

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEUHYGIENE
BILTHOVEN

Rapport nr. 211601001

Vergelijkend onderzoek voor het winnen van porie-
water uit grond door persen en centrifugeren

R.F.M.J. Cleven, P.M. Wolfs, J.F.M.M. Lembrechts
J.L.M. de Boer, A.C.W. van de Beek, en S. van den
Berg

december 1990

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht en ten laste van de Directie van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne in het kader van projekt nr. 211601 'Meetmethoden anorganische chemie'.

VERZENDLIJST

1	Directie Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
2	Dr. Ir. C. van den Akker
3	Dr. J.E.T. Moen
4	Dr. H.A.M. de Kruijf
5	Dr. F. Langeweg Bresser
6	Dr. H.A. van 't Klooster
7	Ir. H.J. van de Wiel
8	Drs. P. Lagas
9	Ir. R. van den Berg
10	A. v. Schuijlenburg
11	Dr. Th.G. Aalbers
12	Dr. H.F.R. Reijnders
13	F.G. van Esseveld
14-19	Auteurs
20-21	Bureau Projecten- en Rapportenregistratie
22-25	Reserve-exemplaren LAC
26-31	Reserve-exemplaren

Mede ter informatie aan:

32	Depot van Nederlandse publikaties en Nederlandse bibliografie
----	---

INHOUDSOPGAVE

	<u>Blz.</u>
Verzendlijst	ii
Inhoudsopgave	iii
Summary	iv
Samenvatting	v
1. Inleiding	1
1.1 Doel	1
1.2 Principes en technieken bij winning van poriewater	1
1.3 Overzicht en beschrijving technieken	3
1.4 Vergelijking van technieken	4
2. Experimenteel	6
2.1. Apparatuur	6
2.2. Methoden	8
2.3. Uitvoering	8
3. Resultaten en diskussie	11
3.1. Resultaten	11
3.2. Diskussie	15
4. Konklusies	17
Dankwoord	18
Literatuur	19
Bijlage A	21
Bijlage B	22

SUMMARY

The performance characteristics of a pore water press to isolate pore water from soil samples, have been determined using peat, clay and sandy soil samples. At the same time pore water has been isolated from the same type of samples using a centrifugal filtration method. The results of both methods have been compared. Under the experimental conditions adopted, the amounts of pore water produced appeared to be larger by pressing in the case of peat and clay soil samples, whereas from the sandy soil samples, no pore water could be isolated by the pressing method and a relatively large amount by the centrifuge method.

SAMENVATTING

Om poriewater uit grondmonsters voor bodemonderzoek te isoleren kunnen diverse methoden worden toegepast, waarbij de opbrengsten zowel kwalitatief als kwantitatief zullen verschillen, omdat de mechanismen waarmee het poriewater wordt gewonnen van elkaar verschillen.

Van een poriewaterpers is een aantal prestatiekenmerken vastgelegd middels een onderzoek aan monsters van verschillende grondsoorten: veen, klei, duinzand en podsolzand. Tevens is voor dezelfde grondmonsters bepaald hoeveel poriewater kan worden verkregen met een centrifugemethode. De resultaten van beide methoden zijn vergeleken. Onder de gekozen experimentele omstandigheden blijken de hoeveelheden gewonnen poriewater voor veen en klei groter bij persen dan bij centrifugeren, terwijl uit de zandsoorten met persen geen en met centrifugeren een relatief grote hoeveelheid water kan worden gewonnen.

1. INLEIDING

1.1 Doel

Het beschrijven van de uitspoeling van mineralen of verontreinigingen uit bodems, en het verklaren van de biologische beschikbaarheid van bodemcomponenten vereisen scheiding en identificatie van aanwezige fysisch-chemische vormen. Een mogelijke scheiding is die tussen in het bodemvocht aanwezige en aan de vaste fase gebonden vormen. Om het bodemvocht (in dit rapport poriewater genoemd) uit grondmonsters voor bodemonderzoek te isoleren kan een aantal methoden worden toegepast, zoals centrifugeren, persen en verdringen. De opbrengsten van de diverse methoden zullen voor elke grondsoort zowel kwalitatief als kwantitatief verschillen, omdat de mechanismen waarmee het poriewater wordt verdreven van een andere aard zijn.

Van een bestaand type poriewaterpers, in gebruik bij het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, werd door de Technische Dienst een verbeterde versie gebouwd. Een aantal karakteristieken van de prestaties van de pers werd vastgelegd middels een onderzoek aan verschillende grondsoorten: veen, klei en twee soorten zand. Tevens werd voor dezelfde grondsoorten bepaald hoeveel poriewater kan worden verkregen met de op het RIVM reeds gebruikte centrifuge-methode. De kwantitatieve verschillen in opbrengst tussen persen en centrifugeren zullen worden gerelateerd aan de wijze van winning, om een karakterisering van met de beide technieken gewonnen poriewater mogelijk te maken.

1.2. Principes en technieken toegepast bij isolatie van poriewater.

In de literatuur zijn een aantal technieken voor de winning van poriewater beschreven. Bij de onderzochte technieken wordt er naar gestreefd het bodemvocht te bemonsteren zonder dat hierbij verdunning optreedt. Dit in tegenstelling tot eveneens gangbare technieken waarbij suspensies van gronden gemaakt worden om na sedimentatie van de vaste fase een verdunde versie van het bodemvocht te kunnen analyseren.

In een onverzadigde bodem wordt het water voornamelijk vastgehouden door werking van capillaire en adsorptie-krachten, die in combinatie werkzaam zijn. Het in de poriën aanwezige water wordt gebonden door capillaire krachten, welke een combinatie vormen van adhesiekrachten tussen de vaste fase en water en cohesiekrachten tussen de watermolekulen onderling. De capillaire kracht is evenredig met de oppervlaktespanning en omgekeerd evenredig met de diameter van de poriën en de dichtheid van het water. De waterfilm rond bodemdeeltjes

daarentegen is aan deze deeltjes geadsorbeerd, en veel sterker gebonden dan het capillaire water. De grootte en het relatieve aandeel van beide krachten en dus van beide waterfracties is een functie van de textuur van de grond. In zandige gronden is adsorptie minder belangrijk en domineert het capillaire effect terwijl in kleigronden, ondanks een gemiddeld groter totaal porievolume, het omgekeerde het geval is. Dit is het gevolg van het veel grotere adsorptieoppervlak bij kleigronden en een andere samenstelling van het oppervlak. In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van het percentage porievolume van verschillende grondsoorten.

Tabel 1. Percentage porievolume van verschillen bodemmaterialen (Freeze & Cherry, 1977).

