

Rapport nr. 2074

II

DE PORIENINDEX: EEN KARAKTERISTIEK VOOR VERGELIJKING  
VAN DE PAKKING VAN GRONDEN

P. van der Sluijs

Stichting voor Bodemkartering, Wageningen, 1988

19 JUNI 1990

1009-1079\*

INHOUD	Blz.
Inleiding	1
Definitie van de poriënindex	3
Bepaling van de gemiddelde dichtheid van stoofdroge grond	5
Discussie	8
Toepassing van de poriënindex	10
Samenvatting	14
Literatuur	15

#### TABELLEN

1	Regressiecoëfficiënten van de vergelijking: $v_{d(\text{gem})} = b_0 + b_1 \cdot f_h + b_2 \cdot f_{Ld}$ ; ontleend aan Hoekstra & Poelman (1982)	19
2	Het rekenkundig gemiddelde van het massieke volume van stoofdroge grond van horizonten in löss; ontleend aan Hoekstra & Poelman (1982)	20
3	Regressiecoëfficiënten voor A-horizonten $(v_{d(\text{gem})} = b_0 + b_1 \cdot f_h)$ en C-horizonten $v_{d(\text{gem})} = b_0 + b_2 \cdot M50$ , waarin M50 uitgedrukt in cm) in holoceen zand	21
4	Een klasseïndeling van de pakkingsdichtheid, gebaseerd op de poriënindex ( $I_p$ )	22

- 5 Organische-stofgehalte  $f_h$  ( $g\ g^{-1}$ ), lutumgehalte van stoofdroge grond  $f_{Ld}$  ( $g\ g^{-1}$ ), poriënfractie  $\phi_p$  ( $cm^3\ cm^{-3}$ ) en poriënindex  $I_p$  van een polder-vaaggrond in zeeklei (a) en een humuspodzolgrond met waterhardlaag (b) 23
- 6 Poriënfractie ( $\phi_p$ ) en poriënindex ( $I_p$ ) bij verschillende systemen van grondbewerking (polder-vaaggrond in zeeklei,  $f_h = 0,023$  en  $f_{Ld} = 0,20$ ; gegevens ontleend aan Boone 1984) 24

## FIGUREN

- 1 Vergelijking tussen de poriënindex ( $I_p$ ) en de relatieve dichtheid ( $D$ ), naar gegevens van Van Wijk & Beuving (1984) 25
- 2 Poriënindex ( $I_p$ ) en visuele beoordeling van de structuur ( $S$ ; 0 = zeer slecht, 10 = zeer goed); gegevens ontleend aan Boone (1984) 25

DE PORIENINDEX: EEN KARAKTERISTIEK VOOR VERGELIJKING VAN DE PAKKING  
VAN GRONDEN

P. van der Sluijs, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen

INLEIDING

In de bodemfysica kennen we het begrip dichtheid van stoofdrome grond ( $\rho_d$ ), gedefinieerd als:

$$\rho_d = \frac{m_{m+h}}{V_t}$$

waarin:  $m_{m+h}$  = massa van de vaste fase (= minerale delen + organische stof),

$V_t$  = totaal volume (vaste fase + poriën).

De dichtheid van stoofdrome grond hangt af van de poriënfractie en van de samenstelling van de vaste delen. De dichtheid van stoofdrome grond neemt af als de poriënfractie toeneemt, of als de grond meer organische stof bevat (geringere dichtheid van de vaste fase). Het effect van een hoger organische-stofgehalte op de dichtheid van stoofdrome grond wordt nog versterkt, doordat dit samengaat met een grotere poriënfractie.

Naast de dichtheid van stoofdrome grond kennen we pakking van de grond. Daarmee geeft men aan of men de actuele structuur als los of dicht beoordeelt. De actuele structuur of pakking

wordt dan vergeleken met het gemiddelde beeld dat men van overeenkomstige gronden heeft. Alleen bij vergelijking van gronden met een zelfde samenstelling gaat de hoogste dichtheid van stoffdroge grond ( $\rho_d$ ) samen met de dichtste pakking. Is de samenstelling, en met name het organische-stofgehalte, echter verschillend, dan valt uit  $\rho_d$  niet op te maken welke grond of laag de dichtste pakking heeft. Zo betekent een  $\rho_d$  van  $1,33 \text{ g cm}^{-3}$  en een poriënfractie ( $\phi_p$ ) van 0,50 voor humusarm zand een zeer losse en voor humusarme zware klei een normale pakking. Een dergelijke  $\rho_d$  is voor veen echter onbestaanbaar hoog. Hollandveen met een  $\rho_d$  van slechts  $0,20 \text{ g cm}^{-3}$  is al sterk samengeperst en zeer vast ( $\phi_p = 0,86$ ). Zelfs voor bruinkool van miocene ouderdom, gelegen onder een metersdik pakket jongere afzettingen, is een  $\rho_d$  van slechts  $0,26 \text{ g cm}^{-3}$  niet uitzonderlijk.

