

# OVER DE BETEKENIS VAN DE ZG. PERFORATIEGRAAD ALS ONDERDEEL VAN HET PROFIELONDERZOEK

## THE SO-CALLED PERFORATION DEGREE AND ITS SIGNIFICANCE TO SOIL PROFILE INVESTIGATIONS

door/by

A. Jongerius<sup>1)</sup> en A. Reijmerink<sup>1)</sup>

### INHOUD

1. Inleiding . . . . .	178
2. Het begrip perforatiegraad . . . . .	180
3. Het verband tussen de perforatiegraad en de doorlatendheid . . . . .	182
4. Is er een verband tussen de perforatiegraad en de dierlijke activiteit? . . . . .	183
5. Summary . . . . .	191
6. Literatuur . . . . .	191

### 1. INLEIDING

In vele slibhoudende gronden vindt men een min of meer sterk ontwikkeld, vanaf 10 à 20 cm beneden maaiveld hoofdzakelijk verticaal gericht stelsel van al dan niet onderling verbonden open gangen en gangetjes. Deze kunnen zowel door plantewortels als door bodemdieren zijn ontstaan. In de volgende bladzijden zullen we speciaal ingaan op de door de fauna gemaakte perforaties.

In een fluviatiel of marien sediment kunnen reeds gedurende de opslibbing door dieren gemaakte gangen ontstaan. Zo werd door Doeksen (1961 en mond. meded.) proefondervindelijk aangetoond, dat bepaalde aquatische wormsoorten (*Tubificidae*), die in ondiep, stromend zoet water leven, in slibrijke sedimenten een stelsel van vrij brede, onderling verbonden open gangetjes vormen: de door Jongerius (1957) beschreven grof-poreuze sponsstructuur uit de ondergrond van beddingprofielen. Ook de structuur van het verse mariene sediment kan door diverse dieren sterk worden beïnvloed (Van Straaten, 1951). Uit eigen waarneming weten we, dat hieronder ook wormachtige dieren zijn die open gangen maken; althans bleek dit het geval in slibhoudende slikken langs de Wester-Schelde.

Dit initiale zoögene gangenstelsel bevordert – uiteraard indien voldoende wordt ontwaterd – een goede fysische en chemische rijping van het sediment, doch hierdoor wordt tevens de gehele of gedeeltelijke opheffing van dit perforatiesysteem vaak ingeluid. Gedurende en na de fysische en chemische rijping begint namelijk een andere fauna op te treden, die het initiale structuurbeeld aanzienlijk kan wijzigen. Tot de belangrijkste vertegenwoordigers van die fauna behoren de regenwormen (*Lumbricidae*), de enchytraeën (*Enchytraeidae*) en de grote groep der z.g. *microarthropoden* (o.m. Kühnelt, 1950, 1957, 1958).

Reeds sinds de publikaties van White (1777) en vooral van Darwin (1881) is bekend, dat met name de regenwormen een grote invloed op de bodemgesteldheid kunnen uitoefenen. Uit het werk van deze onderzoekers en dat

<sup>1)</sup> Micropedoloog en assistent-micropedoloog van de Stichting voor Bodemkartering.

van hun vele navolgers bleek, dat de regenwormen structuurverbeterend werken of een goede structuur handhaven, terwijl ze eveneens de chemische bodemvruchtbaarheid zouden verhogen. De structuurverbetering omvat het scheppen van gunstiger grond-water-lucht-verhoudingen in de bodem en de verhoging van de structuurstabiliteit (vorming van goede humus en intensieve menging van de grond met slijmstoffen).

Ofschoon het Darwin reeds bekend was, dat ook de diepere bodemlagen door de regenwormen kunnen worden beïnvloed, beperkte men zich gedurende lange tijd voornamelijk tot de studie van het effect van de wormenactiviteit op de bovenste grondlaag. Eerst vrij recent is men meer doelbewust onderzoek gaan verrichten naar het effect van de activiteit van deze dieren op het profiel als geheel. Zo kwam Hoeksema (1953) tot de conclusie, dat de geogene gelaagdheid hierdoor ten dele of geheel kan worden opgeheven: de homogeniserende werking van regenwormen. Tevens kunnen ze belangrijke hoeveelheden goed gehumificeerde organische stof in diepere lagen afzetten – de humeuze gangbepleisteringen – en de ondergrond sterk perforeren (o.m. Hoeksema, Jongerius en Van der Meer, 1957).

Ook enchytraeën kunnen de grond vrij diep perforeren. Daar deze gangtjes echter zeer smal zijn, valt het perforerend effect van deze diertjes kwantitatief doorgaans in het niet bij dat van de regenwormen. Slechts in gronden met hoge grondwaterstanden of met vrij dichte bovengronden, die periodiek zeer nat zijn – onder milieu-omstandigheden dus, die voor de meeste regenwormsoorten zeer ongunstig zijn – kan de activiteit van de enchytraeën relatief belangrijk blijken.

Wordt nu een grond intensief en diep door dieren geperforeerd, dan zullen hierdoor dus de doorlatendheid en de luchtverversing in grote mate worden verhoogd. Om een inzicht te krijgen in de zoögene bijdrage aan deze fysische grootheden, is uiteraard een kwantificering van de mate van perforatie op verschillende niveaus in de grond noodzakelijk. Hiertoe dient men tellingen van de aantallen zoögene gangen te verrichten. Het beeld, dat men zodoende verkrijgt is echter eigenlijk niet geheel correct. Men telt te velde namelijk de geheel of nog grotendeels open gangen; het is moeilijk tevens de min of meer dichtgedrukte te tellen. Ook deze gangen echter, die soms in grote aantallen kunnen optreden, zijn mede bepalend voor de doorlatendheid en de luchtverversing. Tevens zijn deze gangen juist zeer belangrijk als bewortelingsbanen voor het gewas. Slechts op het laboratorium kunnen ze exact kwantitatief worden bepaald met behulp van „mammoet“-slijpplaten (Jongerius en Heintzberger, 1963; Jongerius, 1962). Daar deze slijpplaten niet meer dan maximaal ca. 120 cm<sup>2</sup> oppervlakte hebben, zullen de metingen met enige herhalingen moeten worden verricht.

Er zou nog een tweede belangrijke reden zijn voor de kwantificering van de open zoögene gangen: volgens Hoeksema en Op 't Hof (1960) kan men hierdoor namelijk een inzicht krijgen in het verloop van de wormenactiviteit in boven- en ondergrond. Het nauwkeurige meten van die activiteit is reeds lang een groot probleem. Men tracht het op vele manieren te doen, o.m. door tellen – al dan niet naar soorten gedifferentieerd – van het aantal regenwormen in bepaalde volumina grond; het vaststellen van hun gewicht per m<sup>2</sup> of per ha over zekere diepten; het meten van excrementproducties, etc. (o.m. Stöckli, 1958). De resultaten van de verschillende onderzoekers zijn slecht vergelijkbaar door de zeer verschillende vangmethoden, bemonsteringsoppervlakten, -diepten en -omstandigheden (Wilcke, 1955). Is de

interpretatie van die gegevens reeds moeilijk, van de wormenactiviteit in de diepere bodemlagen geven ze doorgaans in het geheel geen of slechts een zeer onbetrouwbaar beeld.