<i>Bodemmateriaal</i>	<i>%</i>
<i>Kiezelzand</i>	<i>25 - 40</i>
<i>Zand</i>	<i>25 - 50</i>
<i>Leem</i>	<i>35 - 50</i>
<i>Klei</i>	<i>40 - 70</i>
<i>Zandsteen</i>	<i>5 - 30</i>
<i>Dolomiet</i>	<i>0 - 20</i>
<i>Leisteen</i>	<i>0 - 10</i>

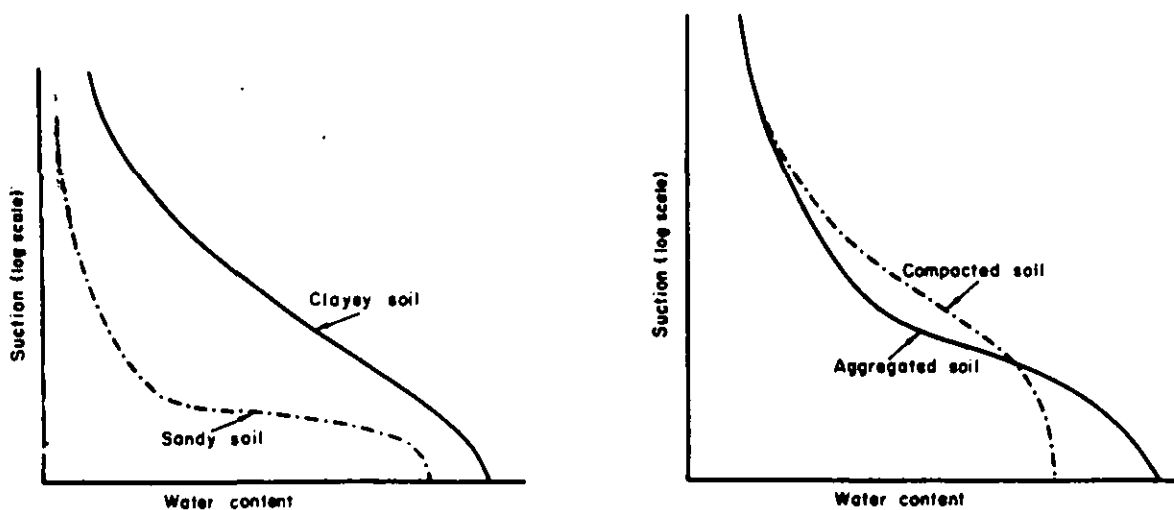
Alle voorgestelde technieken zijn gebaseerd op eenzelfde principe, namelijk het creëren van een drukgradiënt over het te analyseren bodemmonster om het erin aanwezige water eraan te onttrekken of eruit te verdrijven. Uit het voorgaande mag duidelijk zijn dat bij toenemende druk eerst de bredere capillairen geleidigd worden en dat slechts in laatste instantie het door adsorptie gebonden water wordt onttrokken. De evolutie van de hoeveelheid onttrokken bodemvocht als functie van de druk zal dus ook specifiek zijn voor elke grond en niet evenredig met de uitgeoefende druk. Deze relatie wordt veelal uitgedrukt met behulp van een pF-kurve (Bouma & Locher, 1987) die het verband toont tussen het actuele vochtgehalte van een grondmonster en de druk of de toegepaste zuigspanning, zie figuur 1 (Hillel, 1971).

1.3. Overzicht en beschrijving van technieken.

In het eenvoudigste geval wordt de druk gecreëerd door met een zuiger grond in een vat samen te persen (Ross & Bartlett, 1990). De bodemdeeltjes zullen zich dan herschikken met vorming van een compactere structuur. Hierbij wordt eventueel water uitgedreven. Een voorbeeld van een hiervoor gebruikt apparaat is de in dit rapport beschreven poriewaterpers. Bij de andere methoden wordt het aanwezige bodemvocht onder druk verdrongen door een ander medium, bijvoorbeeld lucht, chloroform of een verzadigde CaSO_4 -oplossing.

Bij de kolom-verdringingsmethode wordt een kolom, compact gevuld met grond, geëluëerd met een loopvloeistof met grotere soortelijke massa dan water (bijvoorbeeld een verzadigde CaSO_4 -oplossing), voorzien van een indicator voor de detectie van de overgang tussen bodemvocht en eluent (bijvoorbeeld KCNS) (Adams et al., 1980).

Bij de centrifugemethoden dient onderscheid gemaakt te worden tussen centrifugeren met of zonder verdringende vloeistof. In het eerste geval wordt grond gecentrifugeerd na toevoegen van een overmaat van een niet reactieve organische vloeistof met geringe wateroplosbaarheid en met een densiteit groter dan die van water (bijvoorbeeld chloroform). Als gevolg van het dichtheidsverschil en de geringe mengbaarheid zal de toegevoegde vloeistof tijdens dit proces het water uit de bodemkolom verdringen, dat zich dan zal verzamelen boven op de verdringende vloeistof (Kinniburgh & Miles, 1983; Mubarak & Olsen, 1976; Whelan & Barrow, 1980). De snelheid waarmee het water verdreven wordt, is onder andere een functie van het dichtheidsverschil tussen water en de organische vloeistof.



Figuur 1. Effekten van textuur (links) en structuur (rechts) van de grond op de retentie van water (pF-kurves).

Bij gewoon centrifugeren zal het water door een met grond gevulde, gemodificeerde centrifugebuis migreren en onderaan opgevangen worden in een vaatje, van de buis gescheiden door een filterplaat. Het water in de poriën wordt hierbij als het ware door lucht vervangen (Adams et al., 1980; Davies & Davies, 1963; Kinniburgh & Miles, 1983; Reynolds, 1984; Soon & Miller, 1977). Tijdens het centrifugeren zal het grondmonster ook samengedrukt worden, hetgeen de extractie van bodemvocht zal bevorderen.

Naast de tot nu toe vermelde methoden, die bemonsteren van de grond vereisen vooraleer bodemvocht onttrokken kan worden, zijn ook methoden ontwikkeld die *in situ* extractie van water uit de onverzadigde zone toelaten. In de bodem wordt een vaatje geplaatst, afgesloten met een poreuze keramische filter, waardoor het bodemvocht wordt aangezogen door creëren van een onderdruk in het vaatje (Jackson et al., 1976; Shimshi, 1966; Wagner, 1962).

1.4. Vergelijking van technieken.

De hoeveelheid water die geïsoleerd wordt, is in alle gevallen een functie van het vochtgehalte van de grond en van de grootte van de gecreëerde drukgradiënt. Er is echter een duidelijk verschilpunt tussen isoleren enkel en alleen door samenpersen en de andere isolatie methoden. Bij methoden gebaseerd op samenpersen is de uitgedreven hoeveelheid water afhankelijk van de samendrukbaarheid van de grond. Deze is een functie van de textuur van de grond en niet evenredig met de uitgeoefende druk. De samendrukbaarheid van klei is gemiddeld groter dan die van zand. Zie tabel 2.

Tabel 2. Samendrukbaarheid, α ($m^2 \cdot N^{-1}$), van verschillende bodemmaterialen (Freeze & Cherry, 1977).