Voor kwantificering van de subjectieve praktijkbeoordeling van de pakking voerde Schothorst (1968) het begrip relatieve dichtheid in. De relatieve dichtheid ( $D$ ) geeft de verhouding tussen de actuele verdichting van een grond ten opzichte van de maximaal mogelijke (Jumikis, 1962):

$$D = \frac{e_{\max} - e_a}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (2)$$

waarin:  $e_a$  = actueel poriëngetal,

$e_{\max}$  = maximaal poriëngetal,

$e_{\min}$  = minimaal poriëngetal.

Om de relatieve dichtheid te bepalen moeten de losse en de dichtste toestand van die grond bekend zijn. In principe heeft

de relatieve dichtheid ( $D$ ) een waarde die ligt tussen 0 en 1. Van Wijk (1980) paste bij zijn sportveldenonderzoek eveneens de relatieve dichtheid toe, maar hij ging uit van een iets andere basisvergelijking. De relatieve dichtheid berekend volgens Van Wijk is aanmerkelijk lager dan de waarde die met de methode Schothorst wordt gevonden. Het verschil bedraagt ongeveer de helft van de voor  $D$  geldende schaal van 0 tot 1. Wel geven beide methoden een zelfde rangorde in pakking aan. Schothorst vindt bij zijn berekeningen waarden groter dan 1, wat theoretisch niet mogelijk is. Dit wijst erop dat onder natuurlijke omstandigheden dichtere pakkingen voorkomen dan waarvan in de berekening als maximale pakking is uitgegaan. Van Wijk vindt negatieve waarden, wat duidt op het bestaan van lossere gronden.

De problemen die optreden bij het vaststellen van de minimale en maximale pakking beperken de waarde van de relatieve dichtheid. Als alternatief van de relatieve dichtheid beschrijft dit artikel de poriënindex als maat om de pakking van de grond te kwantificeren. De poriënindex heeft evenals de praktijkbeoordeling een gemiddelde waarde als referentieniveau.

#### DEFINITIE VAN DE PORIËNINDEX

Voor de poriënindex zijn we uitgegaan van het poriëngetal. Het poriëngetal ( $e$ ) geeft het volume aan poriën ( $V_p$ ) per volume-eenheid vaste delen ( $V_{m+h}$ ) (Huizinga, 1969):

$$e = \frac{V_p}{V_{m+h}} \quad (3)$$

Het actuele poriëngetal  $e_a$  van een grond, betrokken op het voor die grond geldende gemiddelde poriëngetal  $e_{gem}$ , levert als relatieve maat de poriënindex  $I_p$  op:

$$I_p = \frac{e_a}{e_{gem}} \quad (4)$$

In een losse grond is  $e_a$  groter dan  $e_{gem}$ , waardoor  $I_p$  groter dan 1 wordt. Bij een grond met een gemiddelde pakking is  $I_p$  gelijk aan 1. Voor een dichte grond is  $e_a$  kleiner dan  $e_{gem}$ , wat een  $I_p$  kleiner dan 1 oplevert.

De poriënindex kan ook in andere bodemfysische grootheden dan het poriëngetal worden uitgedrukt, zoals de poriënfractie ( $\phi_p$ ), de dichtheid van stoofdrome grond ( $\rho_d$ ), en het massieke volume van stoofdrome grond ( $v_d$ ). Voor veel gronden is een vertaalfunctie beschikbaar waarmee het gemiddelde massieke volume kan worden afgeleid uit de samenstelling van de grond. Om die reden gaan we voor de berekening van de poriënindex uit van het massieke volume van stoofdrome grond ( $v_d$ ). Dit is de reciproke van  $\rho_d$ , dus:

$$v_d = \frac{V_t}{m_{m+h}} \quad (5)$$

Voor het poriëngetal  $e$  valt af te leiden:

$$e = \frac{v_d}{v_{m+h}} - 1 \quad (6)$$

Het hierin voorkomende massieke volume van de vaste fase ( $v_{m+h}$ ) is te berekenen met:

$$v_{m+h} = v_h \cdot f_h + v_m \cdot f_m \quad (7)$$

waarin:  $v_h$  = massiek volume van de organische stof (=  $0,68 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ ),

$f_h$  = organische-stofgehalte,

$v_m$  = massiek volume van de minerale delen (=  $0,38 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ ),

$f_m$  = massafractie minerale delen.