## 2. HET BEGRIP „PERFORATIEGRAAD”

Sinds enige jaren worden in Nederland in vele profielen tellingen van het aantal open zoëgene gangetjes op meerdere, recht onder elkaar liggende, horizontale niveaus verricht. Het aantal aldus getelde perforaties per m<sup>2</sup> horizontale doorsnede wordt perforatiegraad genoemd (Hoeksema en Op 't Hof, 1960).

Dit is dus de perforatiegraad in engere zin; die in wijdere zin omvat tevens de gangen die door wortels zijn gemaakt.

Technisch is de bepaling zeer eenvoudig, zij het tijdrovend. In één der wanden van een profielkuil steekt men op de gewenste diepte een horizontaal vlak glad af en wrikt nu van een bepaald oppervlak het bij het steken dichtgesmeerde bovenlaagje met een mes los; alle open gangen worden zo zichtbaar en vervolgens geteld. Deze handelingen worden, van boven naar beneden werkende, op een aantal niveaus herhaald.

De door de regenwormen gemaakte perforaties zijn over het algemeen goed te herkennen. Vrijwel alle regenwormsoorten bepleisteren namelijk de wanden van hun gangen met hun uitscheidingsprodukten.

Meestal zijn die bekledingen donkerder dan het omliggende bodemmateriaal ten gevolge van een hoger organische-stofgehalte (Hoeksema, Jongerius en Van der Meer, 1957; Stöckli, 1958). Men dient echter bedacht te zijn op het feit, dat niet alle soorten de gangen even intensief bepleisteren. Bij potproeven<sup>1)</sup> met enige wormsoorten op allerlei mengsubstraten van klei en diverse organische stoffen bleek ons namelijk, dat *Lumbricus terrestris*, *Allolobophora longa* en *A. caliginosa* hun gangen steeds gesloten bepleisteren, terwijl dit b.v. door *Allolobophora chlorotica* en *A. rosea* pleksgewijs wordt gedaan. Ontbreken de humeuze bepleisteringen, dan kan men echter toch vaststellen of een gang door regenwormen is gemaakt: ze laten namelijk alle op de wanden typische ribbelingen na, die haaks op de lengte-as van de gangen staan. De ribbelingen zijn kennelijk afdrukken van de wormlichamen. Ofschoon ze in zwaardere gronden het meest geprononceerd zijn ontwikkeld, kan men de afdrukken ook in zavelige lagen nog herkennen.

De te tellen gangen worden naar hun diameters meestal in drie klassen onderverdeeld, te weten:

gangen < 2 mm diam., gangen van 2-4 mm en gangen > 4 mm diam.

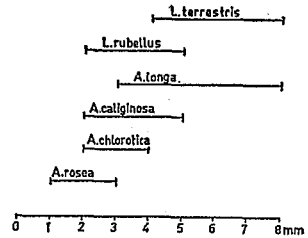
Deze indeling is niet willekeurig. De zoëgene gangen > 2 mm diam. zijn altijd goed als zodanig herkenbaar, daar het vrijwel alle wormgangen zijn. De 4 mm-grens werd aangehouden om de gangen van de volwassen grotere soorten te scheiden van de overige. Nader onderzoek heeft echter twijfel doen rijzen aan de juistheid van deze grens. Metingen aan het materiaal van de reeds eerder genoemde potproeven leverden namelijk het in fig. 1 weergegeven overzicht van gangdiameters van een aantal veel voorkomende regenwormsoorten.

<sup>1)</sup> Deze proeven zijn een onderdeel van een onderzoek naar de morfologie van excrementen van bodemdieren en de veranderingen van die excrementen met de tijd. Dit onderzoek is mogelijk dank zij een persoonlijke Z.W.O.-subsidie.

Fig. 1.

Diameter in mm's der gangen van volwassen exemplaren van enige regenwormsoorten.

Diameter in mm of tubes formed by adult specimens of some earthworm species.



Men ziet daaruit, dat alleen gangen van meer dan 5 mm doorsnede zeker door de beide grote, diepgravende soorten *Lumbricus terrestris* en *Allolobophora longa* zijn gemaakt. Opmerkelijk is verder, dat van de in de proef opgenomen soorten alleen volwassen exemplaren van *Allolobophora rosea* gangen kunnen maken die kleiner dan 2 mm in doorsnede zijn. Dit zou betekenen, dat de regenwormgangetjes in de kleinste perforatieklasse vrijwel alle door jonge dieren worden gemaakt. De smalle zoëgene gangetjes kunnen echter ook van enchytraeën of tubifexsoorten afkomstig zijn. De gangetjes van de laatste kan men slechts in de ondergrond van stroombeddingprofielen aantreffen of in uiterwaardprofielen, waar ze tot vrijwel aan het maaiveld kunnen voorkomen. In tegenstelling tot de regenwormgangetjes zijn deze niet alle uitgesproken verticaal georiënteerd, doch verlopen ze ook vaak min of meer gebogen of kronkelig. Tevens hebben ze doorgaans een gladde, niet-humeuze bekleding waaruit vaak blanke afgeërodeerde zandkorreltjes steken. Voor de enchytraeën-gangetjes bestaan nog geen goede morfologische kenmerken. Men vindt ze in groten getale voornamelijk in dichtere bovengronden, die periodiek of voortdurend nat zijn. Naast de aanwezigheid van de dieren zelf is dit een goed hulpmiddel bij de beslissing of men in bepaalde gevallen al dan niet met diergangetjes te maken heeft. Ofschoon het soms zeer moeilijk is vast te stellen of gangetjes < 2 mm van zoëgene oorsprong zijn, volgt uit het bovenstaande, dat dit over het algemeen bij nauwkeurige waarneming wel lukt.

Daar de perforatiegraad wordt uitgedrukt in het aantal open gangen per m<sup>2</sup>, zou het gewenst zijn de tellingen ook steeds te verrichten aan vlakken van 1 m<sup>2</sup>. In de praktijk is dit echter vrijwel onuitvoerbaar, gezien het zeer grote grondverzet dat hiertoe nodig zou zijn.