Klei	$10^{-6} - 10^{-8}$
Zand	$10^{-7} - 10^{-9}$
Kiezelsteen	$10^{-8} - 10^{-10}$
Rotsmateriaal	$10^{-8} - 10^{-11}$
Water	4.4×10^{-10}

Bij de centrifugemethoden en gebruik van poreuze keramische filters daarentegen is de opbrengst van bodemvocht vooral afhankelijk van de grootte van capillaire en adsorptiekrachten, die er naar streven het water in de poriën te houden. Bij deze technieken wordt immers alleen water onttrokken aan de poriën

waarin de centrifugaaldruk of zuigspanning de capillaire druk overwint. Een mathematische beschrijving van de relatie tussen waterverzadigingsgraad van de bodem en gegenereerde druk bij centrifugeren met verdringende vloeistof is uitgewerkt door Kinniburgh & Miles (1983). Deze theoretische beschouwingen zijn door Henderickx (1988) gebruikt om voor verschillende gronden het verband tussen pF-kromme en hoeveelheid geïsoleerd bodemvocht bij variërende centrifugeersnelheid aan te tonen. Onder andere op basis van deze experimenten kan worden gesteld dat met deze laatste technieken het mogelijk is specifiek de voor de plantenwortels beschikbare bodemoplossing af te zonderen. Ze zijn dan ook toegepast bij het onderzoek naar de beschikbaarheid van o.a. radionucliden en metalen voor planten (Adams & Lund, 1966; Lembrechts et al., 1990; van Loon, 1986).

2. EXPERIMENTEEL

2.1. Apparatuur

2.1.1. Poriewaterpers

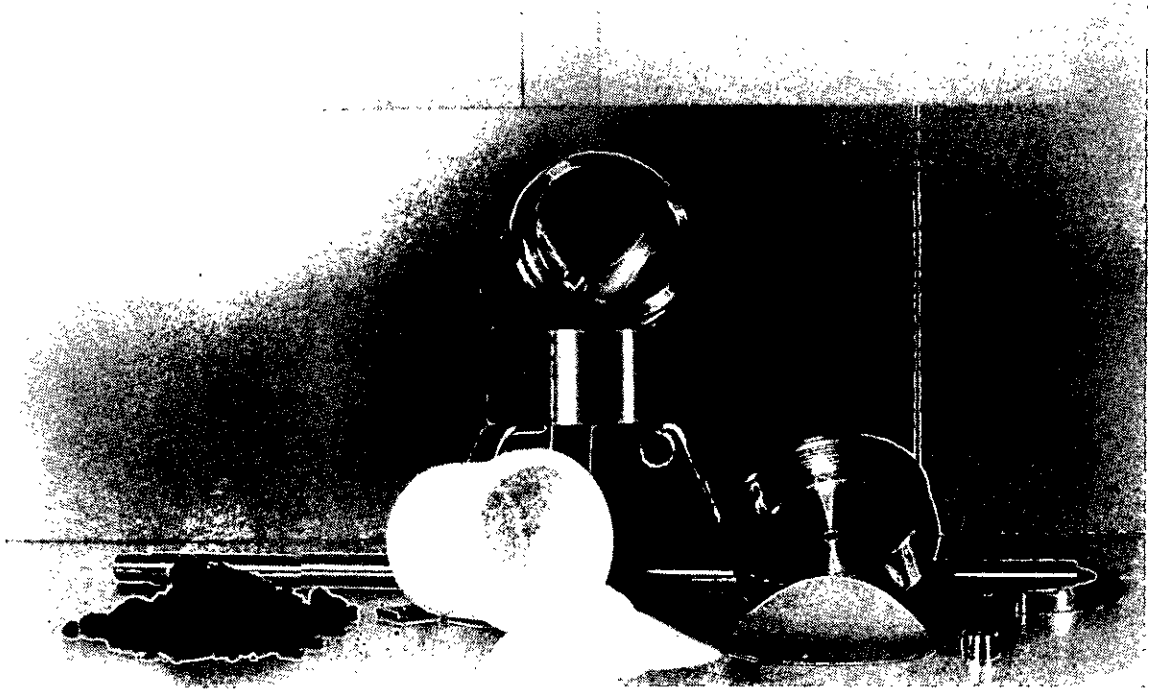
De poriewaterpers bestaat uit een roestvrijstalen pot met schroefdeksel (met konische draad), waarvan de grootste binnenhoogte ca. 92.5 mm en de grootste binnendiameter ca. 110 mm bedragen. Aan de onderzijde is een uitlaat voor het poriewater. In het deksel is een inlaat voor het persgas (stikstof). In de pers bevindt zich een open teflon binnenpot, met een volume van ca. 0.66 l, waarin het grondmonster wordt gebracht. Op de bodem van de pot bevindt zich een van kleine perforaties en groeven voorziene schijf. De bodem heeft een afvoerbuisje voor het poriewater. Een natuurrubber membraan dat aansluit aan de bovenrand van de teflonpot wordt door het deksel dicht te schroeven ingeklemd. Op de bodem van de teflonpot worden drie cellulosenitraat filters gelegd, respectievelijk een .45 μm -filter, een grof steunfilter en nog een .45 μm -filter. De pers staat op een driepoot om opvangen van het poriewater mogelijk te maken. Elk onderdeel van een bepaalde pers is voorzien van hetzelfde nummer. Zie figuur 2 voor een foto van de onderdelen van een poriewaterpers en figuur 3 voor een foto van twee samengestelde exemplaren. De persgas-voorziening bestaat uit een N_2 -gasfles, waarvan het reduceerventiel om veiligheidsredenen is begrensd tot max. 60 bar (~ 6.0 MPa), die met een hogedruk-slang aangesloten is aan een verdeelleiding met manometer. Aan de verdeelleiding kunnen vier poriewaterpersen worden gekoppeld.

De opstelling van de vier persen is geplaatst in een perspex kast om in geval van scheuren van een membraan of losschieten van in/uitlaten, schade en verontreinigingen te minimaliseren. De gebruikte natuurrubber membranen zijn 50/60° shore, dikte: 1 mm, diameter 135 mm. De toegepaste cellulosenitraatfilters hebben een diameter van 10 cm.