Substitutie van 6 in 4 geeft:

$$I_P = \frac{v_{da} - v_{m+h}}{v_{d(gem)} - v_{m+h}} \quad (8)$$

waarin:  $v_{da}$  = actueel massiek volume van stoofdroke grond,

$v_{d(gem)}$  = gemiddeld massiek volume van stoofdroke grond.

#### BEPALING VAN DE GEMIDDELDE DICHTHEID VAN STOOFDROGE GROND

In tegenstelling tot de dichtheid van de vaste fase is de dichtheid van stoofdroke grond niet uitsluitend afhankelijk van de samenstelling van de grond. Reeds bij de afzetting en de daarop volgende bodemvorming kunnen verschillen in dichtheid van stoofdroke grond ontstaan (Brauckhoff, 1969; Krabbenborg & Van der Sluijs, 1976; Hoekstra & Poelman, 1984). In alluviale afzettingen veroorzaakt fysische rijping een toename van de dichtheid van stoofdroke grond (Zuur, 1958; Rijniersce, 1983). Zwel en



krimp door veranderingen in vochtgehalte leiden bij kleigronden (Harris, 1964) en bij veengronden (Schothorst, 1978) tot periodieke fluctuaties in de dichtheid van stoofdroge grond. Menselijke activiteiten kunnen de dichtheid van stoofdroge grond eveneens doen dalen (ploegen) of doen toenemen (berijden). De actuele dichtheid van stoofdroge grond vertoont dan ook voor elke grond een zekere spreiding rond het voor die grond geldende gemiddelde. Dit gemiddelde is de schatting van de verwachtingswaarde die met een regressie-analyse is te berekenen.

In de literatuur zijn verschillende modellen te vinden om de gemiddelde dichtheid van stoofdroge grond of het gemiddelde volume uit de samenstelling van de grond te schatten (Curtis & Post, 1964; Jeffrey, 1970; Stewart et al., 1970; Williams, 1971; Adams, 1973; Alexander, 1980; Hoekstra & Poelman, 1982). In humushoudende gronden is het organische-stofgehalte wegens zijn overheersende invloed steeds als verklarende variabele opgenomen. Toevoeging van een groot aantal andere variabelen verhoogt de schattingsnauwkeurigheid gewoonlijk slechts in geringe mate. Bovendien kan het effect van een variabele bij de ene grond wel en bij een andere niet significant zijn (Williams, 1971; Alexander, 1980; Hoekstra & Poelman, 1982). Mede gelet op de veel grotere invloed die een niet-grondgebonden factor zoals menselijke activiteit heeft, kan voor een redelijke schatting van de gemiddelde  $\rho_d$  of  $v_d$  met slechts enkele variabelen worden volstaan.

Het model van Hoekstra & Poelman (1982) geeft voor zavel- en kleigronden een schatting van het gemiddelde massieke volume van stoofdroge grond uit het organische-stofgehalte en het lu-

tumgehalte:

$$v_{d(\text{gem})} = b_0 + b_1 \cdot f_h + b_2 \cdot f_{Ld} \quad (9)$$

waarin:  $f_h$  = organische-stofgehalte,

$f_{Ld}$  = lutumgehalte van stoofdroge grond,

$b_0$ ,  $b_1$  en  $b_2$  zijn regressiecoëfficiënten.

Voor pleistocene zandgronden is alleen het organische-stofgehalte de verklarende variabele.

De bij dit model behorende regressiecoëfficiënten zijn opgenomen in tabel 1. De gegevens hebben betrekking op fysisch gerijpte gronden bij veldcapaciteit. Van löss geven Hoekstra & Poelman wegens het beperkte aantal analysegegevens alleen het rekenkundig gemiddelde van het massieke volume van stoofdroge grond (tabel 2). Daar Ap- en C-horizonten in löss een geringe variatie in organische-stofgehalte hebben, geeft het rekenkundig gemiddelde een goede benadering. Voor horizonten in holoceen zand zijn regressiecoëfficiënten opgenomen in tabel 3. Bij de C-horizonten, die uiterst humusarm zijn, is de mediaan van de zandfractie (M50) de verklarende variabele.

Het actuele en het geschatte gemiddelde massieke volume van stoofdroge grond leveren bij substitutie in vergelijking 8 de poriënindex op.

