

S.F. 1970 I

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

Rapport nr. 1970

**UIT EIGENSCHAPPEN VAN DE GROND AF TE LEIDEN
VOCHTKARAKTERISTIEKEN VAN ZANDLAGEN IN HET
ZEEKLEIGEBIED**

E.J. van Zuilen
J.N.B. Poelman
C. Hoekstra

Stichting voor Bodemkartering, Wageningen, november 1986

4 MAART 1987

JSN 257014 *

	INHOUD	Blz.
1	INLEIDING	7
2	BESCHIKBAAR MATERIAAL	11
2.1	Herkomst van de bemonsterde profielen en de bovengrond- en ondergrondmonsters	11
2.2	Verdeling van de profielen en monsters over de bodemeenheden	11
2.3	Aard en indeling van de verzamelde gegevens van de monsters	13
3	BEWERKING VAN DE GEGEVENS MET BEHULP VAN MEERVOUDIGE LINEAIRE REGRESSIE-ANALYSE	15
4	RESULTATEN VAN DE BEWERKING	19
4.1	Inleiding	19
4.2	Gebruikte variabelen	19
4.3	Regressievergelijkingen	22
4.4	Overzicht van de basisgegevens voor de re- gressie-analyses	30
5	VOORBEELD VAN DE BEREKENING VAN EEN VOCHTKARAKTERISTIEK	31
6	STANDAARDVOCHTKARAKTERISTIEKEN	35
7	SAMENVATTING	37
	LITERATUUR	41

TABELLEN

1	Verdeling van de bemonsterde profielen en de bovengrond- en ondergrondmonsters per kaartblad	12
2	Verdeling van de bemonsterde profielen en de bovengrond- en ondergrondmonsters over de sub-groepen	12
3	Bovengrondmonsters. Resultaten van de regressie-analyses zonder zandmediaan	24
4	Ondergrondmonsters. Resultaten van de regressie-analyses zonder zandmediaan	25
5	Bovengrondmonsters. Resultaten van de regressie-analyses met zandmediaan	26
6	Ondergrondmonsters. Resultaten van de regressie-analyses met zandmediaan	27
7	Berekening van de volumefracties water voor een kleiarne bovengrond, met gebruik van tabel 3	32

AFBEELDINGEN

1	Voorbeeld van een vocht karakteristiek berekend voor een bovengrond van kleiarm zand	33
---	--	----

AANHANGSELS

1	Bovengrondmonsters. Gemiddelde waarden van de gebruikte variabelen en aantal monsters, per klasse van dichtheid van de grond en per lutum-klasse	43
2	Ondergrondmonsters. Gemiddelde waarden van de gebruikte variabelen en aantal monsters, per klasse van dichtheid van de grond en per lutum-klasse	45
3	Standaardvocht karakteristieken voor kleiarm en kleilig zand van boven- en ondergrond, bij drie waarden van dichtheid van de grond	47

1 INLEIDING

In rapport nr. 1895 (Van Zuilen et al., 1985) is een onderzoek beschreven over vocht karakteristieken (voorheen pF-curven genoemd) van kleilagen van het Nederlandse zeeleigebied. Door bewerking via meervoudige lineaire regressie-analyse werd daarbij verband gelegd tussen het watergehalte van de grond bij acht drukhoogten en de eigenschappen van de grond (variabelen), die op dat watergehalte een belangrijke invloed kunnen hebben.

Doel van het onderzoek was met zo eenvoudig mogelijke regressievergelijkingen een betrouwbare vocht karakteristiek te voorspellen uit zo mogelijk goed en gemakkelijk te schatten of te bepalen variabelen. Op die wijze kan een meer algemene betekenis en toepassing worden gegeven aan de beschikbare individuele bemonsteringen. Dat is van belang omdat het bemonsteren en het bepalen van de vocht karakteristiek vrij veel tijd en geld vragen. De bewerking resulteerde in goed bruikbare sets van telkens acht regressievergelijkingen voor bovengrondmonsters, gerijpte ondergrondmonsters en "niet-gerijpte" ondergrondmonsters met een dichtheid van stoofdroke grond¹⁾ $>0,900 \text{ g.cm}^{-3}$. Uit het organische-stofgehalte, het lutumgehalte van de minerale delen en het massiek volume (d.i. de reciproke van de dichtheid) kan met de vergelijkingen het massiek watergetal²⁾ worden berekend voor de drukhoogten h van -2,5, -10, -30, -100, -200, -500, -2500 en -16 000 cm (pF 0,4; 1,0; 1,5; 2,0; 2,3;

¹⁾ Onder dichtheid van stoofdroke grond ρ_d , korthedshalve vaak dichtheid van de grond genoemd, wordt in dit rapport verstaan: massa van de grond (g) na drogen bij 105 °C per volume-eenheid (cm^3) van de veldvochtige grond.

²⁾ Het (massiek) watergetal w is de massa van het water (g), gedeeld door de massa van stoofdroke grond (g).

2,7; 3,4 en 4,2). Vermenigvuldiging van de watergetallen met de waarde van de dichtheid geven dan de volumefracties water voor de acht drukhoogten, die tezamen de vocht karakteristiek leveren. De berekende poriënfractie kan daarbij als aanvullend gegeven worden bepaald.

Dit rapport sluit geheel aan op voornoemd onderzoek. Het geeft een verslag van een vergelijkbaar onderzoek, nu voor zandlagen in het zee kleigebied, eveneens verricht door ordening, selectie en bewerking via meervoudige lineaire regressie-analyse van alle tot en met 1982 beschikbare monstergegevens. Als zandlagen gelden minerale lagen met een lutumgehalte van de minerale delen $<0,08 \text{ g.g}^{-1}$ (ofwel $<8\%$) en een leemgehalte van hoogstens $0,50 \text{ g.g}^{-1}$ (50%); het organische-stofgehalte kan, afhankelijk van het lutumgehalte, dan hoogstens ca. $0,16 \text{ g.g}^{-1}$ (16%) bedragen maar is in dit onderzoek steeds duidelijk lager.

In een eerder rapport van Krabbenborg et al. (1983) zijn reeds resultaten vermeld van een dergelijk onderzoek voor zandlagen in het zee kleigebied. Het betreft enerzijds A- + C-horizonten van kalkhoudende vlakvaaggronden (geestgronden), voorkomend langs de kuststrook van Noord- en Zuid-Holland, en anderzijds kalkrijke zeezanden (plaatzanden; C-, D- en G-horizonten), vooral voorkomend onder een kleidek in het zuidwestelijk zee kleigebied. Als verklarende variabelen zijn daarbij het organische-stof- en leemgehalte, de mediaan van het zanddeel M_z (Stibokaterm is M50) en het massiek volume gebruikt.

Het onderhavige onderzoek is gebaseerd op zowel een groter aantal als wat scherper geselecteerde monsters, die ook afkomstig zijn uit meer bodemeenheden (subgroepen). Bovendien heeft de bewerking geleid tot een enigszins andere keuze van verklarende variabelen. Omdat een soortgelijke werkwijze is gevolgd als bij de kleilagen, wordt voor een beschrijving van bepaalde onderdelen korthedshalve verwezen naar het rapport van Van Zuilen et al. (1985), met name voor de probleemstelling, de bemonstering en analyse, de selectie van het materiaal en ten

dele ook de aanvulling van de gegevens. Een literatuurbespreking is eveneens in dat rapport te vinden.

In de regressievergelijkingen waartoe het onderzoek heeft geleid, kunnen gemiddelde of anderszins karakteristieke waarden voor de verklarende variabelen worden ingevoerd. De zo berekende vocht karakteristieken worden standaardvocht karakteristieken genoemd. Deze kunnen b.v. bij karteringen van uiteenlopende schaal worden gebruikt, eventueel ook in combinatie met of als aanvulling op gegevens over vocht karakteristieken die met geheel andere methoden zijn verkregen (b.v. Wösten et al., 1983, 1986).

2 BESCHIKBAAR MATERIAAL

2.1 Herkomst van de bemonsterde profielen en de bovengrond- en ondergrondmonsters

Bij de uiteindelijke bewerking zijn, na een vergelijkbare kritische selectie als bij de kleilagen, de gegevens van 41 bovengrondmonsters en 164 ondergrondmonsters betrokken. Deze zijn afkomstig van 114 profielen die tot en met 1982 in het zeeleigebied zijn bemonsterd. Tot de bovengrondmonsters zijn gerekend bemonsteringen van A1- en AC-horizonten en tot de ondergrondmonsters bemonsteringen van C-, CG-, D-, DG- en G-horizonten.

Een regionale indeling en toetsing van het materiaal zoals bij de kleilagen toegepast, moest achterwege blijven wegens het beperkte aantal monsters.

Tabel 1 toont de verdeling per kaartblad van de profielen en monsters. Het overgrote deel van de bovengrondmonsters is afkomstig uit Zuid-Holland en het noordelijk deel van Noord-Holland en dan voornamelijk de kuststreken daarvan; uit Zeeland komen slechts enkele monsters. De twee eerstgenoemde gebieden zijn ook goed vertegenwoordigd bij de ondergrondmonsters, echter Zeeland veel sterker met 65 monsters ofwel ca. 40%, met name als plaatszanden.