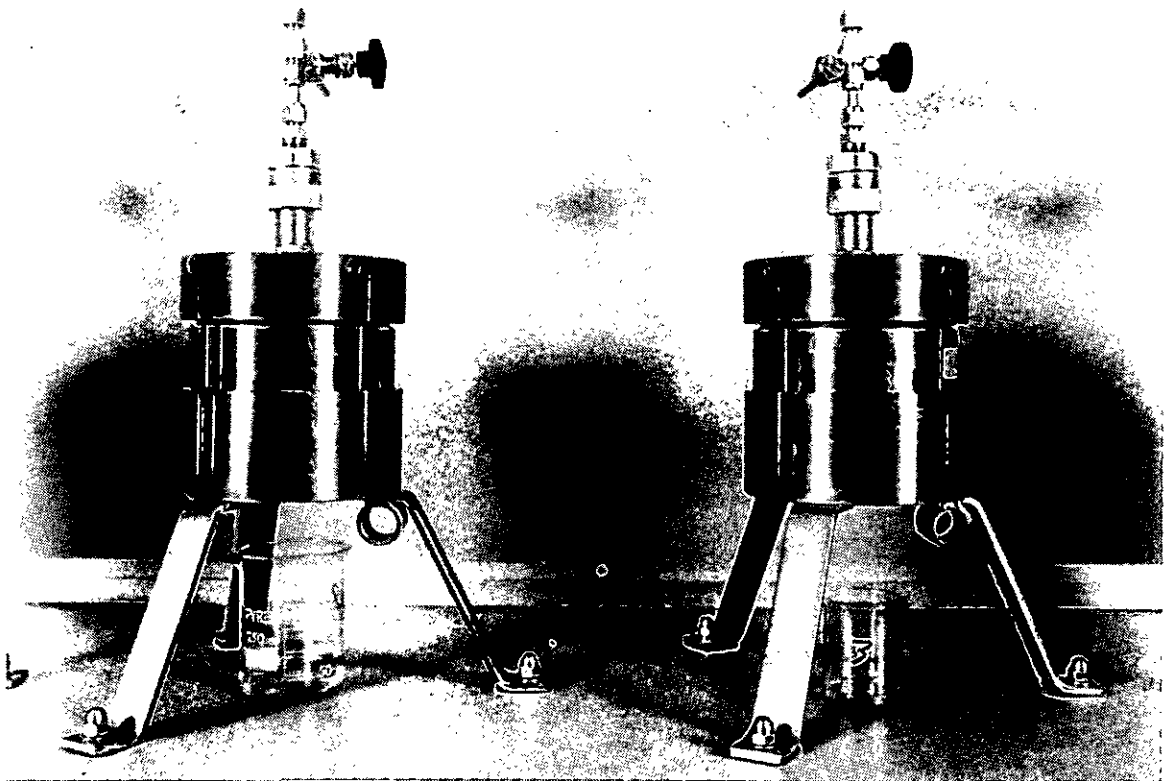
2.1.2. Centrifugeren

De gebruikte apparatuur is: Centrifuge (Sorvall RC-5B), centrifugerotor (Sorvall GS-3), centrifugebuizen, spatel, bovenweger (onnauwkeurigheid 10 mg), filtreerpapier (blauwband).

De centrifugebuizen bestaan uit drie delen: een deksel, de buis met filterplaat en het opvangbakje. Ieder onderdeel is genummerd en hoort bij de andere onderdelen met hetzelfde nummer. Bij 7000 RPM met de gebruikte rotor is de centrifugale kracht in het midden van de buis 5019 g.



Figuur 2. Foto van de diverse onderdelen van de poriewaterpers, en hulpstukken voor de montage.



Figuur 3. Foto van de opstelling van twee gemonteerde poriewaterpersen.

2.2. Methoden

2.2.1. Persen

Tussen het ondoorlaatbare membraan en het deksel wordt met stikstofgas de gewenste druk opgebouwd. Door het elastische membraan wordt druk overgebracht op het grondmonster. Het poriewater uit het samengeperste monster wordt (eventueel in frakties) verzameld. Metingen worden in duplo uitgevoerd.

2.2.2. Centrifugeren

Het poriewater wordt onder invloed van de centrifugale kracht uit het grondmonster gedreven, waarna het onderin de centrifugebuis in een opvangbakje wordt verzameld. Het verschil in gewicht tussen twee in de rotor tegenover elkaar geplaatste buizen (inklusief deksel en bakjes) mag niet meer dan 0.5 g bedragen. Er wordt steeds volgens voorschrift 20 minuten gecentrifugeerd bij 7000 RPM, waarna de hoeveelheid geïsoleerd poriewater wordt gewogen. Een hoger toerental is niet toegestaan. De procedure wordt voor elke monster viermaal herhaald. De centrifuge-experimenten worden in duplo uitgevoerd.

2.3. Uitvoering

2.3.1. Grondmonsters

Voor het poriewateronderzoek werd een drietal grondsoorten bemonsterd: klei, veen en zand. In tabel 3 zijn enige bemonsteringsgegevens bijeengebracht.

Tabel 3. Bemonsteringsgegevens

<i>grondsoort</i>	<i>bodemtype</i>	<i>lokatie</i>	<i>diepte</i> <i>(cm-maaiveld)</i>
<i>klei</i>	<i>rivierklei</i>	<i>Odiijk</i>	<i>10 - 25</i>
<i>veen</i>	<i>rietveen</i>	<i>Schipluiden</i>	<i>50 - 70</i>
<i>zand</i>	<i>duinzand</i>	<i>Katwijk</i>	<i>20 - 50</i>
<i>zand</i>	<i>podsol</i>	<i>Kootwijk</i>	<i>0 - 10</i>

De monstersoorten kunnen als volgt worden geklassificeerd:

- Rivierklei: grijsbruin, zwaar, humusarm, kalkarm;
- Rietveen: zwart, matig veraard, kalkloos;
- Duinzand: lichtgeel, middelfijn tot matig fijn, leemarm, uiterst humusarm, kalkarm met een spoor schelpgruis;
- Podsol: donkergrijsbruin, middelfijn, leemarm, matig humeus, kalkloos en weinig plantenwortels.

Voor elke grondsoort werd het vochtgehalte bepaald. Daartoe werd 100 à 200 g grond gedurende 24 uur op een temperatuur van 110°C gebracht, om het drooggewicht vast te stellen. Schattingen van de frakties lutum, humus en kalk, en de gemeten vochtgehalten worden in tabel 4 gegeven.

Tabel 4. Schatting van de gehalten aan lutum, humus, en kalk, en het gemeten vochtgehalte van het gebruikte monstersoorten.

	lutum %	humus %	kalk %	vochtgehalte %
Rivierklei	> 35	1	1	22
Rietveen	10 - 20	80 - 90	0	69
Duinzand	< 1	< 1	1	4
Podsol	1	2 - 3	0	10

2.3.2. Persen

In de binnenpot, voorzien van nieuwe filters, werd een hoeveelheid monster gebracht. Van de verschillende grondsoorten werden de volgende (voor de duplo's identieke) hoeveelheden ingebracht: veen: 412 g, zand (podsol): 544 g, zand (duin): 770 g, en klei: 622 g. Na aanbrengen van het membraan in het deksel, werd het deksel op de pot geschroefd en goed aangetrokken. Vervolgens werd het geheel aangekoppeld aan de verdeelleiding en werd de stikstofdruk langzaam op de gewenste waarde gebracht. Er werd bij elke grondsoort bij drie drukken gemeten, t.w. 10, 30 en 50 bar.

Van de verschillende monsters werd het verloop van de opbrengst in de tijd bepaald: elk half uur werd de opgevangen fractie poriewater gewogen. De totale looptijd van iedere proef was 6 uren.

2.3.3. Centrifugeren

Onderin elke goed gespoelde centrifugebuis werd op de filterplaat een op maat uitgeknipt filter gelegd. Voorzichtig werd met een spatel het bodemmateriaal in de buizen gebracht, zonder dat er zandkorrels in de schroefdraad komen. Na 20 minuten centrifugeren bij 7000 RPM werden de buizen uit de rotor verwijderd, het opvangbakje losgeschroefd en het vocht uit de bakjes in een flesje geschonken om het gewicht ervan te bepalen.

