,594	$\pm 0,015$	+0,044	$\pm 0,0017$	-0,0007*	$\pm 0,00072$	0,94	0,046	3,2	$\pm 2,8$	19,3	$\pm 6,8$	0,722	$\pm 0,131$	1,69-1,17
		+0,582	$\pm 0,007$	+0,043	$\pm 0,0017$			0,94	0,046							
Zeeklei totaal	394	+0,597	$\pm 0,008$	+0,035	$\pm 0,0012$	+0,0009	$\pm 0,00033$	0,85	0,071	3,9	$\pm 3,1$	22,9	$\pm 10,9$	0,758	$\pm 0,134$	1,60-1,12

Opm.: Indien de coëfficiënt van de organische-stof- of lutumfactor niet significant afwijkt van de nul-hypothese is dit met een asterisk aangegeven. De berekening is vervolgens herhaald met de overgebleven factor.

Tabel 14 Resultaten van de multiple regressieberekening: $SV = b_0 + b_1.H + b_2.L$ voor ondergronden

Gebieden	n	Coëfficiënten en hun standaardafwijkingen					R	Gemiddelde waarden en standaardafwijkingen van de verwerkte gegevens					Met + s overeenkomende dichtheid van de grond			
		b ₀	s	b ₁	s	b ₂		s	% org. stof	s	lutum	s	SV	s		
Jonge rivierklei	229	0,572	+0,008	+0,0053*	+0,004	+0,0039	+0,0018	0,85	0,051	1,5	+0,92	39,1	+20,66	0,733	+0,097	1,57-1,20
		0,576	+0,007				+0,0040	+0,0016	0,85	0,051	1,5	+0,92	39,1	+20,66	0,733	+0,097
Zeeklei noord	163	+0,619	+0,007	+0,0165	+0,0039	+0,0027	+0,0002	0,74	0,037	1,0	+0,79	25,8	+13,18	0,704	+0,055	1,54-1,32
Noord-Holland	34	+0,636	+0,016	+0,0240	+0,0062	+0,0026	+0,0005	0,78	0,039	1,4	+1,10	25,2	+13,49	0,734	+0,060	1,48-1,26
Zuid-Holland	98	+0,637	+0,011	+0,0131*	+0,0073	+0,0021	+0,0004	0,60	0,041	1,5	+0,69	23,9	+11,37	0,708	+0,051	1,52-1,32
		+0,646	+0,010			+0,0026	+0,0004	0,58	0,042	1,5	+0,69	23,9	+11,37	0,708	+0,051	
Zeeland	103	+0,625	+0,011	+0,0229	+0,0055	+0,0014	+0,0005	0,57	0,044	1,7	+0,89	22,9	+10,08	0,696	+0,052	1,55-1,34
Zeeklei totaal	397	+0,628	+0,005	+0,0155	+0,0026	+0,0024	+0,0002	0,63	0,043	1,3	+0,87	24,5	+12,16	0,706	+0,056	1,54-1,31

Opm.: Indien de coëfficiënt van de organische-stof- of lutumfactor niet significant afwijkt van de nul-hypothese is dit met een asterisk aangegeven.
De berekening is vervolgens herhaald met de overgebleven factor.

De onderstreepte waarden voor b_0 , b_1 of b_2 leveren onderling geen significante verschillen op.

Tabel 15 De dichtheid in bovengronden

Rivierklei ^{*)}		Zeeklei					
% org. stof	dichtheid grond	dichtheid grond					
		% lutum					
		10	20	30	40	50	60
0	1,591	1,649	1,624	1,600	1,577	1,554	1,532
1	1,532	1,558	1,536	1,514	1,493	1,473	1,453
2	1,477	1,477	1,457	1,437	1,418	1,400	1,382
3	1,426	1,403	1,385	1,368	1,350	1,334	1,317
4	1,382	1,337	1,320	1,304	1,289	1,274	1,259
5	1,327	1,276	1,262	1,247	1,233	1,219	1,205
6	1,293	1,221	1,208	1,194	1,181	1,168	1,156
7	1,254	1,171	1,158	1,146	1,134	1,122	1,110
8	1,217	1,124	1,112	1,101	1,090	1,079	1,068
9	1,182	1,081	1,070	1,060	1,049	1,039	1,029
10	1,149	1,041	1,031	1,021	1,012	1,002	0,993

^{*)} Invloed van de lutum is verwaarloosbaar klein.