2.2 Verdeling van de profielen en monsters over de bodemeenheden

In tabel 2 is de spreiding van de bemonsterde profielen en de monsters over de subgroepen weergegeven.

Van de profielen behoort ruim 80% tot de vaaggronden. Bij de bovengrondmonsters betreft dit uiteraard alleen vlakvaaggronden (ruim 50% van de monsters), bij ondergrondmonsters ook andere subgroepen van de vaaggronden. Ca. 87% van de ondergrond-

Tabel 1 Verdeling van de bemonsterde profielen en de bovengrond- en ondergrondmonsters per kaartblad

Kaart- blad	Profielen		Monsters					
			bovengrond (A- + AC- horizonten)		ondergrond (C(G)- + D(G)- + G-horizonten)		totaal	
	n	%	n	%	n	%	n	%
1	5	4,4			5	3,0	5	2,4
5	1	0,9			1	0,6	1	0,5
6	1	0,9			2	1,2	2	1,0
14	17	14,9	9	22,0	20	12,2	29	14,1
19	9	7,9	8	19,5	18	11,0	26	12,7
20	6	5,3	1	2,4	5	3,0	6	2,9
24	2	1,8	2	4,9	3	1,8	5	2,4
25	2	1,8			3	1,8	3	1,5
30	11	9,6	12	29,3	4	2,4	16	7,8
31	2	1,8			3	1,8	3	1,5
36	1	0,9			1	0,6	1	0,5
37	13	11,4	5	12,2	19	11,6	24	11,7
42	1	0,9			2	1,2	2	1,0
43	6	5,3			10	6,1	10	4,9
44	4	3,5			6	3,7	6	2,9
48	13	11,4	2	4,9	22	13,4	24	11,7
49	1	0,9			3	1,8	3	1,5
54	14	12,3	2	4,9	26	15,9	28	13,7
55	5	4,4			11	6,7	11	5,4
Totaal	114	100,3	41	100,1	164	99,8	205	100,1

Tabel 2 Verdeling van de bemonsterde profielen en de bovengrond- en ondergrondmonsters over de subgroepen

Bodemeenheden (subgroepen)	Profielen		Monsters					
			bovengrond (A- + AC- horizonten)		ondergrond (C(G)- + D(G)- + G-horizonten)		totaal	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Bruine beekeerdgronden	1	0,9	3	7,3	2	1,2	5	2,4
Gooreerdgronden	5	4,4	7	17,1	6	3,7	13	6,3
Zwarte beekeerdgronden	4	3,5	5	12,2			5	2,4
Tochteerdgronden	1	0,9			1	0,6	1	0,5
Woudeerdgronden	6	5,3	1	2,4	9	5,5	10	4,9
Leekeerdgronden	1	0,9			1	0,6	1	0,5
Zwarte enkeerdgronden	2	1,8	4	9,8	1	0,6	5	2,4
Tuineerdgronden	1	0,9			1	0,6	1	0,5
Gorsvaaggronden	1	0,9			1	0,6	1	0,5
Vlakvaaggronden	44	38,6	21	51,2	68	41,5	89	43,4
Nesvaaggronden	8	7,0			13	7,9	13	6,3
Poldervaaggronden	39	34,2			60	36,6	60	29,3
Ooivaaggronden	1	0,9			1	0,6	1	0,5
Totaal	114	100,2	41	100,0	164	100,0	205	99,9

monsters behoort tot de vaaggronden.

Voor al bij de bovengrondmonsters komen ook subgroepen voor die niet karakteristiek zijn voor het zeeleigebied: bruine en zwarte beekeerd-, gooreerd- en zwarte enkeerdgronden. Omdat de betreffende monsters afkomstig zijn uit mariene afzettingen, zijn ze toch bij het onderzoek betrokken. Bij de indeling naar subgroep moest overigens vrijwel steeds worden uitgegaan van gegevens uit profielbeschrijvingen, inzendformulieren bij de grondmonsters e.d.

2.3 Aard en indeling van de verzamelde gegevens van de monsters

Voor een beschrijving van de noodzakelijke aanvulling van de gegevens en de selectieprocedure voor de monsters wordt respectievelijk grotendeels en geheel verwezen naar het rapport van Van Zuilen et al. (1985, hoofdstuk 5) over de kleilagen. Hier worden alleen die overige aspecten vermeld die relevant zijn voor het onderhavige onderzoek.

De verzamelde gegevens omvatten in de eerste plaats de gemeten gegevens van de granulaire analyses, de watergehalten bij acht drukhoogten en de dichtheid van de grond. Relevante andere gegevens per monster, zoals kaartbladnummer, grondwatertrap (Gt) en monsterdiepte, zijn eveneens opgenomen. Daarnaast zijn afgeleide gegevens per monster berekend, met name de zandmediaan M50, de dichtheid van de vaste fase ρ_{m+h} , de poriënfractie ϕ_p en het massiek volume v (de reciproke van de dichtheid van de grond ρ_d). De dichtheid van de vaste fase is berekend met de volgende formule (Poelman, 1975):

$$\rho_{m+h} \text{ (g.cm}^{-3}\text{)} = \frac{1}{\frac{f_h}{1,47} + \frac{f_{Ld}}{2,88} + \frac{1 - f_h - f_{Ld}}{2,66}} \quad \text{waarin:}$$

f_h = organische-stofgehalte (g.g⁻¹)

f_{Ld} = lutumgehalte van stoofdrome grond (g.g⁻¹)

Voor de berekening van de poriënfractie geldt dan de formule:

$$\phi_p \text{ (cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}\text{)} = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_{m+h}}$$

Ten behoeve van de bewerking is het geselecteerde monstermateriaal geordend volgens een eenvoudig coderingssysteem, waarmee de monsters kort zijn gekarakteriseerd. Per coderingseenheid zijn van de monsters de bovengenoemde gegevens vastgelegd en in het computerbestand ingevoerd. De code bevat alleen subgroep, horizont, organische-stofklasse en textuurklasse. Deze indelingen zijn gebaseerd op de afzonderlijke handleiding bij de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 (Steur & Heijink, 1983). In afwijking hiervan werd binnen de A1-horizont, bij meer bemonsteringen onder elkaar, eventueel nog een opsplitsing in subhorizonten gebruikt.

Anders dan bij de kleilagen zijn de rijpingstoestand en de eigenschap wèl of niet knip/knippig bij dit onderzoek buiten beschouwing gebleven.

3 BEWERKING VAN DE GEGEVENS MET BEHULP VAN MEERVOUDIGE LINEAIRE REGRESSIE-ANALYSE

Op vergelijkbare wijze als voor de kleilagen is via meervoudige lineaire regressie-analyse nagegaan, welke verklarende variabelen een voldoende significante en belangrijke invloed hebben op het watergehalte bij de onderscheiden drukhoogten. De bewerking is uitgevoerd op de VAX-11/750 computer met het programmapakket "Uniform Program Package" (UPP) (Hilhorst, 1983), dat weliswaar gebruikersvriendelijk maar ook enigszins beperkt is in mogelijkheden en doelmatigheid.

Als uitgangspunt is in principe een beperkt model gekozen met een aantal kwantitatieve continue variabelen en één kwalitatieve variabele. Tot de kwantitatieve variabelen behoren organische-stofgehalte (g.g^{-1}), lutumgehalte van de minerale delen (g.g^{-1}), gehalten aan deeltjes 2-16 μm en 16-50 μm van de minerale delen (g.g^{-1}), zandmediaan M50 (μm) en massiek volume ($\text{cm}^3.\text{g}^{-1}$). Carbonaatgehalte en pH zijn bij voorbaat weggelaten op grond van de resultaten bij de kleilagen. Om dezelfde reden en wegens het beperkte aantal monsters van de te vormen groepen, zijn de kwalitatieve variabelen horizonten binnen de bovengrond en de ondergrond, Gt's (combinaties) en regio's niet in aanmerking genomen.

Ook de onderscheiding naar subgroep is uiteindelijk buiten beschouwing gebleven. Met name voor de bovengrond zou het beschikbare aantal monsters daartoe ook ontoereikend zijn. Bovendien zou een toetsing van de betekenis van verschillen in geologische formatie van meer belang zijn. Zo zijn bijvoorbeeld de monsters van de vlakvaaggronden uit verschillende formaties afkomstig. Gegevens over geologische formatie zijn echter in het bestand niet opgenomen, mede omdat deze gegevens voor een deel van het materiaal ontbraken. Uit hoofdstuk 4 blijkt dat de verkregen regressievergelijkingen, zonder rekening te houden met subgroep of geologische formatie, toch goed bruikbaar zijn. In het model is als gevolg hiervan de eventuele splitsing in bovengrond- en ondergrondmonsters als enige kwalitatieve variabele gebruikt.