## DISCUSSIE

Bij het definiëren van de poriënindex zijn we uitgegaan van het poriëngetal ( $e = V_p/V_{m+h}$ ) en niet van de poriënfractie ( $\phi_p = V_p/V_t$ ). De poriënfractie is namelijk minder aantrekkelijk om verschillen in pakking van de grond aan te geven. Een verschil in pakking ontstaat immers door een verandering in het volume aan poriën. Deze veroorzaakt een zelfde verandering in het totale volume ( $V_t$ ). Bij gebruik van de poriënfractie zou men dus van een verschillende vergelijkingsbasis uitgaan. Het volume aan vaste delen ( $V_{m+h}$ ) blijft daarentegen constant. Bij gebruik van het poriëngetal heeft men dus wel een constante vergelijkingsbasis. Voorbeeld: 100 cm<sup>3</sup> van een grond met een gemiddelde pakking heeft 45 cm<sup>3</sup> aan poriën. Door verdichting daalt het volume aan poriën met 10 cm<sup>3</sup>. De poriënfractie neemt daarbij af van  $45/100 = 0,45$  tot  $(45 - 10)/(100 - 10) = 0,39$ . Na verdichting is de verhouding tussen beide poriënfracties  $0,39/0,45 = 0,86$ . Door de verdichting vermindert het poriëngetal van  $45/55 = 0,82$  tot  $(45 - 10)/55 = 0,64$ . De poriënindex is nu  $0,64/0,82 = 0,78$ . Als verhouding tussen het nieuwe en het oorspronkelijke gemiddelde volume aan poriën wordt eveneens  $(45 - 10)/45 = 0,78$  gevonden en niet 0,86 zoals bij de poriënfractie.

De poriënindex ( $I_p$ ) geeft een zelfde rangorde in dichtheid van gronden als de relatieve dichtheid ( $D$ ) (figuur 1). In dat opzicht komen beide systemen met elkaar overeen en zijn zij gelijkwaardig. De poriënindex verstrekt echter meer informatie. Zij geeft tevens aan hoeveel dichter dan gemiddeld een grond is. Zo hebben de dichtste bovengronden van sportvelden in figuur 1

een  $I_p$  van 0,5. In deze lagen bedraagt het volume aan poriën per volume-eenheid vaste delen nog slechts de helft van wat als het gemiddelde volume aan poriën wordt gevonden.

De losse bovengronden in figuur 1 hebben een  $I_p$  van 1,15 en daarmee een matig losse pakking (tabel 4). De  $I_p$  kan echter nog aanmerkelijk hoger zijn, zodat voor de berekening van  $D$  van een veel lossere pakking dan de experimenteel bepaalde waarde moet worden uitgegaan.

Voor de schatting van het gemiddelde massieke volume van stoofdroge grond is gekozen voor het model van Hoekstra & Poelman (1982). Van dit model zijn voor een groot deel van de Nederlandse gronden regressiecoëfficiënten beschikbaar, waarmee het gemiddelde massieke volume van stoofdroge grond te berekenen is. Tevens bleek dit model, evenals het model van Adams (1973), bij toetsing met het organische-stofgehalte als variabele de beste schatting van het gemiddelde massieke volume van stoofdroge grond op te leveren. Van de variantie kon 82% ermee worden verklaard. Met tien verklarende variabelen was dit percentage slechts tot 84% te verhogen.

Het model van Hoekstra & Poelman en dat van Adams zijn in feite aan elkaar gelijk. Adams (1973) geeft als model:

$$\rho_d(\text{gem}) = \frac{1}{\frac{f_h}{\rho_{dh}(\text{gem})} + \frac{(1 - f_h)}{\rho_{dm}(\text{gem})}} \quad (10)$$

waarin:

$$\rho_{dh} = \frac{\text{massa organische stof}}{\text{volume organische stof + daarbij behorende poriën}}$$

$$\rho_{dm} = \frac{\text{massa minerale delen}}{\text{volume minerale delen + daarbij behorende poriën}}$$

gem = gemiddeld.

Volgens dit model wordt de gemiddelde dichtheid van stoofdrome grond dus op overeenkomstige wijze als de dichtheid van de vaste delen uit de organische en de minerale component afgeleid. Het model van Adams is te schrijven als:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\rho_{d(\text{gem})}} &= \frac{1}{\rho_{dh(\text{gem})}} \cdot f_h + \frac{1}{\rho_{dm(\text{gem})}} \cdot (1 - f_h) = \\ &= \frac{1}{\rho_{dm(\text{gem})}} + \left( \frac{1}{\rho_{dh(\text{gem})}} - \frac{1}{\rho_{dm(\text{gem})}} \right) \cdot f_h \end{aligned}$$

$$\text{of: } v_{d(\text{gem})} = b_0 + b_1 \cdot f_h \quad (11)$$

hetgeen de door Hoekstra & Poelman (1982) voor zandgronden gegeven vergelijking oplevert. Daarin is de regressiecoëfficiënt  $b_0$  gelijk aan  $v_{dm(\text{gem})}$  (= reciproke van  $\rho_{dm(\text{gem})}$ ), zie 10) en is  $b_1 + b_0$  gelijk aan  $v_{dh(\text{gem})}$  (= reciproke van  $\rho_{dh(\text{gem})}$ ), zie 10).