Toch verdient het aanbeveling de vlakken zo groot mogelijk te houden, daar anders de betrouwbaarheid van de tellingen in de ondergrond, waar meestal het aantal gangen veel geringer is dan in de bovengrond, onvoldoende is. De bodemzoölogen verrichten hun kwantitatieve analyses van het wormenbestand veelal aan monsters die oppervlakken hebben van 25 × 40, 20 × 25 of 20 × 20 cm (Wilcke, 1955). Hoeksma en Op 't Hof (1960) bepalen de perforatiegraad aan vlakken van 25 × 40 cm, hetgeen een zeer goede maat is. Op proefvelden is men vaak gedwongen binnen een bepaald plantverband te werken. In zulke gevallen moet men toch streven naar een minimale afmeting van 20 × 20 cm. In dit geval is de kleine oppervlakte van het getelde vlak ook geen bezwaar, daar toch, om tot een redelijke uitspraak over de perforatiegraden van een veldje als geheel te kunnen komen, een aantal herhalingen zullen worden gedaan. Op korte afstand kunnen in gronden met eenzelfde profielverloop namelijk zeer grote verschillen in de perforatiegraden voorkomen. Dit is een gevolg van de vaak

zeer onregelmatige kwalitatieve en kwantitatieve spreiding in de wormenpopulaties. Het zal duidelijk zijn, dat uit het laatste tevens volgt, dat men de gegevens over de zoëgene perforatie die van een bepaald profiel zijn verzameld, slechts mag gebruiken bij het onderzoek en de interpretatie van dat profiel. Ook hier geldt, dat voor uitspraken over grotere oppervlakken meerdere, soms vele herhalingen, nodig zijn.

Om een zo nauwkeurig mogelijk beeld te krijgen van het verloop van het aantal gangen in een profiel, is het gewenst de afstand tussen de verschillende niveaus zo klein mogelijk te houden. Hoeksema en Op 't Hof (1960) noemen een aantal van ca. 4 niveaus per profiel, waarbij ze voor bouwlanden 20, 40 en 80 cm beneden maaiveld aangeven, voor weilanden en grasboomgaarden 15, 30, 60 en 90 cm beneden maaiveld.

Volgens onze ervaring zijn deze afstanden te groot. Men vindt namelijk gevallen, waarin de perforatiegraad over een diepte van niet meer dan 10 cm plotseling zeer sterk toe- of afneemt, om iets dieper weer tot ongeveer de waarde van het eerste niveau terug te keren. Legt men de niveaus niet meer dan 10 cm onder elkaar, dan kan men ook voor alle te onderzoeken profielen op gelijke diepten werken, daar men bij een dusdanig intensieve opname altijd alle structuurhorizonten in de beschouwing betreft. Tegenwoordig volgen we dan ook een opnamesysteem, waarbij het bovenste niveau op 5 cm beneden maaiveld ligt; iedere 10 cm dieper wordt vervolgens een telling verricht, tot op een diepte waar geen zoëgene gangen meer voorkomen of hun aantal over een traject van minstens enige tientallen cm's laag, doch nagenoeg constant is. Het eerste zal bij profielen met een vrij hoge gemiddeld hoogste grondwaterstand al binnen 1 m beneden maaiveld het geval zijn. In profielen met een zeer diepe grondwaterstand of hangwaterprofielen doet het tweede geval zich meestal op ruim 1 m beneden maaiveld voor. In hoeverre men in bouwlandprofielen reeds op 5 cm beneden maaiveld met de tellingen kan beginnen, is sterk afhankelijk van de structuurtoestand van de bouwvoor. Is bijvoorbeeld kort voor de opname geploegd, dan is een telling op zo'n hoog niveau onmogelijk. Doorgaans kan men dan beginnen op 15 cm beneden maaiveld.

Ten slotte wijzen we erop, dat men de tellingen niet kan verrichten indien de grond sterk is uitgedroogd of zeer nat is. In het eerste geval kunnen bijna geen vlakke horizontale niveaus in het profiel worden uitgegraven (lospringen van structurelementen), in het tweede geval is de grond te kleverig, waardoor men de gangetjes niet met een mes kan blootleggen. Bij abnormaal hoge grondwaterstanden (zoals in 1960) kan men het onderzoek niet tot op de gewenste diepten voortzetten.

### 3. HET VERBAND TUSSEN DE PERFORATIEGRAAD EN DE DOORLATENDHEID

In hoeverre is nu het begrip perforatiegraad bruikbaar bij de beoordeling van de doorlatendheid van een profiel of horizont? Bij de beantwoording van deze vraag dienen we te bedenken, dat de perforatiegraad van een bepaald niveau per definitie het totaal aantal open zoëgene gangen per m<sup>2</sup> horizontale doorsnede van dat niveau is. De perforatiegraad wordt dus uitgedrukt in een aantal, dat kan variëren van zeer groot tot zeer klein. Dit getal geeft ons echter geen informatie over de spreiding van de klassen der zoëgene gangdiameters in een bepaald niveau. Zo kan een perforatiegraad

p in het ene geval betekenen dat in de grond p zoögene gangetjes  $< 2$  mm diameter per  $m^2$  horizontale doorsnede voorkomen, terwijl in een ander geval, waar de perforatiegraad ook p is, p gangetjes  $> 4$  mm diameter per oppervlakte-eenheid zijn. Een goede illustratie hiervan geeft fig. 3. Op 5 cm beneden maaiveld is de perforatiegraad 830, waarvan 745 gangetjes  $> 2$  mm diameter. Op 85 cm beneden maaiveld is de perforatiegraad 825, doch daarvan zijn slechts 240 gangetjes  $> 2$  mm diameter. De totale perforatiegraad is dus weinig geschikt als maatstaf bij de beoordeling van de doorlatendheid van een bepaald niveau. Men kan echter ook uitgaan van de gedifferentieerde perforatiegraden (dus de cijfers van de drie diameterklassen). Men heeft dan drie cijfers, die van geval tot geval ieder voor zich en onderling sterk kunnen variëren. Uiteraard is het niet eenvoudig zich op deze wijze snel te oriënteren over de bijdrage van de zoögene perforaties aan de doorlatendheid van een bepaald niveau.

Toch is deze informatie wel op een eenvoudige wijze uit de perforatiegraden af te leiden. De stroomsnelheid van water in een nauwe buis is volgens de Wet van Poiseuille evenredig aan het kwadraat van de diameter (d) van die buis. Tevens is per oppervlakte-eenheid de bijdrage van alle poriën van een zekere diameterklasse aan de doorlatendheid evenredig aan het aantal (n) van die poriën (Fahmy, 1961). Mede op grond van de publikaties van Marshall (1957, 1958) kan men dus stellen, dat de doorlatendheid evenredig is aan  $\Sigma nd^2$ : de hydraulische dwarsdoorsnede.