Als beoordelingsmaatstaven voor de diverse onderzochte regressiemodellen zijn voornamelijk gebruikt de rest-standaardafwijking s (wortel uit de restvariantie) die beschouwd kan worden als maat voor de voorspelfout van het model en de grootte V^2 . De laatste is de fractie van de totale variantie die verklaard wordt door het toegepaste model en wordt gebruikt als maat voor de kwaliteit van het model. Bij de kleilagen (Van Zuilen et al., 1985) werd als norm aangehouden, dat bij de regressievergelijkingen van minstens zes van de acht drukhoogten s niet groter mag zijn dan 0,030 à 0,035 (g water per g stooftroge grond) en V^2 minimaal 0,90 moet bedragen. Bij het onderhavige onderzoek kon de norm voor V^2 niet worden gehandhaafd. Hier is aangehouden dat V^2 bij minstens drie à vier drukhoogten 0,80 of hoger moet zijn en bij de overige drukhoogten minimaal 0,60. Overigens wordt deze norm bij de gepresenteerde regressievergelijkingen (hoofdstuk 4) voor de bovengrondmonsters ruimschoots overtroffen.

Dat men is gedwongen tot een lagere norm voor V^2 hangt samen met de duidelijke stoelvorm van de vocht karakteristiek voor zandlagen. In het middentraject van de curve (drukhoogten van -30 tot -500 cm) resulteert een relatief kleine afname van de drukhoogte al in een duidelijk kleinere volumefractie water. Bij kleine drukhoogten (-2500 en -16 000 cm) zijn de volumefracties water doorgaans zodanig klein, dat zelfs een lage waarde van s al tot relatief lage waarden van V^2 leidt.

Aanvullend is de betekenis van de diverse kwantitatieve variabelen beoordeeld met behulp van de t -waarden van de regressiecoëfficiënten. Daarmee zijn de nulhypotesen voor de betreffende coëfficiënten getoetst, d.w.z. er is nagegaan of de betreffende variabelen een significante invloed hebben (t -toets tweezijdig, bij een onbetrouwbaarheidsdrempel 0,05). Het belang van een splitsing in boven- en ondergrond is aanvullend in diverse stadia van de bewerking bepaald met de F -toets (onbetrouwbaarheidsdrempel 0,05, eenzijdig).

Analoog aan het onderzoek voor de kleilagen is bij de regressieanalyses het massiek volume v (in $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) als maatstaf

voor de ruimtelijke opbouw van de grond gebruikt in plaats van de dichtheid van de grond ρ_d (g.cm^{-3}). Evenzo is het massiek watergetal w (g.g^{-1}), en niet de volumefractie water θ ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$), toegepast als grootheid voor het watergehalte.

4 RESULTATEN VAN DE BEWERKING

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt in eerste instantie besproken welke variabelen in aanmerking komen om een voldoende voorspellende waarde van de regressiefunctie te bereiken (paragraaf 4.2).

Het onderzoek leidde tot aparte sets regressievergelijkingen voor bovengrond- en voor ondergrondmonsters. Volledigheidshalve zijn deze vergelijkingen vermeld zowel met als zonder toepassing van de mediaan van het zand (M50) als verklarende variabele (paragraaf 4.3).

Tenslotte wordt een samenvatting gegeven van de basisgegevens waarop de definitieve regressie-analyses zijn gebaseerd.

4.2 Gebruikte variabelen

Bij de diverse regressie-analyses, uitgevoerd met verschillende combinaties van verklarende variabelen, is gebleken dat de opsplitsing in bovengrond- en ondergrondmonsters gehandhaafd diende te worden. Toepassingen van de F-toets toonden bij zeven van de acht drukhoogten steeds een significant tot zeer sterk significant verschil tussen de twee groepen aan. Alleen bij een drukhoogte van -2500 cm (pF 3,4) was het verschil niet significant òf was de regressie-analyse voor de bovengrond en daarmee de toetsing, niet mogelijk wegens een te klein aantal monsters. De bovengrond is in sterkere mate dan de ondergrond onderhevig aan veranderingen door invloeden van weer, mens, plant en dier. De gebruikte bovengrondmonsters hebben tevens een duidelijk hoger gemiddeld organische-stofgehalte, een grotere gemiddelde mediaan van het zand, een lagere gemiddelde dichtheid van de grond en, onder invloed van grondbewerking

e.d., ook een grotere spreiding in dichtheid. Bij de bovengrond behoort ook een kleiner percentage van de monsters tot de groep kleiig zand dan bij de ondergrond.

Op één uitzondering na werd steeds een significante invloed van het organische-stofgehalte geconstateerd. Alleen bij een drukhoogte van -2,5 cm (pF 0,4) bij de ondergrondmonsters werd voor de betreffende regressiecoëfficiënt de nulhypothese niet verworpen (t -toets tweezijdig, bij een onbetrouwbaarheidsdrempel 0,05).

De invloed van het lutumgehalte van de minerale delen is significant aangetoond bij de helft of meer van de drukhoogten, met name bij de kleinere drukhoogten (hogere vochtspanningen). Omdat in die gevallen bovendien de regressiecoëfficiënten relatief groot zijn, is deze variabele in het definitieve regressiemodel gehandhaafd.

De betekenis van zowel het gehalte aan deeltjes 2-16 μ m als het gehalte aan deeltjes 16-50 μ m (eveneens van de minerale delen) bleek bij de regressie-analyses verschillend te zijn voor bovengrond- en ondergrondmonsters. Bij de bovengrondmonsters is een significante invloed van de twee variabelen vastgesteld bij respectievelijk twee en drie à vier drukhoogten. Weglaten van de variabelen had, met name in het middentraject van de vocht-karakteristiek, een aanvaardbaar negatief effect op de voorspellende waarde van het model. Bij de ondergrondmonsters was de invloed van beide variabelen significant bij zes drukhoogten. Bij elimineren van de variabelen werd daarbij niet meer voldaan aan het gestelde criterium voor V^2 ; deze grootte had dan met name bij de kleine drukhoogten te lage waarden. Mede vanwege de uniformiteit van de regressievergelijkingen zijn beide variabelen ook voor de bovengrond gehandhaafd.

Daarnaast is de mogelijkheid nagegaan om het leemgehalte te gebruiken in plaats van de drie aparte variabelen lutumgehalte en gehalten aan deeltjes 2-16 μ m en 16-50 μ m. De over de gehele vocht-karakteristiek verhoogde waarden van s voldeden dan nog wel aan het gestelde criterium. Voor de ondergrondmonsters

was dat echter niet het geval met V^2 , waarvoor vooral in het bovendeeel van de curve duidelijk te lage waarden werden verkregen. Bij de definitieve regressie-analyses is daarom van deze vervanging afgezien.

Het massiek volume als maatstaf voor de ruimtelijke opbouw van de grond, kan in het model voor de zandlagen zeker niet gemist worden. Wel is de invloed ervan minder vaak significant en minder groot gebleken dan bij de kleilagen in het zeeleigebied (Van Zuilen et al., 1985). Een significante invloed is voor de bovengrondmonsters aangetoond bij de drukhoogten -2,5 t/m -30 cm (pF 0,4 t/m 1,5) en voor de ondergrondmonsters bij de drukhoogten -2,5 t/m -500 cm (pF 0,4 t/m 2,7).

De betekenis van de zandmediaan (M50) is nog een apart punt van overweging geweest. Het gemiddelde van de zandmediaan is voor de bovengrondmonsters $165 \pm 55 \mu\text{m}$ (totale spreiding van 66 tot 300 μm) en voor de ondergrondmonsters $114 \pm 41 \mu\text{m}$ (totale spreiding van 67 tot 290 μm). Aan de ene kant werd voor de bovengrond de nulhypothese: de betreffende regressiecoëfficiënt = 0, alléén verworpen bij een drukhoogte van -30 cm (pF 1,5), maar voor de ondergrond tevens bij de drukhoogten -100 t/m -500 cm (pF 2,0 t/m 2,7). De coëfficiënten hebben in de genoemde gevallen nog redelijk grote waarden. Aan de andere kant echter had het weglaten van de zandmediaan uit het model weinig of geen invloed op de waarden van s en V^2 over de gehele vocht karakteristiek, zowel voor de boven- als voor de ondergrondmonsters. Vermoedelijk is dit laatste een gevolg van de correlatie tussen de zandmediaan en andere variabelen in het model, met name het lutumgehalte en de gehalten aan deeltjes 2-16 μm en 16-50 μm . Ook bij het eerder genoemde onderzoek van zandgronden en veenkoloniale gronden (Krabbenborg et al., 1983) is gebleken dat de zandmediaan eventueel uit het model kan worden weggelaten. Weglaten betekent ook een eenvoudiger model.

De conclusie is dat de regressievergelijkingen zonder zandmediaan als variabele goed bruikbaar zijn en uit praktische overwegingen de voorkeur verdienen. Volledigheidshalve zijn in paragraaf 4.3 de vergelijkingen met zandmediaan toch vermeld.

Daarbij was echter voor de bovengrond de regressie-analyse bij een drukhoogte van -2500 cm niet uitvoerbaar wegens een te klein aantal monsters.