Tabel 16 De dichtheid in ondergronden

Rivierklei ^{*)}						% org. stof	Zeeklei					
dichtheid grond							dichtheid grond					
% lutum							% lutum					
10	20	30	40	50	60		10	20	30	40	50	60
1,622	1,523	1,436	1,358	1,288	1,225	0	1,535	1,481	1,431	1,384	1,340	1,299
						1	1,499	1,448	1,400	1,355	1,313	1,273
						2	1,465	1,416	1,370	1,327	1,287	1,248
						3	1,433	1,386	1,342	1,300	1,261	1,225
						4	1,402	1,356	1,314	1,275	1,237	1,202

^{*)} Invloed van organische stof is verwaarloosbaar klein.

Tabel 17 Spreiding in de dichtheid van rivier- en zeekleigronden, zowel voor boven- als ondergrond
bij verschillende organische-stof- en lutumgehalten

Rivierklei [‡]	Zeeklei			
	10% lutum		60% lutum	
<u>BOVENGROND</u>				
2% org.stof	± s	1,348-1,634	3% org.stof	± s 1,276-1,559
	± 2s	1,239-1,828		± 2s 1,170-1,753
				1,204-1,453
				1,110-1,620
5% org.stof	± s	1,222-1,453		
	± 2s	1,132-1,604		
<u>ONDERGROND</u>				
10% lutum		60% lutum	10% lutum	60% lutum
± s 1,498-1,768		1,153-1,307	0% org.stof	± s 1,440-1,643
± 2s 1,392-1,943		1,089-1,400		± 2s 1,356-1,768
			1% org.stof	± s 1,408-1,603
				± 2s 1,328-1,721
				1,207-1,347
				1,147-1,430

[‡]) In de bovengrond is de invloed van de lutum en in de ondergrond de invloed van de organische stof verwaarloosbaar klein.

Fig.4. Dichtheden in rivierkleibovengronden, afhankelijk van het organische-stofgehalte