Passen we deze formule nu toe op de perforatiegraden. We stellen dan de gemiddelde diameter van de wijde gangen op 6 mm, die van de tussengroep op 3 mm en die van de nauwste op 1 mm. De zoögene hydraulische dwarsdoorsnede, berekend op  $1 m^2$ , is dan  $2 \times 6^2 + b \times 3^2 + c \times 1^2$ , waarin a = het aantal gangen  $> 4$  mm, b = het aantal gangen van 4-2 mm en c = het aantal gangen  $< 2$  mm. Om de werkelijke oppervlakte van de zoögene gangen op een geteld niveau te benaderen, zou men het geheel met  $\frac{1}{4} \pi$  dienen te vermenigvuldigen. Daar de hydraulische dwarsdoorsneden echter slechts relatieve getallen zijn, is de vermenigvuldiging met  $\frac{1}{4} \pi$  een overbodige complicatie.

Uit de formule  $\Sigma nd^2$  volgt, dat de doorlatendheid van een horizont hoog is, indien er veel wijde verticale gangen in voorkomen. Met andere woorden: een hoog getal voor de zoögene hydraulische dwarsdoorsnede betekent, dat de doorlatendheid van de betreffende horizont hoog is, terwijl een laag getal wil zeggen, dat de zoögene perforaties geen hoge doorlatendheid hebben veroorzaakt. Uiteraard kan de doorlatendheid dan toch nog hoog zijn, bijvoorbeeld ten gevolge van een bepaalde granulaire samenstelling.

Uit het voorgaande volgt, dat de uit de perforatiegraden berekende hydraulische dwarsdoorsneden ons een zeker inzicht geven over de betekenis van de zoögene perforaties voor de doorlatendheid. Om deze reden zijn in de figuren 3 t/m 11 naast de perforatiegraden de hydraulische dwarsdoorsneden uitgezet.

#### 4. IS ER EEN VERBAND TUSSEN DE PERFORATIEGRAAD EN DE DIERLIJKE ACTIVITEIT?

Doorgaans komen in een grond meerdere wormsoorten voor, die zich zeer verschillend gedragen. Zo onderscheidt men (Guild, 1955; Stöckli, 1958) soorten, die in de bovengrond leven en daar een sterk vertakt gangenstelsel

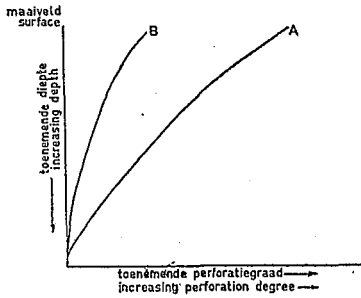


Fig. 2.  
Theoretisch verloop van de perforatiegraad in een regelmatig aflopend profiel.  
A: hoge activiteit van perforerende bodemdieren.  
B: lage activiteit van perforerende bodemdieren.  
*Theoretical course of the perforation degree of a profile lighter in texture with depth.*  
A: much activity of perforating soil fauna.  
B: some activity of perforating soil fauna.

opbouwen (o.m. *Allolobophora caliginosa*, *A. chlorotica* en *A. rosea*), terwijl andere soorten dieper in de bodem kunnen doordringen en daar dan een veel ijler stelsel van alleen verticaal gerichte gangen maken (*Lumbricus terrestris* en *Allolobophora longa*).

Daar in de meeste gevallen de regenwormen wel de grootste bijdrage aan de perforatiegraad leveren, zou men dus verwachten, dat in een regelmatig aflopend profiel de perforatiegraad naar beneden gaande geleidelijk lager zou worden. Bij een dichte wormenbezetting zou men theoretisch de curve A van fig. 2 verwachten, bij een geringe bezetting de curve B. In hoeverre de curves diep zullen doorlopen is alleen afhankelijk van het feit of de omstandigheden in de ondergrond onder kritieke weersomstandigheden (grote droogte, vorst) gunstig zijn voor de grotere, diep-gravende soorten. Is bijvoorbeeld gedurende de winter de grondwaterstand in een profiel regelmatig of periodiek hoog, of treden schijnspiegels in het profiel op, dan is de ondergrond wegens zuurstofgebrek onbewoonbaar voor de regenwormen. Een goede illustratie hiervan vormen de figuren 3 en 4. Fig. 3 toont het verloop

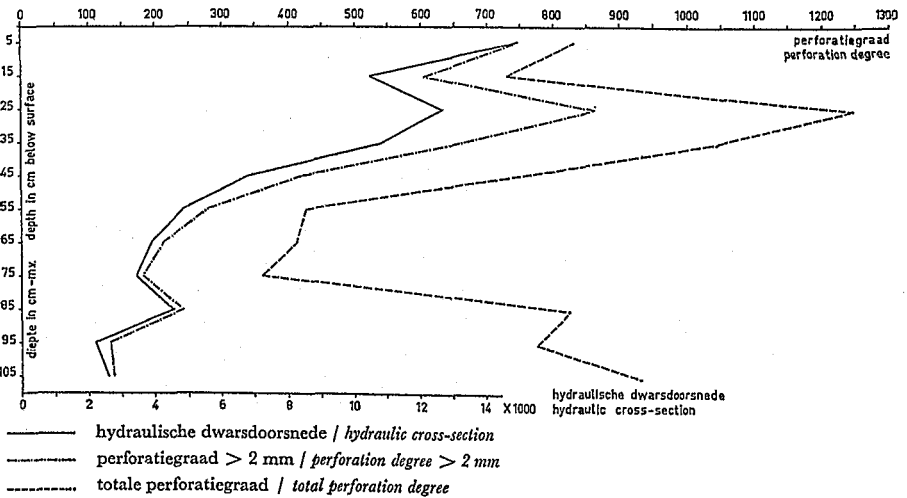


Fig. 3.  
Perforatiegraden en hydraulische dwarsdoorsneden van een stroombeddinggrond met periodiek hoge grondwaterstanden. Proefveld „Plantklaar maken voor de fruitteelt”, Stichtse Fruittuin, Werkhoven.

*Perforation degrees and zoogenic hydraulic cross-sections of a river channel soil with periodically high groundwater tables. Experimental field, Werkhoven (province of Utrecht).*

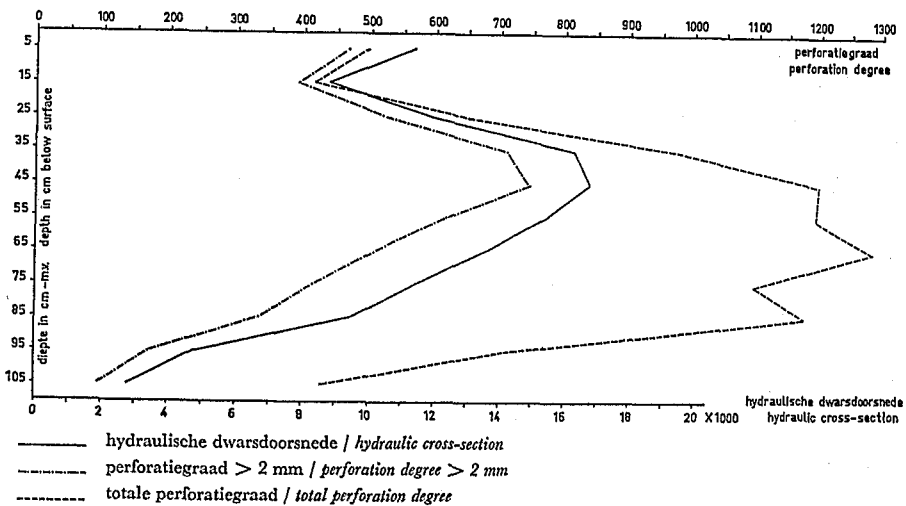


Fig. 4.