Er wordt uitdrukkelijk op gewezen dat voor het lutumgehalte en de gehalten aan deeltjes 2-16 μm en 16-50 μm de gehalten van de minerale delen zijn gehanteerd, omdat dit aansluit bij de praktijk in analyseverslagen, rapporten bij bodemkaarten, schattingen in het veld e.d.

4.3 Regressievergelijkingen

Op grond van de bovengenoemde resultaten zijn de uiteindelijke regressie-analyses uitgevoerd voor de bovengrond- en de ondergrondmonsters, uitgaande van het model:

$$w = b_0 + b_1 \cdot f_h + b_2 \cdot f_{Lm} + b_3 \cdot f_{2-16,m} + b_4 \cdot f_{16-50,m} + b_5 \cdot v + e(0, \sigma^2)$$

waarin:

w	= massiek watergetal (g water per g stoofdroge grond)
f_h	= organische-stofgehalte (g org. stof per g stoofdroge grond)
f_{Lm}	= lutumgehalte (g per g minerale delen)
$f_{2-16,m}$	= gehalte aan deeltjes 2-16 μm (g per g minerale delen)
$f_{16-50,m}$	= gehalte aan deeltjes 16-50 μm (g per g minerale delen)
v	= massiek volume ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)
e	= toevallige afwijking (g water per g stoofdroge grond) die normaal verdeeld verondersteld wordt met verwachtingswaarde 0 en variantie σ^2
b_0 t/m b_5	= regressiecoëfficiënten

Aanvullend is, zoals in paragraaf 4.2 genoemd, dit model met als extra variabele de zandmediaan als alternatief gebruikt.

Voor elke gekozen drukhoogte gelden eigen regressiecoëfficiënten waarin het effect van een variabele in combinatie met die van de andere variabelen wordt uitgedrukt. De regressie-analyses zijn steeds uitgevoerd voor acht drukhoogten: -2,5, -10,

-30, -100, -200, -500, -2500 en -16 000 cm (pF 0,4; 1,0; 1,5; 2,0; 2,3; 2,7; 3,4 en 4,2).

Per groep heeft dit een set van acht verschillende combinaties van regressiecoëfficiënten opgeleverd. Bij gekozen waarden voor de variabelen kunnen daarmee op eenvoudige wijze de massieke watergetallen bij de acht drukhoogten worden berekend. De watergetallen dienen dan nog te worden omgezet in volumefracties water door vermenigvuldiging met de dichtheid van de grond. Samen bepalen die volumefracties water de vocht karakteristiek van de horizont of laag.

In hoofdstuk 5 is een voorbeeld van zo'n berekening gegeven voor een bovengrond van kleiarm zand.

De tabellen 3 t/m 6 geven de resultaten van de uiteindelijke regressie-analyses voor de beide groepen die conform paragraaf 4.2 zijn gehandhaafd:

1. de bovengrond, totaal 41 monsters (tabel 3 zonder en tabel 5 met zandmediaan)
2. de ondergrond, totaal 164 monsters (tabel 4 zonder en tabel 6 met zandmediaan).

Behalve de regressiecoëfficiënten geven de tabellen: het aantal monsters gebruikt bij iedere drukhoogte, de totale correlatiecoëfficiënt R , de rest-standaardafwijking s , de standaardafwijking van de w -waarden $S(w)$ en de verklaarde fractie van de totale variantie V^2 .

Onderaan de tabellen staan zowel de gemiddelden met standaardafwijkingen als de totale trajecten van de toegepaste variabelen. Beide geven een beeld van de spreiding in de uitkomsten van de variabelen. Het verdient aanbeveling geen uitkomsten van de variabelen toe te passen die hoger of lager zijn dan het gemiddelde plus of min tweemaal de standaardafwijking; voorts dienen uitkomsten buiten het totale traject geheel buiten beschouwing te blijven. Uiteraard komen weinig reële combinaties van waarden voor de variabelen ook niet in aanmerking; hierbij kunnen ook de aanhangsels 1 en 2 ter informatie dienen.

Tabel 3 Bovengrondmonsters. Resultaten van de regressie-analyses zonder zandmediaan

(model: $w = b_0 + b_1 \cdot \text{organische-stofgehalte} + b_2 \cdot \text{lutumgehalte van de minerale delen} + b_3 \cdot \text{gehalte aan deeltjes 2-16 } \mu\text{m van de minerale delen} + b_4 \cdot \text{gehalte aan deeltjes 16-50 } \mu\text{m van de minerale delen} + b_5 \cdot \text{massiek volume}$)

Drukhoogte in cm	n	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	R	s	S(w)	V ²
- 2,5	28	-0,2711	0,455	-0,012	-0,464	0,076	0,8154	1,00	0,009	0,102	0,99
-10	40	-0,1816	0,642	-0,315	-0,095	0,146	0,6679	0,99	0,014	0,079	0,97
-30	40	-0,0148	1,214	-0,111	0,064	0,209	0,3590	0,93	0,025	0,064	0,85
-100	41	0,0061	2,645	0,639	-0,031	0,365	0,0689	0,91	0,034	0,078	0,81
-200	40	-0,0013	2,297	0,535	0,449	0,122	0,0498	0,90	0,030	0,065	0,78
-500	32	0,0994	2,061	0,497	0,943	0,026	-0,1298	0,94	0,018	0,050	0,87
-2500	8	-0,0118	1,671	0,393	0,825	0,028	0,0063	1,00	0,002	0,047	1,00
-16000	11	-0,0750	0,486	0,754	0,365	0,004	0,0861	0,98	0,008	0,029	0,93

Gemiddelde waarden met standaardafwijkingen en de totale trajecten voor alle bewerkte monsters:

Organische-stofgehalte : $0,025 \pm 0,021$ (totale traject: 0,002-0,087) ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)
 Lutumgehalte van de minerale delen: $0,039 \pm 0,024$ (totale traject: 0,010-0,078) ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)
 Gehalte aan deeltjes 2-16 μm van
 de minerale delen : $0,023 \pm 0,013$ (totale traject: 0,005-0,054) ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)
 Gehalte aan deeltjes 16-50 μm van
 de minerale delen : $0,056 \pm 0,077$ (totale traject: 0,001-0,367) ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)
 Massiek volume van de grond : $0,7271 \pm 0,1039$ (totale traject: 0,5794-0,9515) ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)
 Dichtheid van de grond : $1,402 \pm 0,189$ (totale traject: 1,051-1,726) ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

Tabel 4 Ondergrondmonsters. Resultaten van de regressie-analyses zonder zandmediaan

(model: $w = b_0 + b_1 \cdot \text{organische-stofgehalte} + b_2 \cdot \text{lutumgehalte van de minerale delen}$
 $+ b_3 \cdot \text{gehalte aan deeltjes 2-16 } \mu\text{m van de minerale delen} + b_4 \cdot \text{gehalte aan deeltjes}$
 $16-50 \mu\text{m van de minerale delen} + b_5 \cdot \text{massiek volume}$)

Drukhoogte n in cm	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	R	s	S(w)	V ²	
- 2,5	80	-0,2775	-0,343	0,012	0,514	0,027	0,8202	0,96	0,013	0,042	0,91
-10	163	-0,2359	1,021	-0,106	0,208	0,090	0,7420	0,95	0,012	0,038	0,90
-30	162	-0,2477	1,412	-0,084	0,293	0,097	0,7332	0,91	0,017	0,041	0,83
-100	164	-0,3783	2,596	0,325	0,724	0,525	0,6731	0,88	0,041	0,086	0,77
-200	161	-0,2631	2,508	0,432	0,877	0,302	0,4244	0,86	0,032	0,064	0,74
-500	153	-0,2342	2,682	0,311	0,623	0,108	0,3797	0,81	0,026	0,044	0,64
-2500	82	0,0286	2,036	0,463	0,173	0,049	-0,0392	0,82	0,012	0,021	0,66
-16000	88	0,0142	0,882	0,351	0,122	0,012	-0,0167	0,79	0,008	0,013	0,61

Gemiddelde waarden met standaardafwijkingen en de totale trajecten voor alle bewerkte monsters:

Organische-stofgehalte	: 0,005 ± 0,004 (totale traject: 0,000-0,023) (g.g ⁻¹)
Lutumgehalte van de minerale delen:	0,048 ± 0,021 (totale traject: 0,002-0,079) (g.g ⁻¹)
Gehalte aan deeltjes 2-16 μm van de minerale delen	: 0,023 ± 0,017 (totale traject: 0,001-0,107) (g.g ⁻¹)
Gehalte aan deeltjes 16-50 μm van de minerale delen	: 0,096 ± 0,090 (totale traject: 0,000-0,429) (g.g ⁻¹)
Massiek volume van de grond	: 0,6779 ± 0,0416 (totale traject: 0,5845-0,8258) (cm ³ .g ⁻¹)
Dichtheid van de grond	: 1,481 ± 0,089 (totale traject: 1,211-1,711) (g.cm ⁻³)