#### TOEPASSINGEN VAN DE PORIENINDEX

Voor de grenzen in een pakkingsclassificatie verschaffen literatuurgegevens en profielbeschrijvingen geen ondubbelzinnige aan-

knopingspunten. De daarin gegeven beoordeling van de pakking van gronden met een overeenkomstige samenstelling en dichtheid, vertoont nogal wat variatie. Zij lijkt persoonsgebonden en mede beïnvloed door de gebruikswijze. Verder is de tendens waarneembaar een wat dichtere laag in een overigens los profiel eerder als dicht te beoordelen dan een zelfde laag in een minder los profiel. De gekozen grenzen zijn dus subjectief.

Toepassing van de poriënindex biedt de mogelijkheid om de pakking objectief te beoordelen en definitieve grenzen vast te stellen. Een klasseïndeling op basis van de poriënindex is gegeven in tabel 4. Onderscheiden zijn drie klassen voor gronden met een dichte, een normale en een losse pakking. De dichte en de losse pakking zijn onderverdeeld in matig en zeer dicht/los. Het is echter nog de vraag of deze onderverdeling in de praktijk ook te onderscheiden is.

Van de in tabel 4 gegeven indeling komen in de klasse "normaal" de gronden met een pakking rond de gemiddelde waarde ( $I_p = 1$ ). Bij het vaststellen van de grenzen hebben we rekening gehouden met de spreiding van de poriënindex. Met de restvariantie die Hoekstra & Poelman (1982, tabel 13) bij de meervoudige regressie-analyse voor gerijpte kleigronden geven, is hiervan een schatting te maken. Globaal genomen valt in elk van de drie klassen 1/3 deel van de A-horizonten. Van de C-horizonten, waarin de spreiding van de pakking geringer is, komt ruim 40% in de klasse "normaal" terecht. De onderverdeling in matig en zeer los (resp. dicht) splitst de A-horizonten in ongeveer gelijke delen en de C-horizonten in de verhouding van circa 2 : 1. Jager (1985) heeft van een groot aantal lichte zavelgronden nauwkeu-

rige profielbeschrijvingen gemaakt. Uit niet-gepubliceerde basisgegevens blijkt een  $I_p$  van 0,92 goed overeen te komen met de grens tussen niet en wel verdichte C-horizonten.

Figuur 2 geeft een vergelijking tussen de poriënindex van de bouwvoor en de visuele structuurbeoordeling (0 = zeer slecht, 10 = zeer goed). Van de bouwvoren die volgens de poriënindex-classificatie als dicht worden benoemd, blijkt de structuur met minder dan 5+ te worden beoordeeld. De klasse los heeft een visuele structuurbeoordeling van meer dan 6½.

In tabel 5 zijn bodemfysische karakteristieken opgenomen van drie lagen in de bovengrond van grasland. Afgaand op de dichtheid van stoofdroge grond ( $\rho_d$ ) en de poriënfractie ( $\phi_p$ ) heeft van profiel a de laag 9-14 cm de losste pakking en is die van de beide andere lagen ongeveer gelijk. Dit beeld is door het verschil in organische-stofgehalte echter sterk vertekend en komt niet met de werkelijkheid overeen. In feite heeft, zoals de poriënindex laat zien, de laag 3-8 cm een zeer dichte pakking, terwijl de pakking van de daaronder gelegen lagen vrijwel aan elkaar gelijk is.

Profiel b (tabel 5) heeft betrekking op de C-horizont van een humuspodzolgrond waarin door humusinspoeling op 90-120 cm een waterhardlaag is ontstaan. De dichtheid van stoofdroge grond ( $\rho_d$ ) en de poriënfractie ( $\phi_p$ ) van beide lagen verschillen nauwelijks. Ondanks het vrij beperkte verschil in organische-stofgehalte wijst ook hier de poriënindex er duidelijk op dat de waterhardlaag een dichtere pakking heeft, veroorzaakt door inspoeling van humus.

De vergelijking in pakking kan ook betrekking hebben op

verschillende profielen. In de zodelaag van grasland komen aanmerkelijke verschillen voor in organische-stofgehalte. Alleen met de poriënindex is dan een reële vergelijking van de pakking mogelijk. Zo blijkt de zodelaag van de als dicht bekendstaande indrogende veengronden en van veengronden met een toemaakdek een zeer lage poriënindex te hebben. Met een  $I_p$  van 0,6 à 0,7 kan de zode van deze gronden even dicht zijn als de top laag van intensief bespeelde voetbalvelden.