Perforatiegraden en hydraulische dwarsdoorsneden van een zware stroomgrond met diepe grondwaterstanden. Proefveld „Plantklaar maken voor de fruitteelt”, Stichtse Fruittuin, Werkhoven.

*Perforation degrees and zoogenic hydraulic cross-sections of a heavy river ridge soil with deep groundwater tables. Experimental field, Werkhoven (province of Utrecht).*

Dat de verschillen tussen de grafieken uit fig. 3 en fig. 4 niet toevallig zijn, blijkt uit het feit, dat ze zijn samengesteld uit de gemiddelden van drie resp. vier opnamereeksen, waarin wel onderlinge variaties in de grootte der perforatiegraden voorkomen, doch de curveverlopen steeds dezelfde zijn.

*The differences between the graphs of fig. 3 and fig. 4 are not accidental. As a matter of fact they are compiled of the averages of three resp. four series of surveys. The perforation degrees of these series mutually vary but their curves run the same course.*

van de perforatiegraden in een stroombeddinggrond, waarin in de winter periodiek zeer hoge grondwaterstanden voorkomen. Fig. 4 laat het verloop van de perforatiegraden zien in een op hetzelfde perceel gelegen zware stroomgrond, waarin geen abnormaal hoge grondwaterstanden optreden.

De perforatiegraad van de gangen > 2 mm diameter neemt in de ondergrond van de stroomgrond zeer regelmatig af, terwijl daarentegen in de beddinggrond vanaf 25 cm beneden maaiveld die perforatiegraad zeer snel terugloopt tot 75 cm beneden maaiveld. Op deze diepte bedraagt hij nog slechts 180, in de stroomgrond op dezelfde diepte echter nog 415. Dat dieper dan 75 cm beneden maaiveld de perforatiegraad van de beddinggrond weer toeneemt, is het gevolg van de hieronder te behandelen complicatie.

De enige uitzondering op het geschetste theoretische curveverloop zou het voorkomen van een initiale zoogene perforatie in de ondergrond zijn. Een voorbeeld is fig. 3. Op de overgang van de zware klei-opvulling van het geultje, die een blokkige en prismatische structuur heeft, naar de zandige ondergrond, ziet men een abrupte zeer sterke toename van het aantal gangetjes < 2 mm diameter; het aantal wijdere gangen is op ca. 85 cm beneden maaiveld eveneens iets gestegen. De sterke toename van de smalle gangetjes wordt veroorzaakt door het op ca. 80 cm diepte optreden van een gedurende de sedimentatie door tubifex gevormde grove sponsstructuur. Daar een



klein deel van de tubifex-gangetjes de 2 mm-grens overschrijdt, is ook de hoeveelheid wijdere gangen op dit niveau enigszins hoger.

Nu komt het geschetste theoretische curveverloop in werkelijkheid vrijwel niet voor, ook niet indien de activiteit van de bodemfauna zeer hoog is. In de figuren 3 en 4 bijvoorbeeld ziet men dat de curves in de bovengrond sterk afwijken van het beeld van figuur 2.

De diverse „complicaties” die in de curves kunnen voorkomen, kunnen het gevolg zijn van verschillende factoren.

Een daarvan is de textuur. Het is algemeen bekend, dat de activiteit van de regenwormen in zwaardere lagen doorgaans beperkt is. Noodzakelijkerwijs passeren de grotere soorten zulke lagen langs de kortste weg als door vorst of droogte het milieu in de bovengrond voor hen ongunstig is en ze uitwijken naar de ondergrond, waarin de levensomstandigheden op dat moment meestal geschikter zijn (Doeksen, 1957). Nu geeft echter geen van de vele grafieken die we hebben gemaakt een teruggang van de perforatiegraad in zulke lagen te zien; eerder is het tegendeel het geval. Dit verschijnsel wordt onder meer door fig. 5 geïllustreerd, waarin de perforatiegraad op 40 cm beneden maaiveld een duidelijk maximum vertoont. De verklaring is, dat in de zwaardere lagen, die doorgaans ook een dichte microstructuur hebben, de weerstand van het bodemmateriaal zo hoog is, dat de regenwormen de grond niet opzij kunnen duwen en daarbij andere gangen verstoren, doch zich door de grond heen moeten eten. De relatief weinige gangen die worden gemaakt, blijven dan ook vrijwel alle intact.

Bij lichtere gronden is de situatie vaak geheel anders. De microstructuur is meestal veel minder compact dan in zware gronden, terwijl ook de onderlinge binding tussen de gronddeeltjes veel geringer is. De dieren zijn in zulk materiaal in staat de grond opzij te duwen, waarbij ze oudere gangen geleidelijk dichtdrukken. Men kan in mammoetslijpplaten van bijvoorbeeld zandige stroomgronden dit verschijnsel zeer fraai zien, terwijl het ook in fig. 6 goed tot uiting komt. De grafiek heeft betrekking op een lichte woudgrond onder weiland, die een zeer hoge regenwormactiviteit heeft. Zowel de grotere, diep perforerende soorten als de in de bovengrond levende soor-

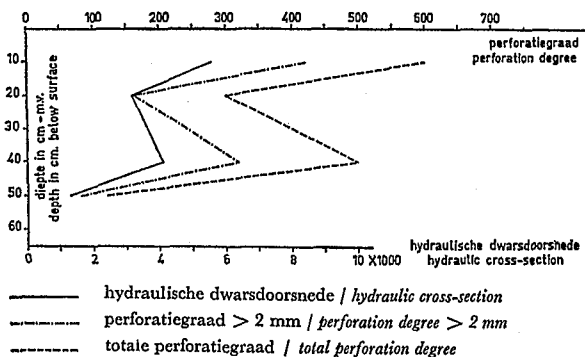


Fig. 5.

Perforatiegraden en hydraulische dwarsdoorsneden van een komgrondprofiel met zware laag op 40 cm beneden maaiveld ( $57\% < 2 \mu$  op deze diepte tegen  $42\% < 2 \mu$  op 20 cm beneden maaiveld). De Meern.