Tabel 5 Bovengrondmonsters. Resultaten van de regressie-analyses met zandmediaan

(model: $w = b_0 + b_1 \cdot \text{organische-stofgehalte} + b_2 \cdot \text{lutumgehalte van de minerale delen} + b_3 \cdot \text{gehalte aan deeltjes 2-16 } \mu\text{m van de minerale delen} + b_4 \cdot \text{gehalte aan deeltjes 16-50 } \mu\text{m van de minerale delen} + b_5 \cdot \text{zandmediaan} + b_6 \cdot \text{massiek volume}$)

Drukhoogte n in cm	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	R	s	S(w)	V ²	
- 2,5	28	-0,3039	0,359	0,116	-0,519	0,097	0,00009	0,8367	1,00	0,010	0,102	0,99
-10	40	-0,1598	0,678	-0,385	-0,097	0,127	-0,00006	0,6566	0,99	0,014	0,079	0,97
-30	40	0,0892	1,389	-0,446	0,053	0,118	-0,00031	0,3049	0,95	0,022	0,064	0,88
-100	41	0,0587	2,731	0,458	0,003	0,314	-0,00016	0,0427	0,91	0,034	0,078	0,81
-200	40	-0,0072	2,288	0,555	0,445	0,128	0,00002	0,0527	0,90	0,031	0,065	0,77
-500	32	0,1065	2,070	0,468	0,944	0,017	-0,00003	-0,1316	0,94	0,018	0,050	0,87
-2500')	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-16000	11	-0,0904	0,497	0,814	0,396	0,021	0,00004	0,0897	0,98	0,008	0,029	0,92

Gemiddelde waarden met standaardafwijkingen en de totale trajecten voor alle bewerkte monsters:

Organische-stofgehalte : $0,025 \pm 0,021$ (totale traject: 0,002-0,087) (g.g^{-1})

Lutumgehalte van de minerale delen: $0,039 \pm 0,024$ (totale traject: 0,010-0,078) (g.g^{-1})

Gehalte aan deeltjes 2-16 μm van

de minerale delen : $0,023 \pm 0,013$ (totale traject: 0,005-0,054) (g.g^{-1})

Gehalte aan deeltjes 16-50 μm van

de minerale delen : $0,056 \pm 0,077$ (totale traject: 0,001-0,367) (g.g^{-1})

Mediaan van het zanddeel (M50) : 165 ± 55 (totale traject: 66-300) (μm)

Massiek volume van de grond : $0,7271 \pm 0,1039$ (totale traject: 0,5794-0,9515) ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)

Dichtheid van de grond : $1,402 \pm 0,189$ (totale traject: 1,051-1,726) (g.cm^{-3})

') Niet berekend wegens onvoldoende aantal monsters.

Tabel 6 Ondergrondmonsters. Resultaten van de regressie-analyses met zandmediaan

(model: $w = b_0 + b_1 \cdot \text{organische-stofgehalte} + b_2 \cdot \text{lutumgehalte van de minerale delen} + b_3 \cdot \text{gehalte aan deeltjes 2-16 } \mu\text{m van de minerale delen} + b_4 \cdot \text{gehalte aan deeltjes 16-50 } \mu\text{m van de minerale delen} + b_5 \cdot \text{zandmediaan} + b_6 \cdot \text{massiek volume}$)

Drukhoogte n in cm	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	R	s	S(w)	V ²	
- 2,5	80	-0,2591	-0,220	-0,019	0,526	0,020	-0,00005	0,8032	0,96	0,013	0,042	0,91
-10	163	-0,2174	1,081	-0,132	0,195	0,082	-0,00005	0,7261	0,95	0,012	0,038	0,90
-30	162	-0,1703	1,658	-0,194	0,240	0,064	-0,00021	0,6665	0,92	0,016	0,041	0,85
-100	164	-0,1606	3,320	0,002	0,565	0,434	-0,00059	0,4864	0,90	0,038	0,086	0,81
-200	161	-0,3356	2,284	0,544	0,930	0,331	0,00019	0,4868	0,87	0,032	0,064	0,74
-500	153	-0,3149	2,552	0,424	0,677	0,138	0,00021	0,4505	0,82	0,026	0,044	0,66
-2500	82	0,0262	2,034	0,465	0,172	0,050	0,00001	-0,0370	0,82	0,012	0,021	0,65
-16000	88	0,0166	0,883	0,349	0,123	0,011	-0,00001	-0,0187	0,79	0,008	0,013	0,60

Gemiddelde waarden met standaardafwijkingen en de totale trajecten voor alle bewerkte monsters:

Organische-stofgehalte	: 0,005 ± 0,004 (totale traject: 0,000-0,023) (g.g ⁻¹)
Lutumgehalte van de minerale delen:	0,048 ± 0,021 (totale traject: 0,002-0,079) (g.g ⁻¹)
Gehalte aan deeltjes 2-16 μm van de minerale delen	: 0,023 ± 0,017 (totale traject: 0,001-0,107) (g.g ⁻¹)
Gehalte aan deeltjes 16-50 μm van de minerale delen	: 0,096 ± 0,090 (totale traject: 0,000-0,429) (g.g ⁻¹)
Mediaan van het zanddeel (M50)	: 114 ± 41 (totale traject: 67-290) (μm)
Massiek volume van de grond	: 0,6779 ± 0,0416 (totale traject: 0,5845-0,8258) (cm ³ .g ⁻¹)
Dichtheid van de grond	: 1,481 ± 0,089 (totale traject: 1,211-1,711) (g.cm ⁻³)

In de regressiecoëfficiënten van de tabellen 3 t/m 6 komen de effecten van de diverse variabelen op het massiek watergetal tot uiting. Bedacht moet worden, dat het aangegeven effect van een variabele alleen geldt in combinatie met dat van de overige variabelen die in het model zijn opgenomen.

Per variabele bestaat er een duidelijk verband tussen de grootte van de regressiecoëfficiënten bij de diverse drukhoogten en de wel of niet significante invloed van de variabele bij die drukhoogten (zie paragraaf 4.2). Bij een significante invloed van diverse variabelen bij een bepaald drukhoogte is uiteraard de grootte van het effect van de variabelen op het watergetal toch nogal verschillend. Enige voorbeelden illustreren dit.

Aan de ene kant heeft het organische-stofgehalte in de bovengrond overwegend een vrij groot effect, met name in het midden-deel van de vocht karakteristiek. In de ondergrond is de invloed echter, ondanks de meestal wat grotere regressiecoëfficiënten, door de veelal lage gehalten gering. Toch is de invloed ook in de ondergrond significant bij alle drukhoogten, behalve die van -2,5 cm. Aan de andere kant is het effect van het massiek volume op het watergetal, zowel in de boven- als in de ondergrond, zeer groot tot overheersend bij alle drukhoogten waarbij een significante invloed is aangetoond. Bij de overige drukhoogten is de bijdrage van de variabele nog vrij groot tot matig. Significantie is uiteraard afhankelijk van de gekozen onbetrouwbaarheidsdrempel. Het kiezen van een grotere onbetrouwbaarheid, b.v. 0,10, leidt tot andere resultaten.

De invloed van het lutumgehalte is voor alle drukhoogten, waarbij een significante invloed is geconstateerd, overwegend matig. Het effect van de gehalten aan deeltjes 2-16 μm en 16-50 μm is in zulke gevallen wat vaker gering tot vrij gering. Zoals in paragraaf 4.2 is vermeld, is eigenlijk alleen voor het mid-dentraject van de vocht karakteristiek van de ondergrond een significante invloed van de zandmediaan gebleken bij de regressie-analyses (tabellen 5 en 6). Het effect is in die gevallen echter doorgaans vrij matig.

In de tabellen 3 t/m 6 hebben de regressiecoëfficiënten, behalve die voor het gehalte aan deeltjes 16-50 μm , ten dele een negatieve waarde. Dit behoeft in het algemeen niet te betekenen, dat de betreffende variabele feitelijk geen positieve invloed zou hebben op het massiek watergetal.

In de inleiding van dit rapport is de wenselijkheid genoemd van regressievergelijkingen met zo mogelijk "goed en gemakkelijk te schatten of te bepalen" variabelen. In dit en soortgelijk voorgaand onderzoek kan en kon aan deze wens voor de te gebruiken variabelen slechts tot zekere hoogte worden voldaan. Het organische-stofgehalte, het lutumgehalte van de minerale delen en de zandmediaan (voor de eventuele gebruikers van de tabellen 5 en 6) zijn bij voldoende ervaring wel redelijk goed te schatten. Voor de overige verklarende variabelen geldt dat echter niet. Betrouwbare waarden voor de gehalten aan deeltjes 2-16 μm en 16-50 μm zullen ontleend moeten worden aan granulair analyses. De variabele dichtheid van de grond blijkt ook bij dit onderzoek onmisbaar te zijn om tot verantwoorde schattingen van vocht karakteristieken te komen, gezien de grote tot overheersende invloed van het massiek volume, met name bij de grotere drukhoogten. Bij de eerdere onderzoeken van kleilagen in het zeele gebied (Van Zuilen et al., 1985) en van zandgronden en veenkoloniale gronden (Krabbenborg et al., 1983) kwam dat eveneens naar voren; bij zandlagen in het zeele gebied is van een significante invloed van de dichtheid, zoals reeds gesteld, alleen sprake bij de drukhoogten -2,5 t/m -30 cm voor de bovengrond en -2,5 t/m -500 cm voor de ondergrond. Met ringmonsters is de dichtheid weliswaar goed en eenvoudig te bepalen, maar de bemonstering vergt toch vrij veel tijd. Het schatten van de dichtheid is nog weinig onderzocht en onderzoek hiernaar wordt sterk aanbevolen. Dan zal ook duidelijk worden of de schattingen nauwkeurig genoeg zijn voor gebruik in de regressievergelijkingen.