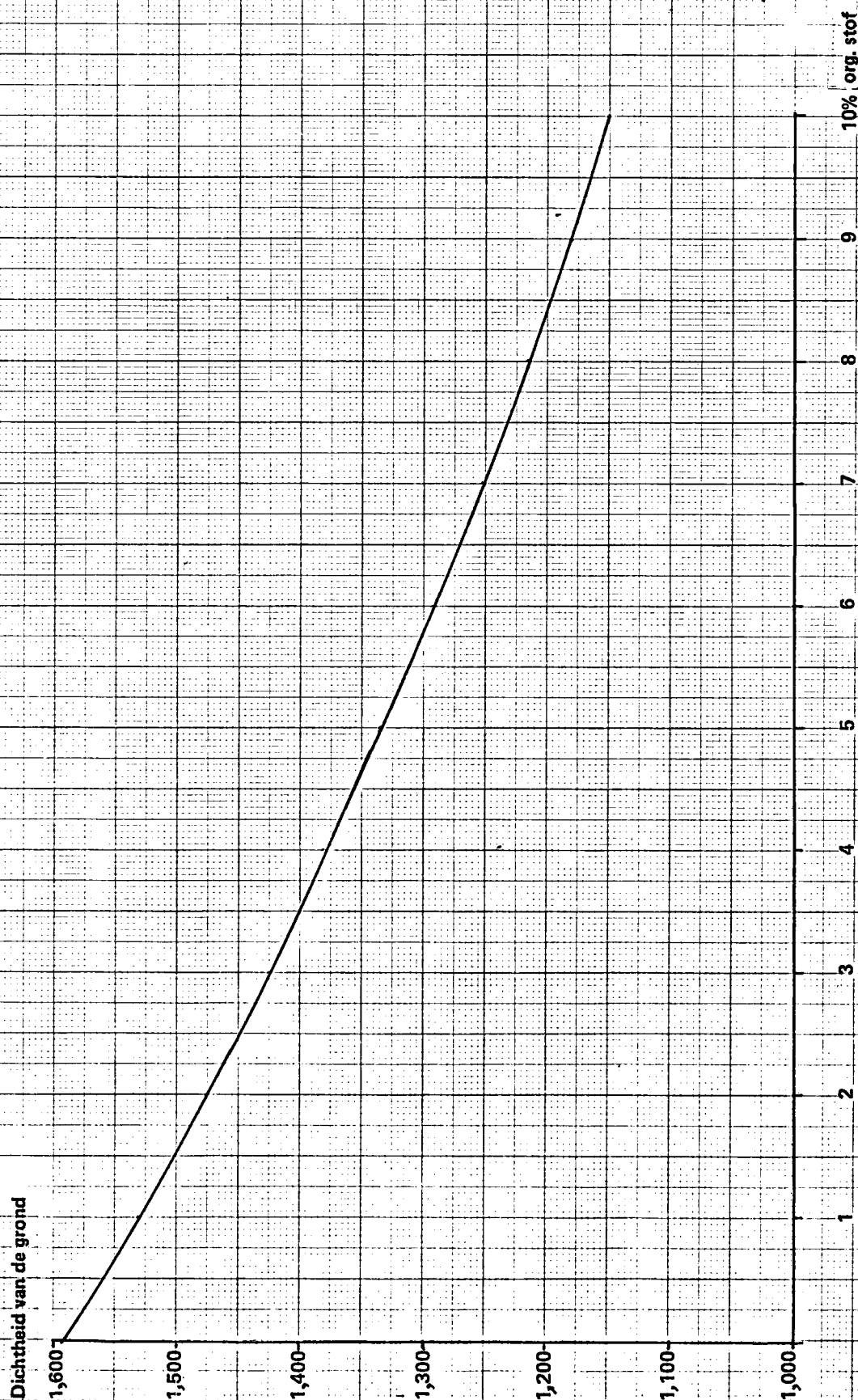


Fig. 5. Dichtheden in zeekleibovengronden, afhankelijk van het organische-stof- en lutumgehalte