Van de verschillende grondsoorten werden de volgende hoeveelheden ingebracht (duplo tussen haken): veen: 55.47 (66.82) g, klei: 171.73 (178.90) g, zand (podsol): 188.87 (188.97) g, en zand (duin): 235.62 (246.92) g. Elk monster werd viermaal gecentrifugeerd.

3. RESULTATEN EN DISKUSSIE

3.1. Resultaten

De meetresultaten van de persproeven met de poriewaterpers worden gegeven in Bijlage A, en die van de centrifugeproeven in Bijlage B. In tabel 5 zijn de gemiddelde *totale* hoeveelheden water weergegeven die in zes uren persen bij 50 bar, en in 4 x 20 minuten centrifugeren werden gewonnen. De hoeveelheden zijn getabelleerd als percentage van de totale hoeveelheid monster, en de totale hoeveelheid initieel aanwezig bodemvocht.

Tabel 5. Gemiddelde waarden van de totale hoeveelheden poriewater verkregen door persen (6 uren, 50 bar) dan wel door centrifugeren (4 x 20 min.), als percentage van de totale hoeveelheid monster (A) en de totale hoeveelheid initieel aanwezig bodemvocht (B).

Monster	Vochtgehalte (%)	PERSEN		CENTRIFUGEREN	
		(6 uren; 50 bar)		(4 x 20 min.)	
		(A)	(B)	(A)	(B)
Veen	69	30	43	21.2	31
Klei	22	6	25	2.9	13
Podsolzand	10	0	0	3.5	35
Duinzand	4	0	0	3.5	88

De resultaten zijn ook grafisch weergegeven in de figuren 4 t/m 9. In figuur 4 worden de gemiddelde meetwaarden gegeven voor de monsters, in percentages t.o.v. het totale ingewogen monstergewicht, voor persen bij 50 bar. In figuur 5 worden de meetwaarden gegeven voor de overeenkomstige monsters bij 4 x 20 minuten centrifugeren. Figuren 4 en 5 geven een beeld van de absolute opbrengsten, bij de gekozen experimentele randvoorwaarden.

Fig. 4: Gemiddelde waarden van gewichtspercentage vocht t.o.v. het totaalgewicht voor: — veen; - - klei; zand (podsol en duin), verkregen door persen. Stikstofdruk: 50 atm.

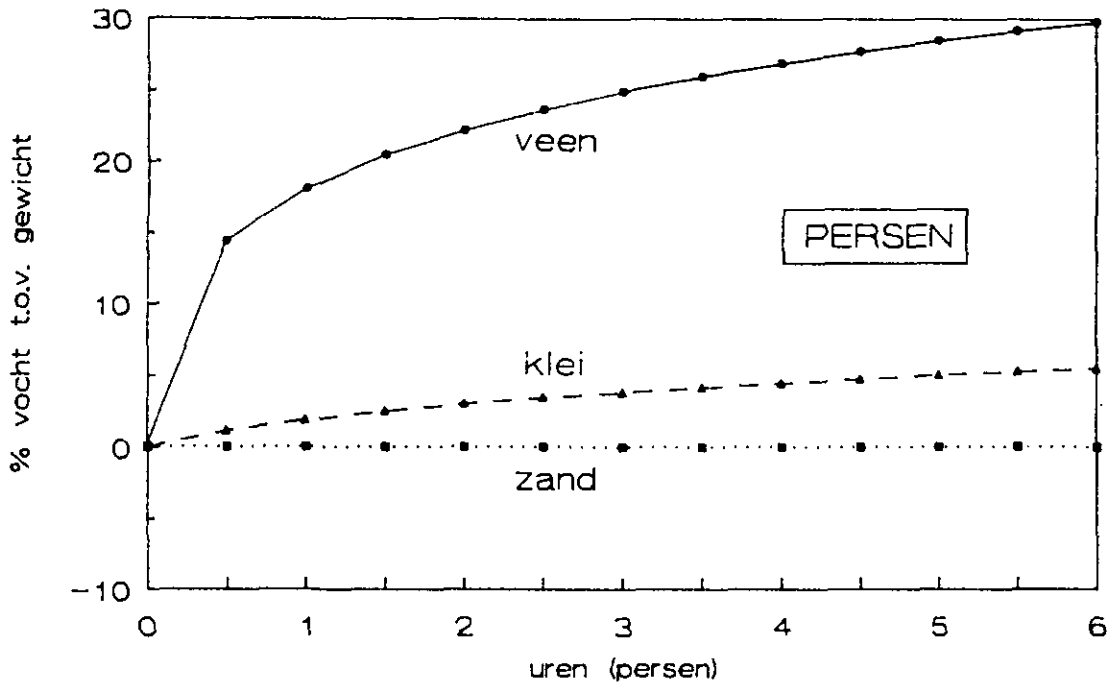


Fig. 5: Gemiddelde waarden voor gewichtspercentage vocht t.o.v. totaalgewicht voor: — veen; - - klei; zand (podsol); — — zand (duin), verkregen door centrifugeren.

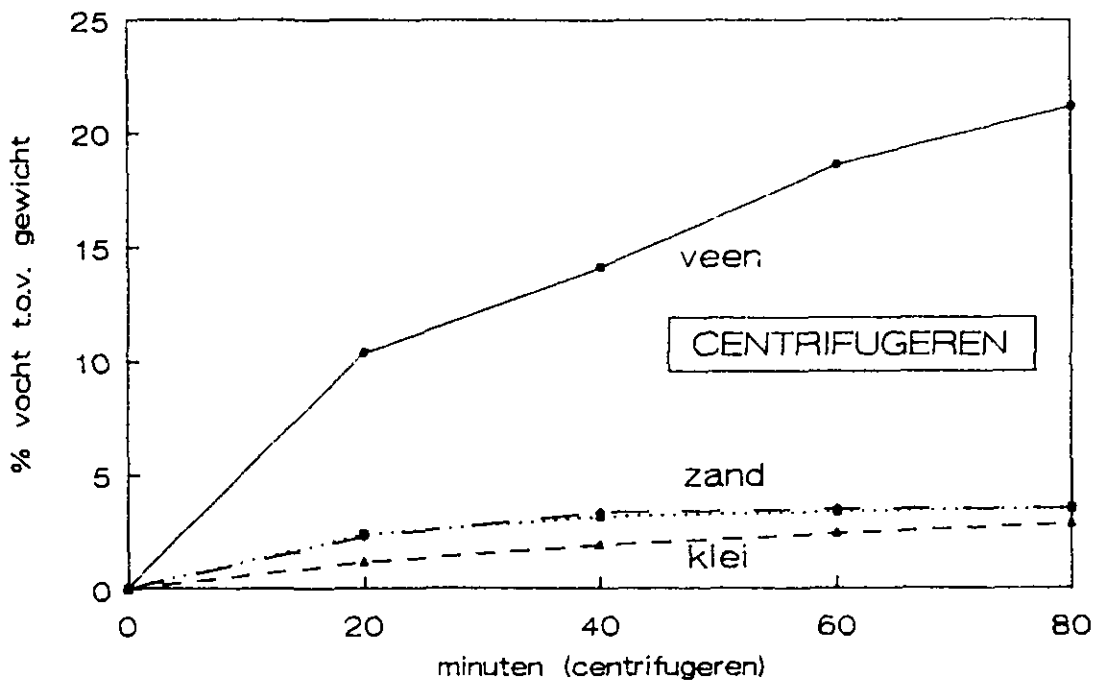


Fig. 6: Waarden van het gewichtspercentage vocht t.o.v. het totaalgewicht voor veen, verkregen door persen.
Stikstofdruk: ——— 50 atm.; - - - 30 atm.; 10 atm.