*Perforation degrees and zoogenic hydraulic cross-sections of a river basin clay soil with heavy textured layer at 40 cm below surface ( $57\% < 2 \mu$  at this depth versus  $42\% < 2 \mu$  at 20 cm below surface).*

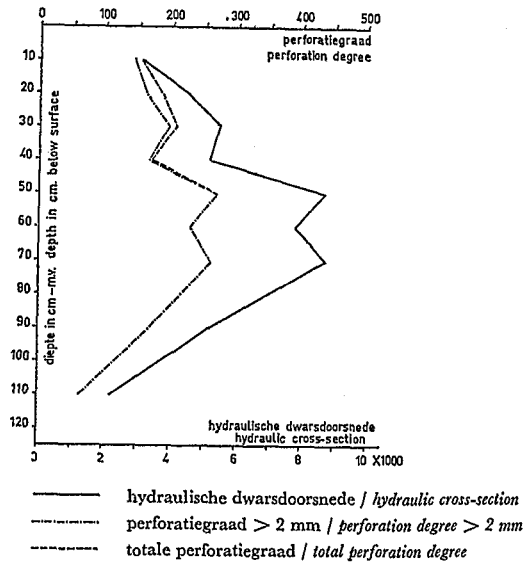


Fig. 6.  
 Perforatiegraden en hydraulische dwarsdoorsneden van een lichte woudgrond onder blijvend grasland. Wognum.  
*Perforation degrees and zoogenic hydraulic cross-sections of a light textured „woudgrond” (permanent pasture).*

ten komen in grote aantallen voor. Desondanks zijn de perforatiegraden in dit profiel zeer laag.

We zijn met deze grafiek op een ander verschijnsel gekomen, dat in wezen zeer nauw met het vorige verwant is. Opvallend is in fig. 6, dat de perforatiegraad in de zode zeer laag is, daarna geleidelijk oploopt tot het traject van 50 à 70 cm beneden maaiveld, om daaronder weer regelmatig terug te lopen.

Het onderste deel van de grafiek kan geheel op de zojuist behandelde wijze worden verklaard. In het bovenste deel is de situatie echter geheel anders. Door de zeer hoge biologische activiteit is in de zode een kruimelstructuur ontstaan, die naar beneden overgaat in een zeer open gepakte granulaire en afgerond-blokkige structuur. De bovengrond is dus geheel losgewerkt en er komen slechts zeer weinig doorlopende gangen voor. Is dit granulatie-stadium eenmaal bereikt, dan worden er ook vrijwel geen nieuwe gangen (die overigens zeer snel weer zouden worden verstoord) meer gevormd: de bodemdieren maken zoveel mogelijk van de tussen de structuurelementen voorkomende holten gebruik en/of zij duwen de elementen opzij (Van der Drift, 1955).

Het is op deze wijze te begrijpen, dat in vergelijkbare bouw- en graslandpercelen het verloop van de perforatiegraden in de bovengrond geheel overeen kan stemmen (fig. 7 en 8). Zoals uit vele onderzoeken is gebleken, weerspiegelt ook het grondgebruik zich duidelijk in de kwantiteit van de bodemdieren (Van Rhee en Nathans, 1961). Onder akkerbouw komen in het algemeen veel minder dieren voor dan onder grasland, tenminste wat betreft regenwormen. Niet alleen is het microklimaat voor de regenwormen in een bouwvoor, althans periodiek na bewerkingen, zeer ongunstig; nog desastreuzer is blijkbaar het mechanische effect van de grondbewerkingen,

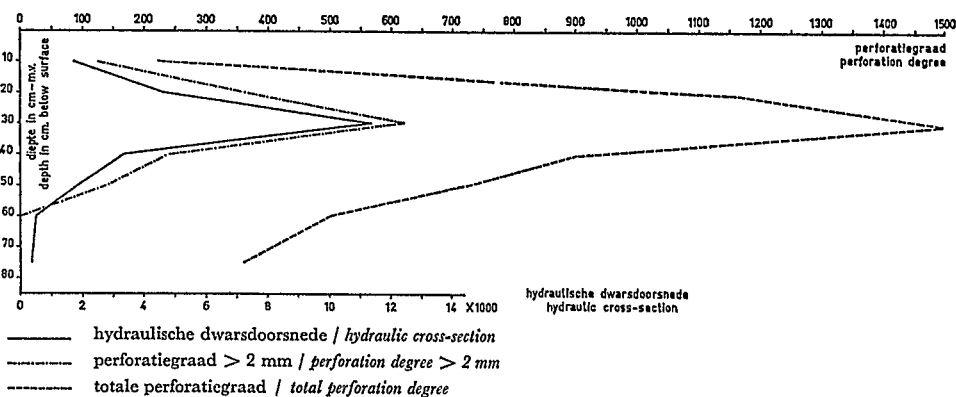


Fig. 7.  
 Perforatiegraden en hydraulische dwarsdoorsneden van een licht Oude-Zeeleiprofiel onder bouwland. Zuidplaspolder.  
*Perforation degrees and zoogenic hydraulic cross-sections of a light textured Old Sea Clay profile (arable land).*

zoals ploegen en vooral frezen (Finck, 1952; Krüger, 1952). Ook vindt in de akkerbouwcultuur geen regelmatige aanvoer van grote hoeveelheden organische stof plaats (Hoeksema, Jongerius en Van der Meer, 1957; Hoeksema en Jongerius, 1958).

Bij de bewerkingen wordt het bestaande gangenstelsel in de bovengrond steeds weer verstoord. Daar juist de kleinere regenwormsoorten wel het meest worden gedecimeerd – zij leven immers speciaal in de bovengrond –

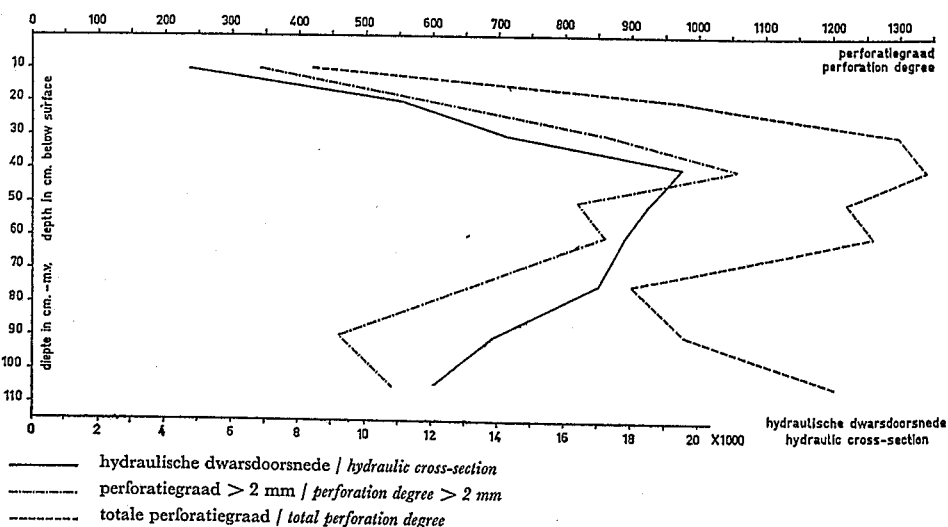


Fig. 8.  
 Perforatiegraden en hydraulische dwarsdoorsneden van dezelfde grond als van fig. 7, doch onder oud grasland. Zuidplaspolder.  
*Perforation degrees and zoogenic hydraulic cross-sections of the same soil as mentioned in fig. 7 (old pasture).*

en het juist deze soorten zijn, die snel een zeer sterk vertakt gangenstelsel in de bouwvoor zouden kunnen opbouwen, leidt de akkercultuur ertoe dat het aantal open wormgangen procentueel nog in veel sterkere mate zal afnemen dan het aantal wormen.