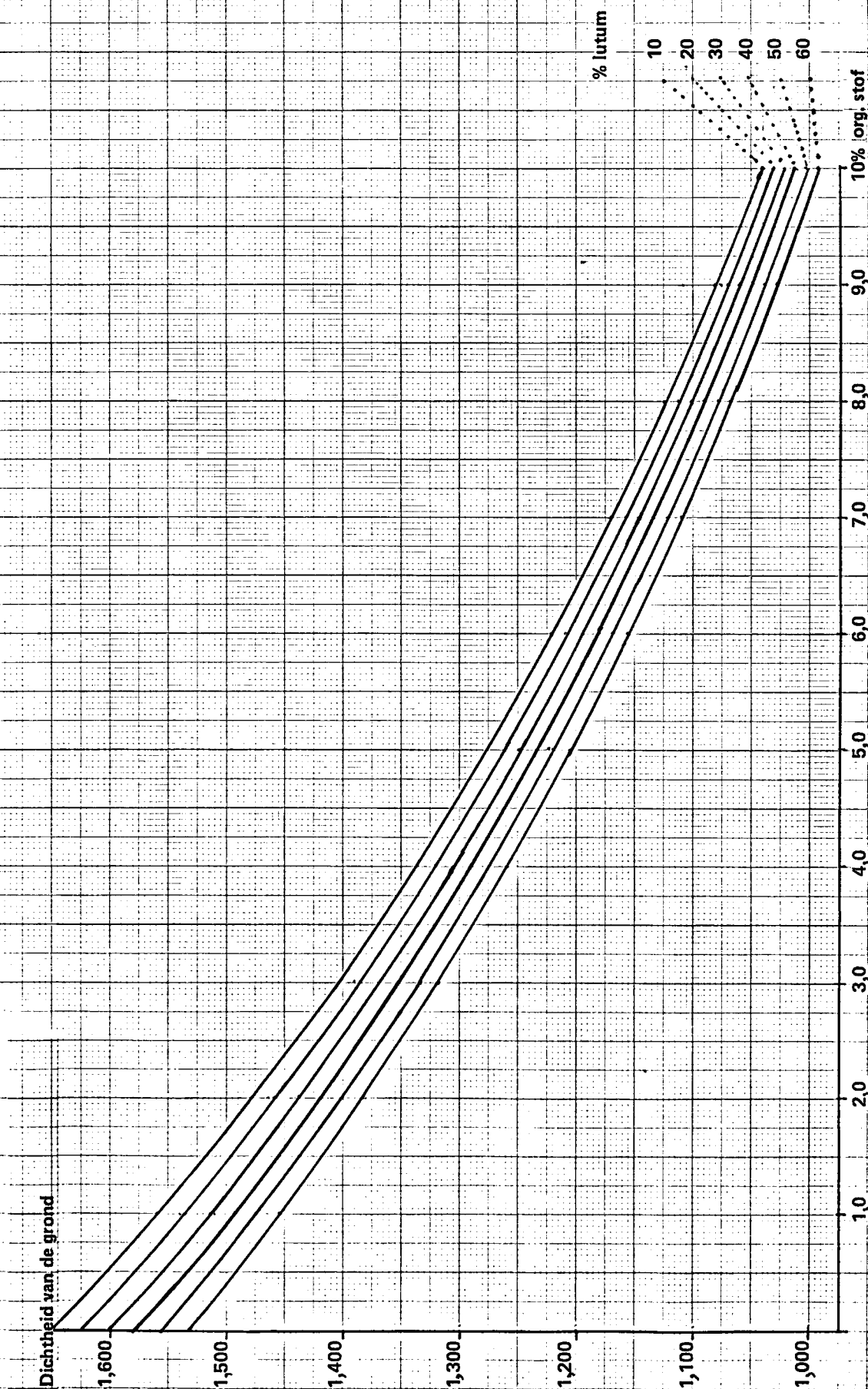


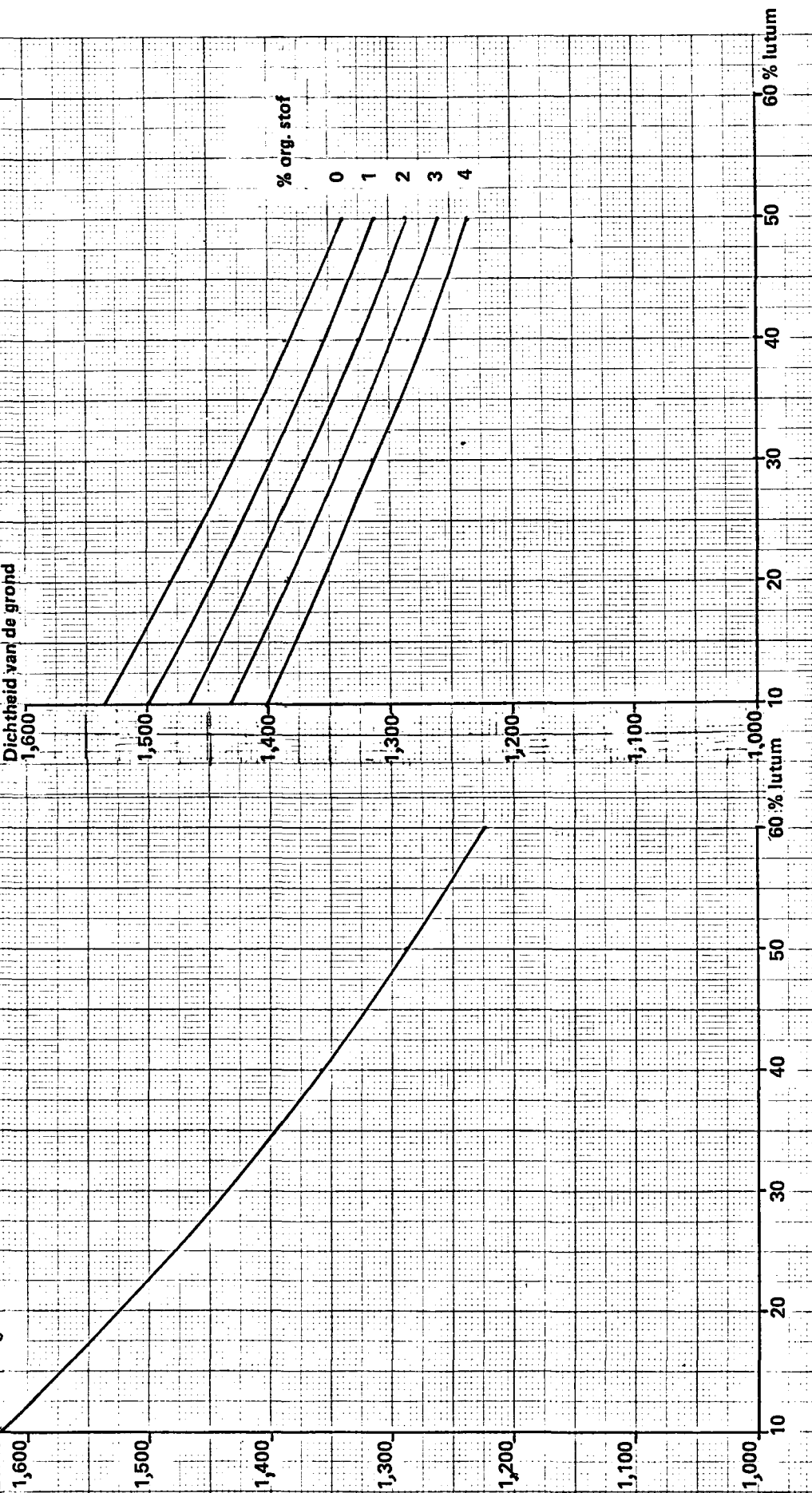
Fig. 6 Dichtheden in ondergronden

a. Rivierklei-ondergronden

De invloed van organische stof is verwaarloosbaar klein

$$\text{Spec. Vol} = 0,576 + 0,0040 \text{ lutum}$$

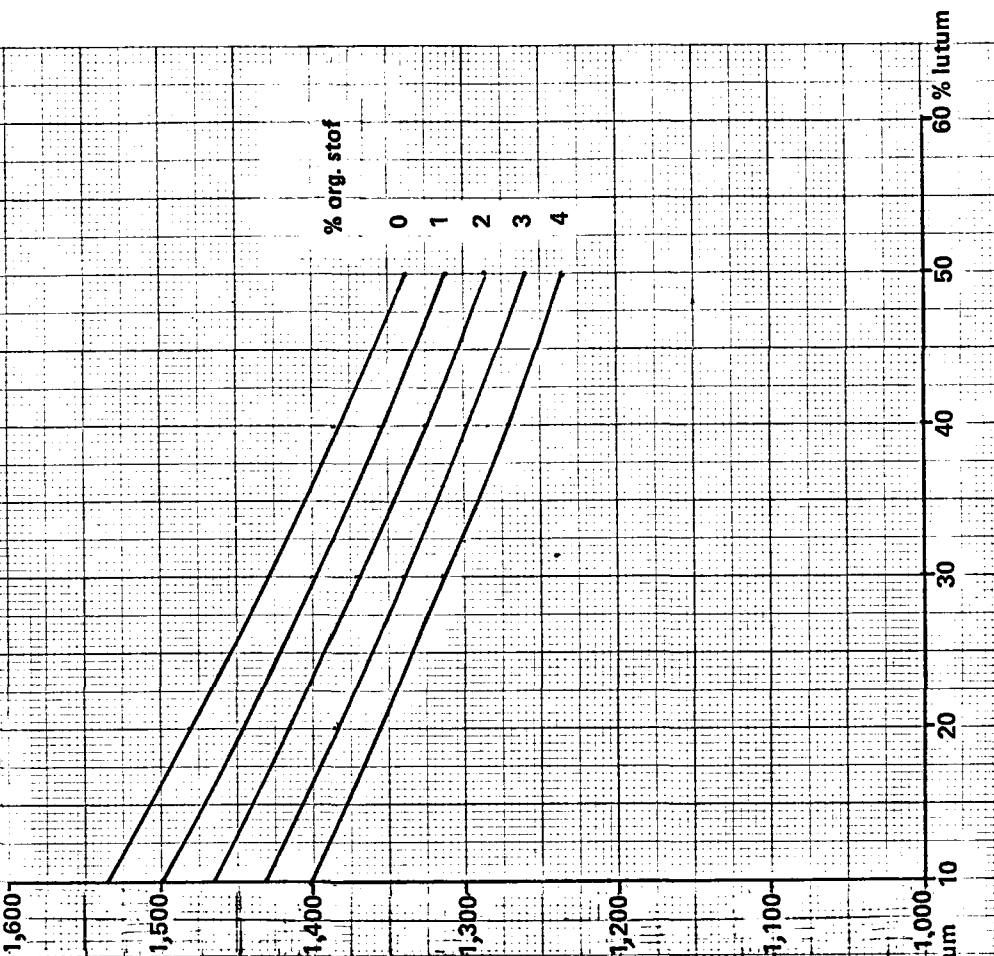
Dichtheid van de grond



b. Zeeklei-ondergronden

$$\text{Spec. Vol} = 0,628 + 0,0155 \text{ org. stof} + 0,0024 \text{ lutum}$$

Dichtheid van de grond



5 SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Bij de bewerking van de dichtheid van zandgronden is een indeling naar horizonten zeer nuttig gebleken. Het gehalte aan organische stof heeft echter een grotere invloed. Een hoger gehalte gaat samen met een lagere dichtheid van de grond. De natuurlijke ligging van de gronden ten opzichte van het grondwater was te van- gen in een indeling in twee groepen, nl. Gt-nat en Gt-droog. Ook deze indeling had praktische betekenis. Het leemgehalte bleek al- leen invloed te hebben op de dichtheid