Ploegzolen komen zowel in lichte zavel- als in zware kleigronden voor. Met de poriënindex is, ondanks verschillen in lutumgehalte, een vergelijking van de pakking mogelijk. Ploegzolen vertonen een grote spreiding in pakking. Sommige vallen met een  $I_p$  van 0,9 net in de klasse "matig dicht", andere, met een  $I_p$  van 0,7 of lager, duidelijk in de klasse "zeer dicht".

Zeer losse pakkingen, met een  $I_p$  van 1,2 à 1,4, komen voor in gronden met een kruimelstructuur en voorts in aardappelruggen. Eveneens in profielen die na drooglegging fysisch gerijpt zijn (IJsselmeerpolders en droogmakerijen), kan de poriënindex hoog zijn. In deze gronden is een  $I_p$  van 1,3 à 1,7 voor C-horizonten met een stevige consistentie niet uitzonderlijk. Gewoonlijk zijn gronden met een  $I_p$  vanaf circa 1,5 echter minder stevig en niet volledig gerijpt. Niet volledig gerijpte gronden hebben een hoge  $I_p$ , die voor slap en ongerijpt materiaal kan oplopen tot meer dan 4. We hebben nog niet nagegaan of de poriënindex een bruikbare maat is om de fysische rijping te karakteriseren.

Met de poriënindex is het effect van verschillende systemen van grondbewerking op de pakking te vergelijken (tabel 6).



Omdat de gegevens in tabel 6 betrekking hebben op een zelfde grond, wijst hier een hogere poriënfractie ook op een lossere pakking. Wel moet men voor een beoordeling in termen als los en dicht bij de poriënfractie tevens weten wat de gemiddelde  $\phi_p$  voor de betrokken grond is. Volgens de poriënindex blijken losse-grondsteelt en rationele grondbewerking een bouwvoor op te leveren met een normale pakking en een toplaag die matig los is. Blijft grondbewerking achterwege, zoals bij de vaste-grondsteelt, dan wordt de bouwvoor matig dicht.

Bepaalde bodemfysische relaties, zoals de vocht karakteristiek en de  $k(h)$ -relatie, zijn mede afhankelijk van de pakking. Representatieve waarden dienen betrekking te hebben op een ongeveer met het gemiddelde overeenkomende pakking van die grond. Met de poriënindex is dit na te gaan.

#### SAMENVATTING

Tot nu toe bestond er geen goede karakteristiek om de pakking van gronden te vergelijken. De dichtheid van stoofdroge grond kan men alleen gebruiken om gronden van gelijke samenstelling en met een zelfde organische-stofgehalte te vergelijken. De relatieve dichtheid (Schothorst, 1968; Van Wijk, 1980) heeft als bezwaar dat de minimale en de maximale pakking, die nodig zijn bij de berekening, moeilijk objectief te bepalen zijn.

Met de hier voorgestelde poriënindex is de subjectieve praktijkbeoordeling van de pakking te kwantificeren. De poriënindex is de verhouding tussen het actuele en het gemiddelde

poriëngetal. Hiermee wordt aangegeven hoeveel maal het actuele volume aan poriën per volume-eenheid vaste delen groter of kleiner is dan het gemiddelde van gronden met die samenstelling. Een poriënindex groter dan 1 wijst op een grond die losser is dan gemiddeld, terwijl voor een dichtere grond de poriënindex kleiner is dan 1. Voor schatting van gemiddelde waarden wordt een vertaalfunctie gegeven.

#### LITERATUUR

Adams, W.A., 1973. The effect of organic matter on the bulk and true densities of some uncultivated podzolic soils. *J. Soil Sci.* 24 (1): 10-17.

Alexander, E.B., 1980. Bulkdensities of California soils in relation to other soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44 (4): 689-692.

Boone, F.R. (ed.), 1984. Experiences with three tillage systems on a marine loam soil II: 1976-1979. A joint study of the Westmaas Research Group on New Tillage Systems, carried out on the Westmaas Experimental Husbandry Farm. PUDOC, Wageningen.

Brauckhoff, K., 1969. Trockendichte und Verdichtungsgrad natürlich abgelagerter und künstlich aufgebrachtter Strand- und Dünenande. *Wasserwirtschaft-Wassertechnik* 19 (6): 198-199.

Curtis, R.O. & B.W. Post, 1964. Estimating bulk densities from organic-matter content in some Vermont forest soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 28 (2): 285-286.

Harris, S.A., 1964. Seasonal density changes in the alluvial soils of northern Iraq. 8th Intern. Congress of Soil Sci.: 291-303. Bocharest, Romania.