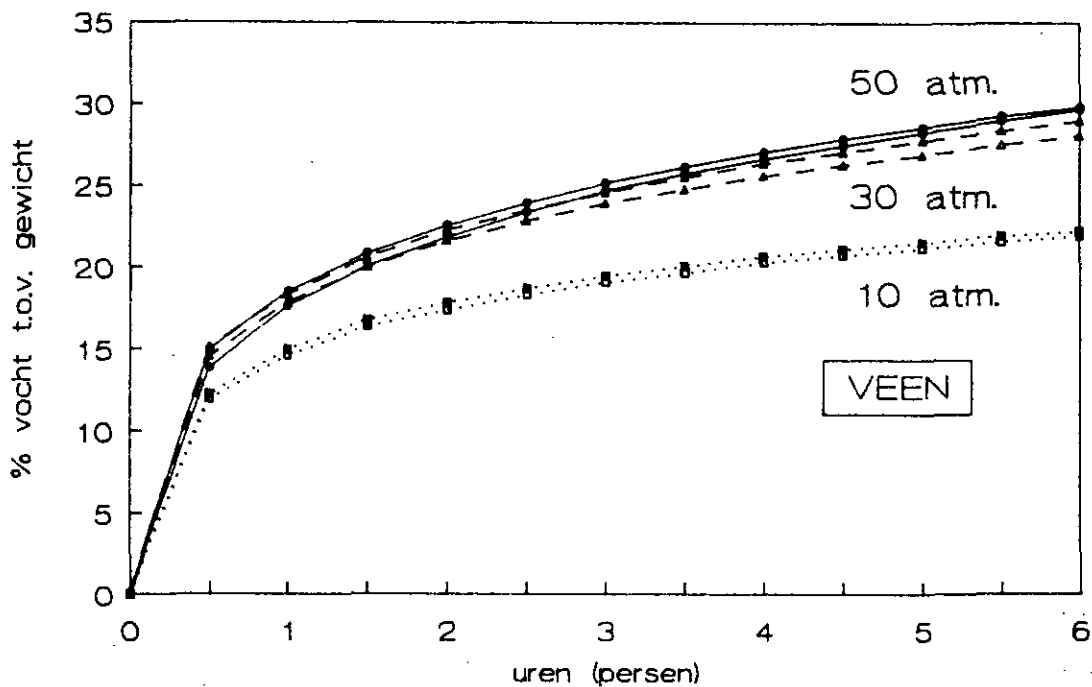


Fig. 7: Waarden van het gewichtspercentage vocht t.o.v. het totaalgewicht voor klei, verkregen door persen.
Stikstofdruk: ——— 50 atm.; - - - 30 atm.; 10 atm.

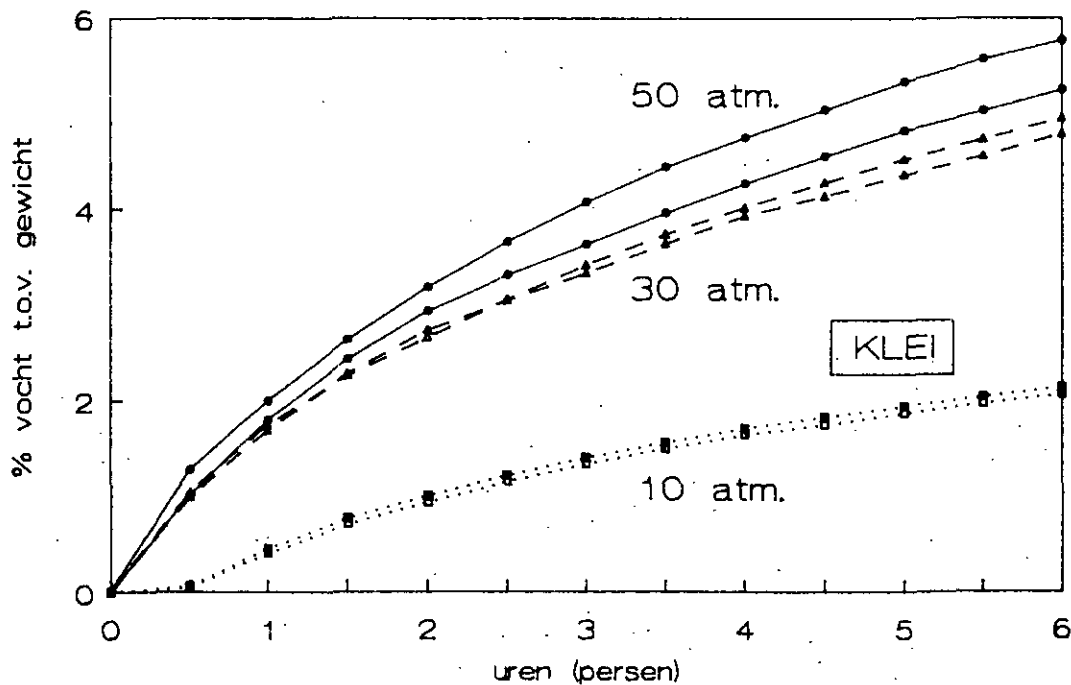


Fig. 8: Gemiddelde waarden voor gewichtspercentage vocht t.o.v. het totaal vocht voor: — veen; - - - klei; zand (podsol en duin), verkregen door persen. Stikstofdruk: 50 atm.