van de grond bij de B3+BC- horizonten van de groep Gt-droog. De gronden met een hoog leemge- halte hadden hier een aanzienlijk lagere dichtheid dan die met een laag leemgehalte. Bij de beekerd- en broekerdgronden bleek het- zelfde voor de C1g+C1-horizonten. Betreft men bij deze laatste groep het lutumgehalte in het onderzoek, dan hebben alleen de gronden met een gehalte van meer dan 8% een lagere dichtheid.

Extra aandacht werd besteed aan de dichtheid van de grond van 23-37 cm om de mogelijke aanwezigheid van verdichtingen onder de bouwvoor te kunnen achterhalen. Aan de hand van figuur 1, waarin het verband tussen de dichtheid van de grond, organische-stofge- halte en 40 resp. 45 volumeprocenten poriën is aangegeven, werd de mate van pakking van deze laag nagegaan. Van alle in het onder- zoek betrokken gronden werd het percentage dicht en zeer dicht ge- pakte lagen berekend. Voor de groep natte gronden is het percen- tage dicht en zeer dicht gepakte lagen aanzienlijk hoger dan die van de groep droge gronden, behalve in de klasse met 5-8% orga- nische stof. Dit percentage neemt sterk af bij een toename van de organische stof.

Tenslotte is nagegaan of er voor de C-horizonten van droge gron- den ook een samenhang bestaat tussen de dichtheid van de grond en de diepte. Voor een vergelijking tussen diepe en ondiepe monsters werd voor de gronden met Gt VI een grens gelegd bij 80 cm en voor die met Gt VII een grens bij 120 cm, op basis van het niveauver-

schil van de gemiddelde hoogste grondwaterstanden. De dichtheden van de diepe monsters blijken het grootst te zijn: gemiddeld 1,650 voor de diepe t.o.v. 1,596 voor de ondiepe.

Evenals bij de zandgronden heeft een indeling naar horizonten bij de Limburgse löss duidelijk betekenis. Tot in de BC+B3-horizonten blijkt de dichtheid van de grond toe te nemen, in de C1 en C2 neemt het weer af. Bij de laatsten komt echter een zeer ruime spreiding voor die, gezien het geringe aantal waarnemingen, tot nader onderzoek nodigt.