Gewezen wordt nog op het beperkte aantal monsters waarop bij de bovengrond de regressievergelijkingen voor de drukhoogten -2500 en -16 000 cm zijn gebaseerd. Enige reserve voor de coëfficiënten is daarbij dus op zijn plaats.

4.4 Overzicht van de basisgegevens voor de regressie-analyses

De aanhangsels 1 en 2 geven een samenvattend beeld van de verdeling en aantallen van de gegevens, waarop de resultaten van de regressie-analyses van de tabellen 3 t/m 6 zijn gebaseerd. Het materiaal is gesplitst zowel in klassen van dichtheid van de grond als in de klassen kleiarm en kleilig zand (lutumgehalte resp. $\leq 0,05$ en $0,051-0,079$ (g.g^{-1})). Onderaan de tabellen zijn voor kleiarm en kleilig zand en het totaal nog de gemiddelden van de uitkomsten van de variabelen en de mediaan van de dichtheid vermeld.

Tussen de bovengrond- en ondergrondmonsters bestaan tot zekere hoogte verschillen wat betreft herkomst van de monsters en verdeling over de subgroepen. Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 2.1 en 2.2.

Gemiddeld hebben de bovengrondmonsters zowel bij kleiarm als bij kleilig zand, behalve uiteraard een hoger organische-stofgehalte, een duidelijk lager gehalte aan deeltjes $16-50 \mu\text{m}$ en een grotere zandmediaan dan de ondergrondmonsters. De spreiding in dichtheid is bij de bovengrondmonsters steeds groter dan bij de ondergrondmonsters, die alleen bij kleiarm zand een hogere gemiddelde dichtheid hebben. Het voorkomen van lage dichtheden in de bovengrond, kleiner dan $1,20 \text{ g.cm}^{-3}$, hangt mede samen met het feit dat ook een aantal monsters van tuinbouwgronden is opgenomen. Deze kunnen in de bovengrond bij bemonstering een relatief lage dichtheid hebben.

Een beperkt aantal monsters heeft, vergeleken met het "gemiddelde" beeld, een kleine zandmediaan. Deze monsters hebben een vrij hoog gehalte aan deeltjes $16-50 \mu\text{m}$. Zij komen bij de bovengrondmonsters met name voor in het dichtheidstraject $1,21-1,40 \text{ g.cm}^{-3}$ en bij de ondergrondmonsters in het traject $1,31-1,50 \text{ g.cm}^{-3}$.

5 VOORBEELD VAN DE BEREKENING VAN EEN VOCHTKARAKTERISTIEK

Met een set regressiecoëfficiënten uit de tabellen 3 t/m 6 kunnen voor een horizont of laag de massieke watergetallen w (g.g^{-1}) voor de diverse drukhoogten worden berekend uit bekende waarden voor de verklarende variabelen. Door de watergetallen te vermenigvuldigen met de waarde voor de dichtheid van de grond ρ_d (g.cm^{-3}) worden de volumefracties water θ ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) verkregen. Volledigheidshalve wordt hier een voorbeeld van zo'n berekening gegeven.

Gekozen is een bovengrond van kleiarm zand met een organische-stofgehalte, een lutumgehalte van de minerale delen en een gehalte aan deeltjes 2-16 μm en 16-50 μm van de minerale delen van respectievelijk 0,020, 0,025, 0,015 en 0,020 (g.g^{-1}). De dichtheid bedraagt 1,450 (g.cm^{-3}), d.i. een massiek volume van 0,6897 ($\text{cm}^3.\text{g}^{-1}$).

In tabel 3 (zonder zandmediaan) zijn hiervoor de regressiecoëfficiënten te vinden. Deze worden, evenals de genoemde waarden voor de vijf variabelen, ingevuld in het in paragraaf 4.3 vermelde model.

De berekeningen en resultaten zijn weergegeven in tabel 7.

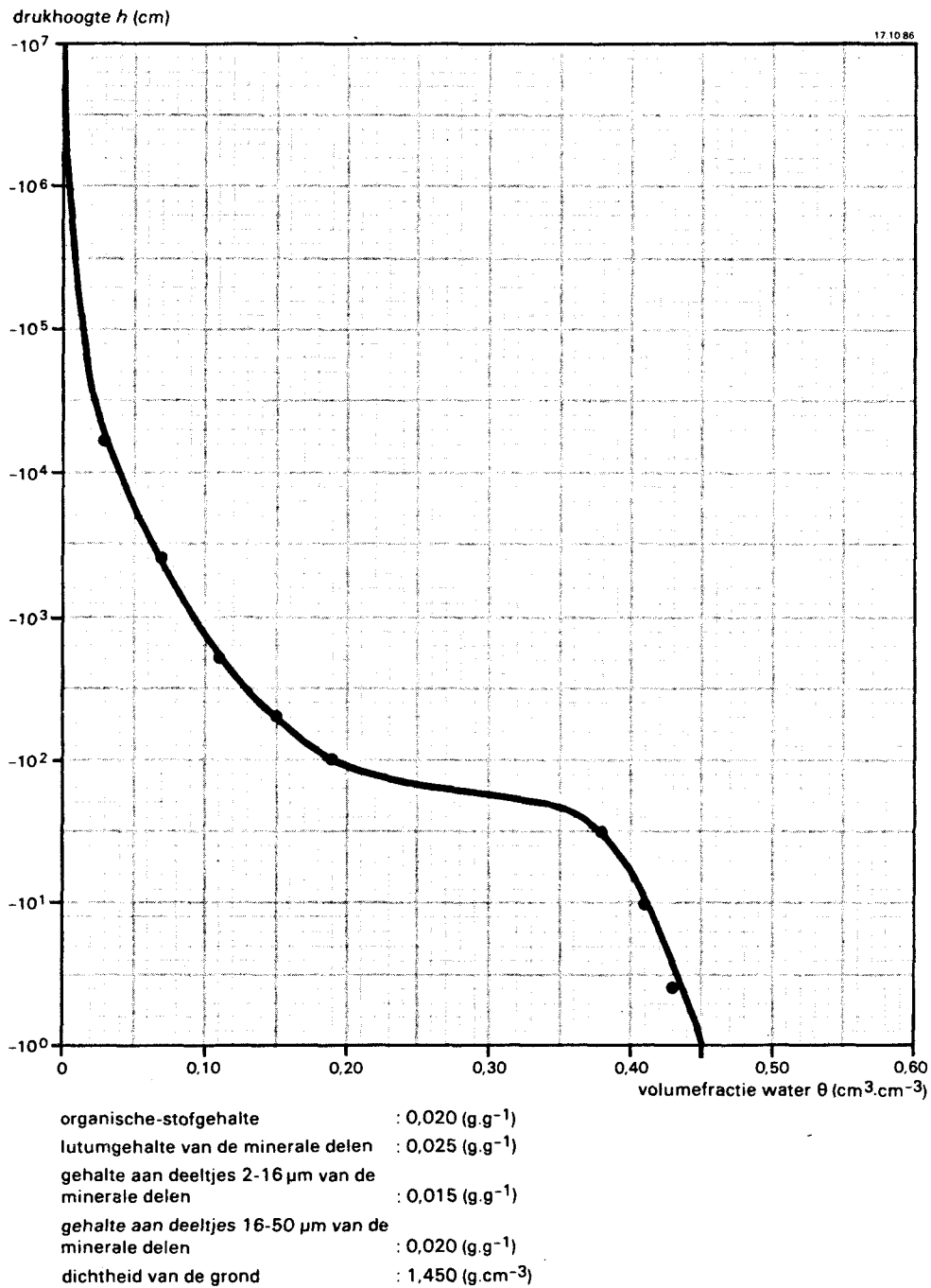
De aldus verkregen θ -waarden worden uitgezet in een grafiek van de vochtkarakteristiek. Gebruikelijk is om door de punten een vloeiend verlopende curve te trekken tussen de drukhoogte h van -10^7 cm (pF 7) op de y-as en de berekende poriënfractie op de x-as.

Voor de berekening van de poriënfractie ϕ_p uit de dichtheid van de vaste fase ρ_{m+h} en de dichtheid van de grond ρ_d wordt verwezen naar paragraaf 2.3. Bij het gekozen voorbeeld hebben ρ_{m+h} en ϕ_p de waarden 2,62 (g.cm^{-3}) en 0,45 ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$).

Afbeelding 1 toont de vochtkarakteristiek van het voorbeeld.