Hoekstra, C. & J.N.B. Poelman, 1982. Dichtheid van gronden gemeten aan de meest voorkomende bodemeenheden in Nederland. Rapport nr. 1582. STIBOKA, Wageningen. 47 blz.

Hoekstra, C. & J.N.B. Poelman, 1984. Dichtheid van Nederlandse zandgronden. In: E.C.W.M. Ruyten, P. van der Sluijs en A.A. de Veer (ed.), Bodem en landschap kwalitatief en kwantitatief bekeken. PUDOC, Wageningen. Blz. 78-85.

Huizinga, T.K., 1969. Grondmechanica en haar toepassingen bij grond en kunstwerken. Vierde herziene druk. Agon Elsevier, Amsterdam/Brussel.

Jager, A., 1985. Effect van diepe grondbewerkingen op mariene gronden, met name de lichte zavelgronden, in zuidwest-Nederland. In: Themadag effecten van diepe grondbewerking in de akkerbouw en de vollegrondsteelt. Verslag nr. 42. PAGV, Lelystad. Blz. 49-60.

Jeffrey, D.W., 1970. A note on the use of ignition loss as a means for the approximate estimation of soil bulk density. *J. Ecol.* 58: 297-299.

Jumikis, A.R., 1962. *Soil mechanics*. Nostrand, Princeton, New Jersey.

Krabbenborg, A.J. & P. van der Sluijs, 1976. Standaard-pF gegevens van dekzandgronden. *Cultuurtechn. Tijdschr.* 15 (6): 291-298.

Rijniersce, K., 1983. Een model voor simulatie van het fysische rijpingsproces van gronden in de IJsselmeerpolders. Wageningen.

Schothorst, C.J., 1968. De relatieve dichtheid van humeuze gronden. *Ingenieur* 80 (2): B 1-B 8.

Schothorst, C.J., 1978. Het zakkingsproces bij ontwatering van de westelijke veenweidegronden. *Landbouwk. Tijdschr.* 90 (6): 167-175.

Stewart, V.I., W.A. Adams & H.H. Abdulla, 1970. Quantitative pedological studies on soils derived from silurian mudstones. II The relationship between stone content and apparent density of the fine earth. *J. Soil Sci.* 21 (2): 248-255.

Wijk, A.L.M. van, 1980. A soil technological study on effectuating and maintaining adequate playing conditions of grass sports fields. PUDOC, Wageningen.

Wijk, A.L.M. van & J. Beuving, 1984. Relative density: a characterization of the degree of compaction of soils. Z. Vegetationstechn. 7: 90-94.

Williams, R.J.B., 1971. Relationships between the composition of soils and physical measurements made in them. In: Rothamsted Experimental Station, report for 1970, part 2: 5-35. Lawes, Harpenden.

Zuur, A.J., 1958. Bodemkunde der Nederlandse bedijkingen en droogmakerijen. Deel c: Het watergehalte, de indroging en enkele daarmee samenhangende processen. Directie van de Wieringermeer (NOP), Landbouwhogeschool (Afd. Natte Ontginning), Wageningen.

Tabel 1 Regressiecoëfficiënten van de vergelijking:

$$v_d(\text{gem}) = b_0 + b_1 \cdot f_h + b_2 \cdot f_{Ld}; \text{ ontleend aan Hoekstra \& Poelman (1982)}$$

( $n$  = aantal analysegegevens)

Grondsoort	Horizont	$b_0$ ( $\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$ )	$b_1$ ( $\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$ )	$b_2$ ( $\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$ )	$n$
Zeeklei	A	0,597	3,50	0,09	394
Zeeklei	C	0,628	1,55	0,24	397
Rivierklei	A	0,618	2,30	0,07	87
Rivierklei	C	0,572	0,53	0,39	229
Pleistoceen zand	A en B2	0,637	2,57	.	964
Pleistoceen zand	C	0,598	3,55	.	518

Tabel 2 Het rekenkundig gemiddelde van het massieke volume van stoofdroge grond van horizonten in löss; ontleend aan Hoekstra & Poelman (1982) ( $n$  = aantal analysegegevens)

Horizont	$v_d(\text{gem})$ ( $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ )	$n$
Ap	0,703	18
B2, B3 en BC	0,645	29
C	0,660	19

Tabel 3 Regressiecoëfficiënten voor A-horizonten ( $v_{d(\text{gem})} = b_0 + b_1 \cdot f_h$ )  
 en C-horizonten ( $v_{d(\text{gem})} = b_0 + b_2 \cdot M50$ , waarin M50 uitgedrukt in cm)  
 in holoceen zand ( $n$  = aantal analysegegevens)