Voor de bewerking van de zee- en rivierkleigronden is een scheiding gemaakt naar boven- en ondergronden. Voor de rivierklei-bovengronden bleek het organische-stofgehalte de voornaamste factor die bij toename de dichtheid van de grond verlaagt. Voor de zeeklei-bovengronden veroorzaken zowel organische stof als lutum een vermindering van de dichtheid van de grond. Voor de rivierklei-ondergronden bleek door het lage organische-stofgehalte alleen lutum de dichtheid van de grond te verminderen. Voor de zeeklei-ondergronden waren beide genoemde factoren in het spel. De figuren 4, 5 en 6 geven een duidelijk inzicht in deze resultaten.

Voor de oude rivierkleigronden is noch lutum noch organische stof significant van invloed. Hier voldoet de gemiddelde waarde het beste.

LITERATUUR

- Adams, W.A., 1973. The effect of organic matter on the bulk and true densities of some uncultivated podzolic soils. *Journal of Soils Science* 24: 10-17.
- Bakker, H.de en J.Schelling, 1966. Systeem van bodemclassificatie voor Nederland. Pudoc, Wageningen.
- Boekel, P., 1961. De bepaling van het soortelijk gewicht van de grond. I.B.-rapport IX. Groningen.
- Boekel, P., 1976. De dichtheid van de vaste delen in samenhang met de samenstelling van de grond. Stencil 0905. I.B.-Groningen.
- Cultuurtechnisch Vademecum, z.j. Cultuurtechnische Vereniging.
- Curtis, R.O. and B.W.Post, 1964. Estimating bulk density from organic matter content in some Vermont Forest soils. *Soil Science Soc. Am.Proc.* 28: 285-286.
- Hidding, A.P. and C.v.d.Berg, 1961. The relation between pore volume and the formation of root systems in soils with sandy layers. *Trans. 7th Int.Congr.Soil Sci. Madison* 1, 38: 369-373. *Techn.Bull.* 24 *Inst.Land and Water Management Res.*, Wageningen.
- Kortleven, J., 1970. Volumegewicht, poriënvolume en humusgehalte. Stencil C7759, I.B.-Groningen.
- O'Connell, D.J., 1975. The measurement of apparent specific gravity of soils and its relationship to mechanical composition and plant root growth. *Uit: Soil Physical conditions and crop production. Technical bulletin 29, Min.Agr.Fish and Food, London.*
- Poelman, J.N.B., 1975. Dichtheid van de vaste delen van rivierkleigronden. *Boor en Spade* 19: 32-38. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Poelman, J.N.B., 1979. Uit eenvoudige grootheden af te leiden pF-waarden voor zee- en rivierkleigronden. Rapport nr. 1492. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Proefstation voor de Rundveehouderij, 1980. Handboek voor de Rundveehouderij.
- Reeve, M.J., P.D.Smith and A.J.Thomasson, 1973. The effect of density on water retention properties of field soils. *Journal of Soil Science* 24: 355-367.

Schothorst, C.J., 1968. De relatieve dichtheid van humeuze gronden.

De Ingenieur, 80 no. 2.

Soane, B.D., 1975. Studies on some physical properties in relation to cultivation and traffic. Uit: Soil Physical conditions and crop production. Technical Bulletin 29. Min.Agr.Fish and Food, London.

Valk, G.G.M. van der en F.A.M.de Haan, 1969. Gevolgen van bodemverdichting voor de produktie van bloembolgewassen. Nota 498, I.C.W.

Valk, G.G.M. van der en F.A.M.de Haan, 1971. Invloed van de dichtheid van de grond en van de grondbewerkingsdiepte op de produktie van enkele bloembollengewassen. Nota 589, I.C.W.

Zuur, A.J., 1958. Bodemkunde der Nederlandse bedijkingen en droogmakerijen. Deel C: Het watergehalte, de indroging en enkele daarmee samenhangende processen. Kampen.

47

ISBN 90 327 0112 6