Tabel 7 Berekening van de volumefracties water voor een kleiarne bovengrond (zie tekst), met gebruik van tabel 3

Druk- hoogte in cm	b_0	$b_1 \cdot f_h$	$b_2 \cdot f_{Lm}$	$b_3 \cdot f_{2-16,m}$	$b_4 \cdot f_{16-50,m}$	$b_5 \cdot v$	ρ_d	θ
-2,5:	$(-0,2711+(0,455 \times 0,020)+(-0,012 \times 0,025)+(-0,464 \times 0,015)+(0,076 \times 0,020)+(0,8154 \times 0,6897)) \times 1,450 = 0,43$							
-10 :	$(-0,1816+(0,642 \times 0,020)+(-0,315 \times 0,025)+(-0,095 \times 0,015)+(0,146 \times 0,020)+(0,6679 \times 0,6897)) \times 1,450 = 0,41$							
-30 :	$(-0,0148+(1,214 \times 0,020)+(-0,111 \times 0,025)+(-0,064 \times 0,015)+(0,209 \times 0,020)+(0,3590 \times 0,6897)) \times 1,450 = 0,38$							
-100 :	$(0,0061+(2,645 \times 0,020)+(-0,639 \times 0,025)+(-0,031 \times 0,015)+(0,365 \times 0,020)+(0,0689 \times 0,6897)) \times 1,450 = 0,19$							
-200 :	$(-0,0013+(2,297 \times 0,020)+(-0,535 \times 0,025)+(-0,449 \times 0,015)+(0,122 \times 0,020)+(0,0498 \times 0,6897)) \times 1,450 = 0,15$							
-500 :	$(0,0994+(2,061 \times 0,020)+(-0,497 \times 0,025)+(-0,943 \times 0,015)+(0,026 \times 0,020)+(-0,1298 \times 0,6897)) \times 1,450 = 0,11$							
-2500 :	$(-0,0118+(1,671 \times 0,020)+(-0,393 \times 0,025)+(-0,825 \times 0,015)+(0,028 \times 0,020)+(0,0063 \times 0,6897)) \times 1,450 = 0,07$							
-16000 :	$(-0,0750+(0,486 \times 0,020)+(-0,754 \times 0,025)+(-0,365 \times 0,015)+(0,004 \times 0,020)+(0,0861 \times 0,6897)) \times 1,450 = 0,03$							



Afb. 1 Voorbeeld van een vocht karakteristiek berekend voor een bovengrond van kleiarm zand

6 STANDAARDVOCHTKARAKTERISTIEKEN

Als praktische toepassing van de resultaten van de bewerking zijn met gebruik van de tabellen 3 en 4 een aantal zgn. standaardvochtkarakteristieken (zie hoofdstuk 1) berekend en wel voor een kleiarme en kleiige boven- en ondergrond (lutumgehalte $\leq 0,050$ en $0,051-0,079$ (g.g^{-1})).

Een tabellarische weergave van de resultaten geeft aanhangsel 3. Onderaan zijn per kolom de gebruikte waarden voor de vijf verklarende variabelen weergegeven. De keuze van die waarden is gebaseerd op de gegevens in de aanhangsels 1 en 2 en op de beschikbare grafische verbanden tussen de dichtheid en de overige variabelen voor de onderscheiden groepen van monsters. Vooral voor de bovengrond zijn de gekozen gehalten als gevolg van het beperkte aantal monsters en de heterogeniteit ten dele arbitrair.

Wegens de vrij grote spreiding in de belangrijke variabele dichtheid van de grond zijn hiervoor steeds drie waarden gekozen: de mediaan van de dichtheid (kolommen b) en de dichtheid bij de grenzen van ca. 35% van het aantal monsters beneden en boven deze mediaan (kolommen a en c). Het traject van de dichtheid omvat dus telkens ongeveer 70% van het monstermateriaal.

Aanhangsel 3 toont goed en volgens verwachting verlopende vochtkarakteristieken, zonder "uitschieters" van betekenis bij bepaalde drukhoogten. Slechts bij een dichtheid van $1,13 \text{ g.cm}^{-3}$ voor kleiarm zand in de bovengrond wijken de berekende volume fracties water bij de kleinere drukhoogten af van de vloeiende lijn. Genoemde dichtheid is echter relatief laag, terwijl bovendien het aantal monsters bij de drukhoogten -2500 en $-16\ 000$ cm beperkt was. Het bevestigt dat waarden voor een variabele, die dicht gelegen zijn bij de grenzen van het totale traject van de variabele, met reserve toegepast dienen te worden.

Zowel bij kleiarm als bij kleilig zand in boven- of ondergrond komt in aanhangsel 3 de invloed van een verschil in dichtheid

op de vocht karakteristiek duidelijk tot uiting. Voorts zijn bij ongeveer gelijke waarden van de dichtheid de volumefracties water voor kleilig zand bij drukhoogten kleiner dan -30 cm (pF 1,5) duidelijk hoger dan bij kleiarm zand. Uit de vergelijking van boven- en ondergrond in de twee lutumklassen komt de tendens naar voren, dat bij ongeveer gelijke dichtheid de volumefracties water van bovengronden bij grote drukhoogten lager en bij kleine drukhoogten juist hoger zijn dan die van ondergronden. Dat beeld is echter niet steeds ondubbelzinnig; een zuivere vergelijking bij vergelijkbare dichtheid wordt ook doorkruist door verschillen tussen boven- en ondergrond wat betreft de waarde voor andere variabelen.

7 SAMENVATTING

Voor zandlagen in het zeeleigebied is, met meervoudige lineaire regressie-analyse, verband gelegd tussen eenvoudige eigenschappen van de grond (verklarende variabelen) en het massiek watergetal (g.g^{-1}) bij acht drukhoogten (-2,5, -10, -30, -100, -200, -500, -2500 en -16 000 cm). Dit sluit aan op het op vergelijkbare wijze uitgevoerde onderzoek voor kleilagen (Van Zuijlen et al., 1985). Doel is vochtcharacteristieken te kunnen voorspellen uit zo mogelijk goed en gemakkelijk te schatten of te meten variabelen. De bewerking is gebaseerd op 41 bovengrond- en 164 ondergrondmonsters uit 114 profielen die tot en met 1982 zijn bemonsterd. Herkomst naar kaartblad en verdeling over de subgroepen van profielen en monsters zijn in hoofdstuk 2 besproken.

Gezien de resultaten bij kleilagen en het beperkte aantal monsters is als uitgangspunt een model gekozen met de splitsing in boven- en ondergrondmonsters als enige kwalitatieve variabele en met de kwantitatieve variabelen organische-stofgehalte (g.g^{-1}), lutumgehalte en gehalten aan deeltjes 2-16 μm en 16-50 μm van de minerale delen (g.g^{-1}), zand mediaan (μm) en massiek volume ($\text{cm}^3.\text{g}^{-1}$). Het watergetal en massiek volume zijn daarbij gebruikt als grootheden voor resp. het watergehalte en de ruimtelijke opbouw van de grond.

Alle onderzochte regressiemodellen zijn beoordeeld met de rest-standaardafwijking s en met V^2 , de verklaarde fractie van de totale variantie. Als norm is genomen dat s bij de regressievergelijkingen van minstens zes van de acht drukhoogten niet groter mag zijn dan 0,030 à 0,035 (g.g^{-1}) en dat V^2 minimaal 0,60 en bij minstens drie à vier drukhoogten 0,80 of hoger moet zijn. Aanvullend is de betekenis van kwantitatieve variabelen beoordeeld door toetsen van nulhypothese voor de regressiecoëfficiënten (t -toets tweezijdig, onbetrouwbaarheidsdrempel 0,05) en het belang van de splitsing in boven- en ondergrond met de F -toets (onbetrouwbaarheidsdrempel 0,05, eenzijdig).

Het onderscheid in boven- en ondergrondmonsters is, behalve bij de drukhoogte van -2500 cm, bij alle onderzochte modellen significant gebleken. Voor het organische-stofgehalte is, behalve bij een drukhoogte van -2,5 cm voor de ondergrond, een significante invloed geconstateerd die in de bovengrond en met name in het middentraject van de vocht karakteristiek, redelijk groot tot matig is, maar in de ondergrond vrij tot zeer gering. Het lutumgehalte heeft een significante, overwegend matige, invloed bij de helft of meer van de drukhoogten, met name bij de kleinere.

De betekenis van de gehalten aan deeltjes 2-16 μm en 16-50 μm is significant aangetoond bij respectievelijk twee en drie à vier drukhoogten voor de bovengrondmonsters, maar steeds bij zes drukhoogten voor de ondergrondmonsters. Het effect is vaak wat minder groot dan van het lutumgehalte in dergelijke gevallen. Weglaten van beide variabelen verminderde voor de bovengrond de voorspellende waarde van het model, maar nog in aanvaardbare mate; voor de ondergrond werd dan echter niet meer voldaan aan het criterium voor V^2 . Vervanging van de beide variabelen en het lutumgehalte in het model door het leemgehalte leidde tot een soortgelijk resultaat.