Het profiel van fig. 7 heeft dus een lage perforatiegraad in de bovengrond door lage biologische activiteit. De lage perforatiegraad in de zode-laag van het graslandprofiel (fig. 8) is daarentegen een gevolg van een zeer hoge biologische activiteit. Uit dit voorbeeld blijkt ook weer duidelijk, dat men de perforatiegraad altijd in samenhang met de structuur van het betreffende niveau moet bekijken om tot een uitspraak over de biologische activiteit te kunnen komen. In het gegeven geval bestaat de bouwvoor uit een dichte massa waarin, naast de weinige wormgangen, alleen microporiën voorkomen. De zode van het grasland is opgebouwd uit duidelijk ontwikkelde kruimelige en zeer poreuze afgerond-blokkige structurelementjes.

Terloops zij hier gewezen op de zeer grote piek van gangetjes  $< 2$  mm diameter op ca. 20–30 cm beneden maaiveld in het bouwlandprofiel (fig. 7). Deze perforaties zijn grotendeels gemaakt door enchytraeën, die in dit ongunstige milieu (ploegzool) relatief een zeer grote rol spelen.

In zware profielen onder gras kan men wel hoge perforatiegraden in de bovengrond aantreffen. Hierin zal namelijk alleen onder zeer gunstige fysische en chemische milieu-omstandigheden, en dan nog slechts zeer langzaam, een zeer losse kruimelige structuur ontstaan. Er zijn ook gevallen waarin men in de bouwvoor hoge perforatiegraden vindt, bijvoorbeeld onder meerjarige cultures zoals luzerne. De regenwormen hebben daar de gelegenheid kwantitatief te regenereren, terwijl ze bovendien, zoals in het genoemde voorbeeld, stikstofrijke organische stof ter beschikking krijgen.

Uit het voorgaande zal duidelijk zijn geworden, dat het in de meeste gevallen niet mogelijk is uit de perforatiegraden zonder meer de mate van activiteit van de perforerende bodemdieren af te lezen.

Men moet bij de interpretatie van de perforatiegraden in dit opzicht, rekening houden met een complex van factoren, waarvan we in dit artikel slechts een aantal van de voornaamste hebben behandeld. Het gecompliceerde karakter van de interpretatie is tevens de oorzaak, dat we, in het bestek van dit artikel, van de figuren geen uitputtende analyses hebben gegeven.

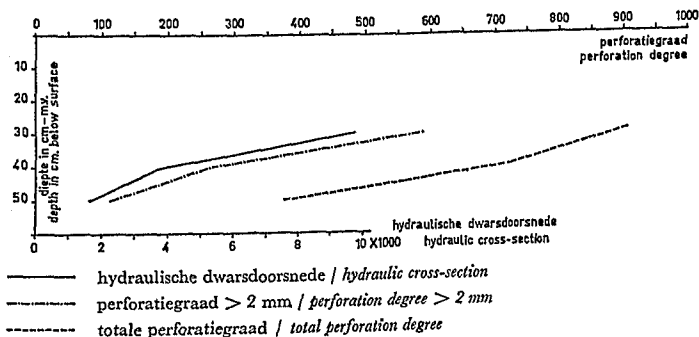


Fig. 9. Perforatiegraden en hydraulische dwarsdoorsneden van een pikkleiprofiel. Structuurverbeteringsproefveld te Oud-Karspel. Profieltype A (oorspronkelijk pikkleiprofiel), veld 8. *Perforation degrees and zoogenic hydraulic cross-sections of a „pik” (sticky)-clay profile (Experimental field for structure amelioration, Oud-Karspel).*

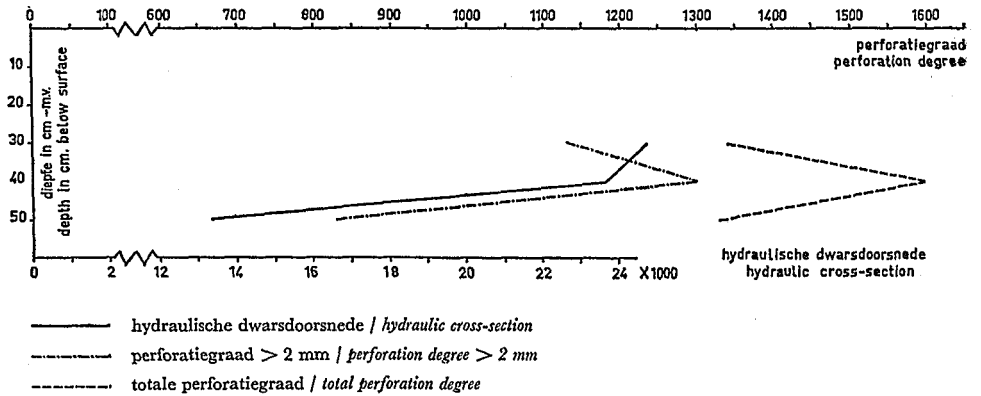


Fig. 10.

Perforatiegraden en hydraulische dwarsdoorsneden van dezelfde grond als van fig. 9, doch met toevoeging van 5 cm tuinturf en 1 cm V.A.M.-compost. Structuurverbeteringsproefveld te Oud-Karspel. Profieltype A, veld 3.

*Perforation degrees and zoogenic hydraulic cross-sections of the same soil as mentioned in fig. 9, but after addition of 5 cm black peat after freezing and 1 cm „V.A.M.” (household refuse)-compost. (Experimental field for structure amelioration, Oud-Karspel).*

Tot slot van ons betoog willen we erop wijzen, dat op proefvelden (althans indien men van een bepaalde uniforme toestand uitgaat met een niet al te gunstige bodemstructuur) de perforatiegraden wel een goede correlatie met de dierlijke perforatie-activiteit vertonen, tenminste in de eerste jaren van de proeven.