Horizont	$b_0$ ( $\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$ )	$b_1$ ( $\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$ )	$b_2$ ( $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$ )	$n$
A	0,636	3,60		41
C	0,738		5	163



Tabel 4 Een klasseïndeling van de pakkingsdichtheid, gebaseerd op de poriënindex ( $I_p$ )

Pakking	$I_p$
dicht	$\begin{cases} \text{zeer dicht} & < 0,93 \\ \text{matig dicht} & < 0,80 \end{cases}$
normaal	0,93-1,07
los	$\begin{cases} \text{matig los} & > 1,07 \\ \text{zeer los} & > 1,20 \end{cases}$

Tabel 5 Organische-stofgehalte  $f_h$  ( $g\ g^{-1}$ ), lutumgehalte van stoofdroge grond  $f_{Ld}$  ( $g\ g^{-1}$ ), dichtheid van stoofdroge grond  $\rho_d$  ( $g\ cm^{-3}$ ), poriënfractie  $\phi_p$  ( $cm^3\ cm^{-3}$ ) en poriënindex  $I_p$  van een poldervaaggrond in zeeklei (a) en een humuspodzolgrond met waterhardlaag (b)

Profiel	Horizont	Diepte (cm)	$f_h$	$f_{Ld}$	$\rho_d$ ( $g\ cm^{-3}$ )	$\phi_p$	$I_p$
a	A1	3-8	0,108	0,19	1,33	0,45	0,72
a	A1	9-14	0,081	0,19	1,21	0,51	1,02
a	A/C	20-25	0,036	0,24	1,40	0,46	1,00
b	"B"	90-120	0,017	.	1,74	0,34	0,68
b	C	140-160	0,005	.	1,75	0,34	0,83

Tabel 6 Poriënfractie ( $\phi_p$ ) en poriënindex ( $I_p$ ) bij verschillende systemen van grondbewerking (poldervaaggrond in zeeklei,  $f_h = 0,023$  en  $f_{Ld} = 0,20$ ; gegevens ontleend aan Boone (1984))

Diepte (cm)	Losse-		Rationele		<u>Vaste-grondsteelt met</u>			
	gronds-		grondbe-		rooi-		granen	
	<u>teelt</u>		<u>werking</u>		<u>vruchten</u>			
	$\phi_p$	$I_p$	$\phi_p$	$I_p$	$\phi_p$	$I_p$	$\phi_p$	$I_p$
2-7	0,470	1,10	0,474	1,12	0,447	1,00	0,427	0,91
12-17	0,463	1,07	0,464	1,07	0,398	0,82	0,405	0,85
22-27	0,461	1,06	0,444	0,99	0,411	0,87	0,417	0,89

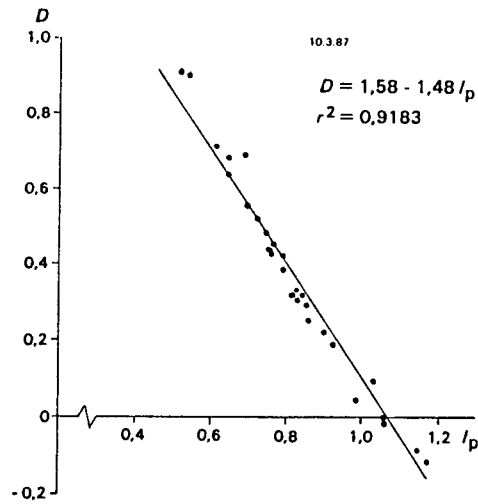


Fig. 1 Vergelijking tussen de poriënindex ( $I_p$ ) en de relatieve dichtheid ( $D$ ), naar gegevens van Van Wijk & Beuving (1984)

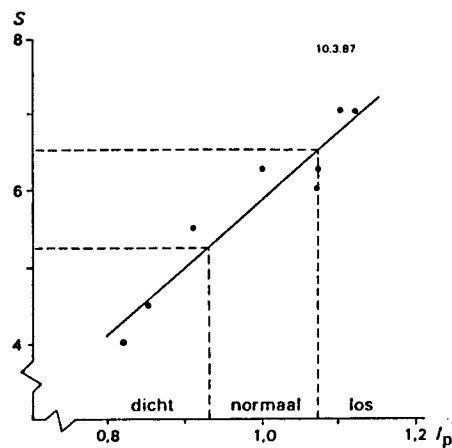


Fig. 2 Poriënindex ( $I_p$ ) en visuele beoordeling van de structuur ( $S$ ; 0 = zeer slecht, 10 = zeer goed); gegevens ontleend aan Boone (1984)