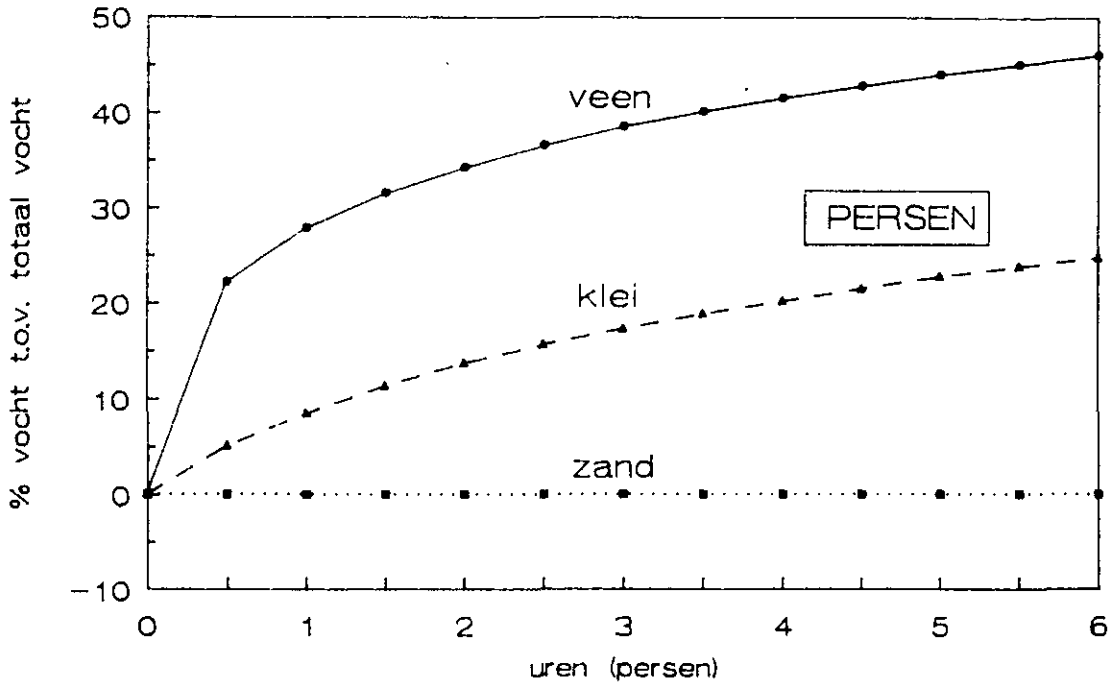
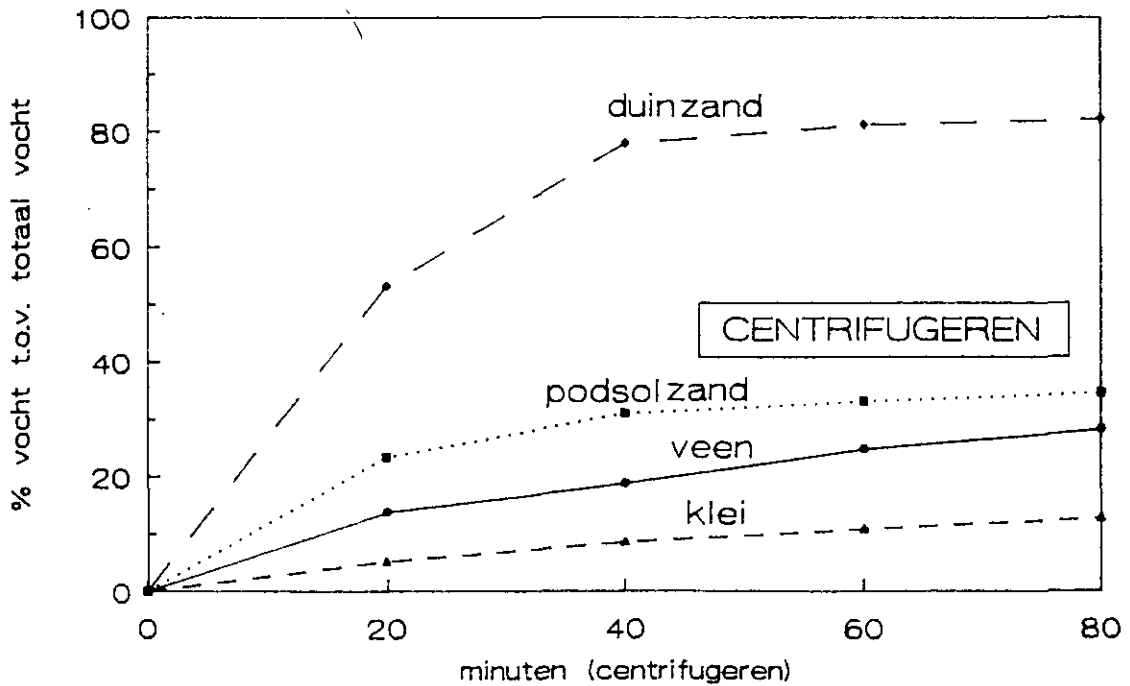


Fig. 9: Gemiddelde waarden voor gewichtspercentage vocht t.o.v. totaal vocht voor: — veen; - - - klei; zand (podsol); — — zand (duin), verkregen door centrifugeren.



De figuren 6 en 7 tonen de nog niet gemiddelde (duplo-)waarden voor de persresultaten met veen en met klei, voor alle drie de toegepaste drukken. Zulke presentaties ontbreken voor de zandsoorten omdat daar de opbrengsten bij alle drukken nihil waren in de zes-uur perioden. Hierbij moet worden aangetekend dat na ruim een etmaal persen de opbrengst voor duinzand toch enige grammen bedroeg. De figuren 6 en 7 geven een beeld van de herhaalbaarheid van de pers-experimenten en van de invloed van de grootte van de toegepaste druk.

In figuur 8 zijn opbrengsten bij persen (50 bar) en in figuur 9 die bij centrifugeren weergegeven in gewichtspercentages vocht t.o.v. het vochtgehalte van de monsters. De figuren 8 en 9 geven de beste mogelijkheid de karakteristieken van beide methoden, bij de gekozen experimentele randvoorwaarden, te vergelijken.

3.2. Diskussie

Uit een vergelijking van de resultaten van persen en centrifugeren blijkt duidelijk het verschil in werking van de beide technieken. Bij de interpretatie van de resultaten dient wel rekening gehouden te worden met het feit dat ze sterk afhankelijk zijn van parameters zoals hoogte van de grondkolom, centrifugeersnelheid of uitgeoefende druk, en de verzadigingsgraad van de bodem. Verder dient erop gewezen te worden dat geen evenwichtssituaties vergeleken worden. Dit blijkt uit het feit dat geen van de voorgestelde kurven (zie figuren 4 en 5) na zes persuren of na 80 minuten centrifugeren zodanig is afgevlakt dat grafisch een asymptoot kan worden aangebracht. Zo kon uit enkele proefbepalingen worden vastgesteld dat uit het duinzandmonster na circa 24 uur persen bij 50 bar 7 % van de totale hoeveelheid poriewater kon worden gewonnen, daar waar gedurende de eerste 6 uren geen water werd uitgedreven.

Bij persen is uit de meest samendrukbare grond (veen) gemakkelijk vocht te isoleren. De grote volumereduktie van veen bij relatief geringe druk, samen met een snelle afvoer van water door de aanwezige grote poriën, heeft tot gevolg dat in korte tijd al veel vocht geïsoleerd kan worden bij de laagst toegepaste druk van 30 bar (figuren 6 en 8). Verhoging van de druk tot 40 of 50 bar zal, relatief gezien, dan ook slechts een geringe meeropbrengst tot gevolg hebben. Is een grotere druk vereist om de grond samen te persen (bijvoorbeeld bij klei), o.a. omdat het water door de kleinere poriën moet worden afgevoerd, dan zal in de beginfase van het persen de opbrengst per tijdseenheid kleiner zijn dan bij gemakkelijker samendrukbare gronden. Verhogen van de druk heeft hier echter een grotere meeropbrengst tot gevolg (figuur 7). Is de grond weinig samendrukbaar en

bovendien erg droog, zoals bij zandgronden het geval is, dan is de gerealiseerde volumereduktie te gering om het weinige vocht te verdrijven, ook bij een druk van 50 bar.