Als voorbeeld dienen enige curven van het structuurverbeteringsproefveld op pik te Oud-Karspel, waar het effect van diverse soorten organische stof op de structuur wordt bestudeerd. In het algemeen bleek toevoeging van organische stof de perforatiegraden in de bovengrond duidelijk te verhogen (fig. 9 en 10), terwijl ook op de veldjes kon worden waargenomen, dat de wormenactiviteit sterk gestegen was. Toevoeging van gelijke of nagenoeg gelijke hoeveelheden van verschillende soorten organische stof of combinaties

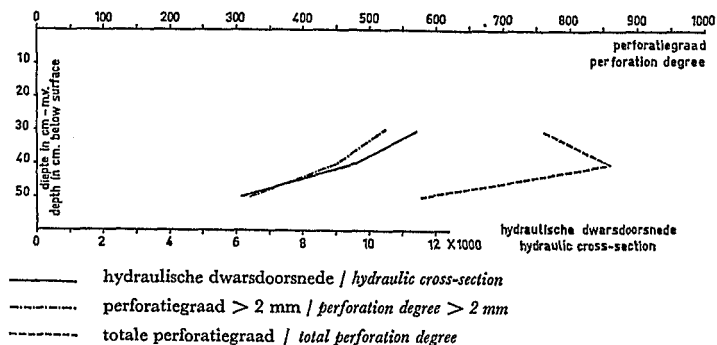


Fig. 11.

Perforatiegraden en hydraulische dwarsdoorsneden van dezelfde grond als van fig. 9, doch met toevoeging van 5 cm tuinturf. Structuurverbeteringsproefveld te Oud-Karspel. Profieltype A, veld 13.

*Perforation degrees and zoogenic hydraulic cross-sections of the same soil as mentioned in fig. 9, after addition of 5 cm black peat after freezing. (Experimental field for structure amelioration, Oud-Karspel).*

van enige soorten bleek grote onderlinge verschillen in de perforatiegraden te veroorzaken. De aard van de organische stof is dus een belangrijke factor in de mate van de dierlijke activiteit. Zo veroorzaakte toevoeging van 5 cm tuinturf slechts een relatief kleine stijging van de perforatiegraden (fig. 11), dezelfde hoeveelheid tuinturf + 1 cm V.A.M. compost een zeer grote stijging (fig. 10).

juli 1961

## 5. SUMMARY

In freshly deposited sediment and in already physically and chemically ripened soils vertical voids are made by various soil animals like Tubificidae, Lumbricidae, Enchytraeidae etc. The number of open zoogenic perforations (classes of diameters  $< 2$  mm, 2–4 mm and  $> 4$  mm) per square meter horizontal section is called „perforation degree” (of the reference level). From these degrees the so-called „zoogenic hydraulic cross-sections” can be deduced. Low values of this figure indicate that the zoogenic perforation-activity has not resulted into a high hydraulic conductivity.

For the comparative investigation of the zoogenic activity on trial spots perforation degrees are mostly well usable. However in the field of practical profile study to conclude from these perforation degrees to the activities of the perforating soil fauna is less reliable. In these cases one must take account of some confounding factors as there are soil structure, soil texture and land use.

## 6. LITERATUUR

- Darwin, C. H.*, 1881: The formation of vegetable mould through the action of worms with observations on their habits. London.
- Doeksen, J.*, 1957: Regenwormen, bemesting en grondbewerking. Stikstof nr. 16, okt., 123–136.
- Doeksen, J.*, 1961: Werkplan en projecten 1961. I.B.S. VIe Afd. Landbouwdierkunde. Project 15: Bodemfaunistisch onderzoek, verslag over 1960.
- Drift, J. van der*, 1955: Aardwormen, hun levenswijze en hun betekenis voor de vruchtbaarheid voor de grond. Bodem nr. 19 (lente): 24–32.
- Fahmy, M. I.*, 1961: The influence of clay particles on the hydraulic conductivity of sandy soils. Dissertatie Wageningen.
- Finck, A.*, 1952: Oekologische und bodenkundliche Studien über die Leistung der Regenwürmer für die Bodenfruchtbarkeit. Ztschr. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 58, 120–145.
- Guild, W. J. Mcl.*, 1955: Earthworms and soil structure. Soil Zoology (Proc. Univ. Nottingham School in Agric. Sci.) 83–98.
- Hoeksema, K. J.*, 1953: De natuurlijke homogenisatie van het bodemprofiel in Nederland. Boor en Spade VI, 24–30.
- Hoeksema, K. J. en A. Op 't Hof*, 1960: De perforatiegraad, een maat voor de activiteit van regenwormen in de grond. Landbouwoorlichting 17, 673–676.
- Hoeksema, K. J. en A. Jongerius*, 1959: Deterioration of soil structure due to exhausting methods of land use and its influence on recent crop-rotations. Proc. Int. Symp. on Soil Struct., Ghent 1958. Meded. Landbouwhogeschool en Opzoekingsstations v. d. Staat te Gent. 24, no. 1, 16–23.
- Hoeksema, K. J., A. Jongerius en K. J. v. d. Meer*, 1957: Over de invloed van regenwormen op de bodemstructuur in gemulchte boomgaarden. Boor en Spade VIII, 183–201.
- Jongerius, A.*, 1957: Morfologische onderzoekingen over de bodemstructuur. Dissertatie Wageningen. 's-Gravenhage. Versl. Landbouwk. Onderz. no. 63, 12. Bodemk. Studies 2.
- Jongerius, A.*, 1962: Recente vorderingen in de micropedologie en haar mogelijkheden. Landbouwkundig Tijdschrift 74, 973–999.

- Jongerius, A. en G. Heintzberger*, 1963: The preparation of mammoth-sized thin sections. Soil Survey Papers I, Bennekom.
- Krüger, W.*, 1952: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Tierwelt der Felder. Ztschr. Acker- u. Pflanzenbau 95, 261–302.
- Kühnelt, W.*, 1950: Bodenbiologie; mit besondere Berücksichtigung der Tierwelt. Wien.
- Kühnelt, W.*, 1957: Die Tierwelt der Landböden in ökologischer Betrachtung. Verh. D. Zool. Ges. in Graz, 39–103.
- Kühnelt, W.*, 1958: Zoogene Krümelbildung in ungestörten Böden. Tagungsberichte Nr. 13, D. Akad. Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin, 193–199.
- Marshall, T. J.*, 1957: Permeability and the size distribution of pores. Nature 180, 664–665.
- Marshall, T. J.*, 1958: A relation between permeability and size distribution of pores. Journ. Soil Sci. 9, 1–8.
- Rhee, J. A. van en S. Nathans*, 1961: Waarnemingen bij regenwormenpopulaties in boomgaarden. Meded. Dir. Tuinbouw 24, 234–241.
- Stöckli, A.*, 1958: Die Regenwurmart in landwirtschaftlich genutzten Böden des schweizerischen Mittellandes. Landw. Jahrb. d. Schweiz 72, Heft 6, 699–725.
- Straaten, L. M. J. U. van*, 1951: Texture and genesis of Dutch Wadden Sea sediments. Proc. Third Int. Congr. Sedimentology Netherlands, 225–244.
- Wilcke, D. E.*, 1955: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Tierwelt der Felder. Ztschr. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 68, 44–49.