Het massiek volume is voor de bovengrond significant gebleken bij de drukhoogten -2,5 t/m -30 cm en voor de ondergrond bij de drukhoogten -2,5 t/m -500 cm. Het effect op het watergetal is dan zeer groot; ook bij de overige drukhoogten zijn de betreffende regressiecoëfficiënten relatief nog vrij groot. De zandmediaan had in feite alleen een significante en dan vrij matige invloed bij het middentraject van de vocht karakteristiek voor de ondergrond. Weglaten van de zandmediaan had weinig invloed op de waarden van s en V^2 .

Op grond van genoemde resultaten zijn de definitieve regressieberekeningen uitgevoerd voor boven- en ondergrondmonsters met de verklarende variabelen: organische-stof- en lutumgehalte, gehalten aan deeltjes 2-16 μm en 16-50 μm en massiek volume. De tabellen 3 en 4 geven de regressiecoëfficiënten en bijbeho-

rende gegevens. Als alternatief zijn in de tabellen 5 en 6 de resultaten vermeld van de regressie-analyses met de zandmediaan als extra variabele. Samenvattingen van de gegevens van het verwerkte basismateriaal zijn vermeld in de aanhangsels 1 en 2.

Met de regressiecoëfficiënten kunnen uit bekende waarden voor de variabelen de watergetallen (g.g^{-1}) en, door vermenigvuldiging daarvan met de dichtheid (g.cm^{-3}), de volumefracties water ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) bij acht drukhoogten eenvoudig worden berekend.

Hoofdstuk 5 geeft een voorbeeld van berekening van een vochtkaarakteristiek. Als toepassing zijn steeds voor drie waarden van de dichtheid, standaardvochtkaarakteristieken berekend voor kleiarm en kleilig zand van zowel boven- als ondergrond (aanhangel 3).

LITERATUUR

Deze lijst vermeldt alleen de literatuur waaraan in dit rapport is gerefereerd. Voor verdere literatuur en een literatuurbespreking wordt verwezen naar Van Zuilen et al. (1985).

- Hilhorst, R.A., 1983. Uniform Program Package, versie 5. Mededeling nr. 39. Sprenger Instituut, Wageningen.
- Krabbenborg, A.J. et al., 1983. Standaard-vochtkarakteristieken van zandgronden en veenkoloniale gronden. Rapport nr. 1680. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Poelman, J.N.B., 1975. Dichtheid van de vaste delen van rivierkleigronden. Boor en Spade XIX: 32-38. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Steur, G.G.L. & W. Heijink, 1983. Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000. Algemene begrippen en indelingen. 2e uitgebreide uitgave. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Wösten, J.H.M. et al., 1983. Proefgebied Hupselse Beek. Regionaal bodemkundig en bodemfysisch onderzoek. Rapport nr. 1706. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Wösten, J.H.M. et al., 1986. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. ICW-rapport nr. 18/STIBOKA-rapport nr. 1932. Wageningen.
- Zuilen, E.J. van et al., 1985. Vochtkarakteristieken van kleilagen in het zeeleigebied af te leiden uit enige eenvoudige eigenschappen van de grond. Rapport nr. 1895. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

Aanhangsel 1 Bovengrondmonsters. Gemiddelde waarden van de gebruikte variabelen en aantal monsters, per klasse van dichtheid van de grond¹⁾ en per lutumklasse

Dichtheids- klassen ²⁾	Lutum- klassen	Organische- stofgehalte	Gehalte v.d. minerale delen			M50	Dichtheid	n
			lutum	2-16 µm	16-50 µm			
1,01-1,10	kleiarm kleiig	0,059	0,025	0,031	0,021	183	1,065	2
1,11-1,20	kleiarm kleiig	0,048	0,023	0,022	0,016	177	1,145	7
1,21-1,30	kleiarm kleiig	0,052 0,021	0,034 0,078	0,024 0,041	0,137 0,091	167 116	1,279 1,268	3 1
1,31-1,40	kleiarm kleiig	0,014 0,028	0,047 0,070	0,039 0,043	0,191 0,168	81 90	1,332 1,325	1 4
1,41-1,50	kleiarm kleiig	0,013 0,019	0,026 0,072	0,011 0,028	0,012 0,081	204 113	1,468 1,432	5 2
1,51-1,60	kleiarm kleiig	0,012 0,012	0,018 0,069	0,017 0,027	0,016 0,061	213 126	1,550 1,524	6 4
1,61-1,70	kleiarm kleiig	0,009 0,017	0,019 0,068	0,014 0,018	0,026 0,055	193 164	1,653 1,649	3 2
1,71-1,80	kleiarm kleiig	0,009	0,052	0,025	0,048	166	1,726	1
gemiddeld	kleiarm kleiig totaal	0,029 0,019 0,025	0,024 0,069 0,039	0,019 0,031 0,023	0,037 0,095 0,056	188 121 165	1,367 1,468 1,402	27 14 41

Mediaan van de dichtheid: kleiarm: 1,445
 kleiig : 1,476
 totaal : 1,445

¹⁾ in g.cm⁻³

²⁾ afgerond

Aanhangsel 2 Ondergrondmonsters. Gemiddelde waarden van de gebruikte variabelen en aantal monsters, per klasse van dichtheid van de grond¹⁾ en per lutumklasse

Dichtheids- klassen ²⁾	Lutum- klassen	Organische- stofgehalte	Gehalte v.d. minerale delen			M50	Dichtheid	n
			lutum	2-16 μm	16-50 μm			
1,21-1,30	kleiarm	0,009	0,042	0,038	0,057	118	1,250	3
	kleiig	0,013	0,068	0,049	0,209	75	1,273	3
1,31-1,40	kleiarm	0,005	0,040	0,025	0,143	91	1,358	7
	kleiig	0,006	0,065	0,028	0,102	101	1,363	11
1,41-1,50	kleiarm	0,005	0,036	0,021	0,078	105	1,454	32
	kleiig	0,006	0,066	0,025	0,145	92	1,462	47
1,51-1,60	kleiarm	0,005	0,030	0,017	0,037	146	1,542	27
	kleiig	0,006	0,070	0,032	0,125	102	1,529	17
1,61-1,70	kleiarm	0,003	0,022	0,013	0,021	175	1,636	16
	kleiig							
1,71-1,80	kleiarm	0,005	0,016	0,005	0,021	182	1,711	1
	kleiig							
gemiddeld	kleiarm	0,005	0,032	0,019	0,058	131	1,503	86
	kleiig	0,006	0,067	0,028	0,137	95	1,455	78
	totaal	0,005	0,048	0,023	0,096	114	1,481	164

Mediaan van de dichtheid: kleiarm: 1,506
 kleiig : 1,474
 totaal : 1,481

¹⁾ in g.cm^{-3}

²⁾ afgerond

Aanhangsel 3 Standaardvocht karakteristieken¹⁾ voor kleiarm en kleiig zand van boven- en ondergrond, bij drie waarden van dichtheid van de grond²⁾ (a, b en c: bij lage dichtheid, mediaan van de dichtheid en hoge dichtheid)

Drukhoogte in cm	Volumefractie water											
	bovengrond						ondergrond					
	kleiarm zand			kleiig zand			kleiarm zand			kleiig zand		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
-2,5	0,53	0,42	0,39	0,46	0,41	0,37	0,45	0,42	0,38	0,46	0,44	0,43
-10	0,49	0,41	0,38	0,44	0,39	0,36	0,43	0,40	0,38	0,44	0,42	0,41
-30	0,41	0,37	0,36	0,41	0,38	0,37	0,41	0,38	0,35	0,42	0,40	0,39
-100	0,26	0,17	0,15	0,29	0,24	0,22	0,25	0,19	0,14	0,32	0,30	0,29
-200	0,14	0,13	0,12	0,23	0,19	0,17	0,16	0,11	0,07	0,21	0,19	0,19
-500	0,14	0,10	0,10	0,18	0,16	0,16	0,12	0,09	0,06	0,15	0,13	0,12
-2500	0,12	0,06	0,05	0,14	0,11	0,09	0,05	0,05	0,05	0,07	0,08	0,08
-16000	0,06	0,02	0,01	0,10	0,08	0,07	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05
Organische- stofgehalte	0,050	0,015	0,010	0,030	0,015	0,010	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Lutungehal- te ³⁾)	0,030	0,025	0,020	0,070	0,070	0,065	0,040	0,035	0,025	0,065	0,065	0,065
Gehalte aan deeltjes 2-16 μm^3)	0,020	0,015	0,015	0,040	0,030	0,025	0,025	0,020	0,015	0,030	0,030	0,030
Gehalte aan deeltjes 16-50 μm^3)	0,025	0,020	0,020	0,100	0,075	0,060	0,070	0,040	0,030	0,130	0,130	0,130
Dichtheid v.d. grond	1,13	1,45	1,58	1,32	1,48	1,63	1,41	1,51	1,61	1,39	1,47	1,52

¹⁾ berekend met de regressievergelijkingen zonder zandmediaan (tabel 3 en 4)

²⁾ in g.cm^{-3}

³⁾ gehalte van de minerale delen