Dat bij *centrifugeren* de opbrengst vooral een functie is van grootte van de capillaire krachten en dus van de poriegrootte-verdeling, kan op verschillende manieren worden vastgesteld. Door centrifugeren van zandgronden bij 7000 RPM is het verschil tussen de relatief zwakke capillaire kracht die het water bindt in de overwegend grote poriën (zie ook figuur 1), en de centrifugaalkracht zo groot dat het water snel wordt afgevoerd en de opbrengst na verloop van tijd spoedig afneemt (figuur 9). Neemt het aandeel van de kleinere poriën toe (bij klei en veen), dan zal het water dat zich daarin bevindt langzamer uit de kolom worden verdreven omdat er een kleinere netto kracht op uitgeoefend wordt. De curve zal minder snel afvlakken dan bij zand. Door een groter aandeel van zeer kleine poriën zal uit de klei relatief minder vocht, en ook trager, vrijkomen dan uit het veen.

De bruikbaarheid van en dus de keuze voor een van beide technieken is een functie van de karakteristieken en het vochtgehalte van de grond, en van de aard van het gestelde doel. De perstechnieken zijn voornamelijk minder geschikt voor weinig samendrukbare en drogere gronden. Voor een verdere behandeling van de voor- en nadelen van de diverse pers- en centrifugeertechnieken wordt verwezen naar Adams et al. (1980), Nisbet & Lembrechts (1990), Ross & Bartlett (1990) en Whelan & Barrow (1980). Samenvattend kan gesteld worden dat bij persen de relatie tussen druk en volumereduktie bepalend is voor de opbrengst. Bij centrifugeren is de evolutie van de opbrengst uit de pF-curve af te leiden.

4. KONKLUSIES

Geen van de meetkurven voor de veen- en kleimonsters is na zes persuren of na vier centrifugegangen zo afgevlakt dat een asymptotische eindwaarde kan worden bepaald. De te winnen hoeveelheid poriewater wordt daardoor sterk bepaald door de experimentele kondities.

Onder de toegepaste experimentele omstandigheden is de fraktie van het totale vochtgehalte die verkrijgbaar is door persen, voor veen en klei groter dan bij centrifugeren. Voor zand is de situatie beduidend anders. Met persen wordt géén water gewonnen in de zes persuren, terwijl met centrifugeren van het duinzand bijna 90 % gehaald wordt.

Met centrifugeren komt tot uitdrukking dat de bindingssterkte van het poriewater toeneemt in de serie: duinzand, podsolzand, veen en klei, terwijl met persen de structuurafhankelijkheid van de hoeveelheid poriewater tot uitdrukking komt.

DANKWOORD

Met dank aan het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid voor het ter beschikking stellen van een ontwerp van de bij het IB in gebruik zijnde poriewaterpers, en aan de Technische Dienst van het RIVM voor het ontwerpen en uitvoeren van een gemodificeerde versie van de poriewaterpers.

LITERATUUR

Adams F. & Lund, Z.F. (1966)

Effect of chemical activity of soil solution aluminum on cotton root penetration of acid subsoils

Soil Sci., **101**, 193-198

Adams, F., Burmester C., Hue, N.V. & Long, F.L. (1980)

A Comparison of column-displacement and centrifuge methods for obtaining soil solutions

Soil Sci. Soc. Am. Proc., **44**, 733-735

Bouma, J. & Locher, W.P. (1987)

'Binding van Water' in: 'Bodemkunde van Nederland' (Locher, W.P. & de Bakker, H., Eds.), Malmberg, Den Bosch, pp. 121-137.

Davies, B.E. & Davies, R.I. (1963)

A simple centrifuge method for obtaining small samples of soil solution
Nature, **198**, 216-217

Freeze, R.A. & Cherry, J.A. (1977)

Groundwater

Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 51-57

Henderickx, C. (1988)

Studie van de bodemoplossing als voedingsmedium van planten

Katholieke Universiteit van Leuven, Fac. Landbouwwetenschappen, Leuven (België), p. 98

Hillel, D. (1971)

Soil and water. Physical principles and processes

Acad. Press, New York, p. 288

Jackson, D.R., Brinkley, F.S. & Bondietti, E.A. (1976)

Extraction of soil water using cellulose acetate hollow fibers

Soil Sci. Soc. Am. Proc., **35**, 420-426

Kinniburgh, D.G. & Miles, D.L. (1983)

Extraction and chemical analysis of interstitial water from soils and rocks

Environ. Sci. Technol., **35**, 362-368

Lembrechts, J.F., van Ginkel, J.H. & Desmet, G.M. (1990)

Comparative study on the uptake of strontium-85 from nutrient solutions and potted soils by lettuce

Plant and soil, **125**, 63-69

van Loon, L.R. (1986)

Kinetic aspects of the soil-to-plant transfer of technetium

Dissertationes de Agricultura

Kath. Univ. Leuven, Leuven, België, Nr. 150, p.145

Mubarak, A. & Olsen, R.A. (1976)

Immiscible displacement of the soil solution by centrifugation

Soil Sci. Soc. Am. J., **40**, 329-331

Nisbet, A.F. & Lembrechts, J.F. (1990)

The dynamics of radionuclide behaviour in soil solution with special reference to the application of countermeasures

Proc. CEC/ENEA-DISP/CSRA Workshop 'The transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments', Udine (Italië), 890911; in press

Reynolds, G. (1984)

A simple method for the extraction of soil solution by high speed centrifugation

Plant and Soil, **78**, 437-440

Ross, D.S. & Bartlett, R.J. (1990)

Effects of extraction methods and sample storage on properties of solutions obtained from forested podosols

J. Environ. Qual., **101**, 108-113

Shimshi, D. (1966)

Use of ceramic points for the sampling of soil solution

Soil Sci., **101**, 98-103

Soon, Y.K. & Miller, M.H. (1977)

A centrifugal filtration method for isolating rhizocylinder solution

Soil Sci. Soc. Am. J., **41**, 143-144

Wagner, G.H. (1962)

Use of porous cup soil water sampler with volume control

Soil Sci., **94**, 379-386

Whelan, B.R. & Barrow, N.J. (1980)

A study of a method for displacing soil solution by centrifuging with an immiscible liquid

J. Environ. Qual., **9**, 315-319

Bijlage B: Resultaten centrifugemethode voor de vier monstersoor-, ten, na elk van de vier 20-minutenperiodes. Weergegeven zijn de hoeveelheden water (in gram) verkregen na elke van de vier centrifugeprocedures, en de totalen.

grondsoort	ingewogen	1 maal	2 maal	3 maal	4 maal	tot.
Veen	55.47	6.23	2.27	2.54	1.59	12.6
	66.82	6.34	2.30	2.93	1.52	13.1
Klei	171.73	2.01	1.24	0.91	0.75	4.9
	178.90	2.13	1.38	0.89	0.72	5.1
Zand	235.62	4.95	2.56	0.44	0.12	8.1
Duinzand	246.92	6.11	2.57	0.23	0.10	9.0
Zand	188.87	3.92	1.17	0.31	0.27	5.7
Podsol	188.97	5.06	1.77	0.52	0.29	7.6