

NN31545.1750

INSTITUUT
STANKBOUW

ICW nota 1750 ^{II}

januari 1987



nota

instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, wageningen

DE INVLOED VAN GRADATIE EN LEEMGEHALTE OP VOCHTRETENTIE,
DOORLATENDHEID EN STABILITEIT VAN ZAND VOOR TOPLAAGCON-
STRUCTIES VAN TRAININGSVELDEN

P. van der Horst



Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek
nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut
in aanmerking

7 MAART 1987

JSN 25706g *

SAMENVATTING

Dit rapport beschrijft een onderzoek naar de invloed van gradatie en leemgehalte op vochtretentie, doorlatendheid en stabiliteit van zand voor de toplaag van trainingsvelden. De gradatie is weergegeven door de mediaan (M50) en de gradatieindex ($G.I. = D90/D10$) van de zandfractie. Het onderzoek bevat twee delen. In het eerste deel is nagegaan voor vijf maximaal verdichte zanden, verschillend in gradatie, hoe de stabiliteit over een breed traject van drukhoogte van het bodemvocht, de vochtretentie en doorlatendheid samengaan met de gradatie van het zand. Hetzelfde is gedaan voor matig fijn en matig grof zand, waaraan verschillende hoeveelheden leem waren toegevoegd. Het blijkt dat de voor de karakterisering van zand in verband met stabiliteit het best de mediaan (M50) kan worden gebruikt. Naarmate het zand fijner is, is de stabiliteit beter. Gaande van nat naar droog neemt de stabiliteit het meest toe bij de fijner zanden. Ook hebben deze zanden een gunstiger vochtretentie en doorlatendheid. Ook leem draagt in sterke mate bij tot vergroting van de stabiliteit. Wel kan de verzadigde doorlatendheid door leem aanzienlijk worden verlaagd. De onverzadigde doorlatendheid en vochtretentie van leemhoudend zand is hoger, hetgeen onder niet te natte omstandigheden de stabiliteit ten goede komt. In het tweede deel van het onderzoek is met behulp van een simulatiemodel voor onverzadigde stroming nagegaan, hoe de stabiliteit van de toplaag verloopt onder actuele weersomstandigheden in afhankelijkheid van samenstelling (gradatie, leemgehalte) van de toplaag, de aard van de ondergrond en drainageintensiteit. Hieruit bleek dat de invloed van de ondergrond op de vochtomstandigheden in en daarmee op de stabiliteit van de toplaag veel groter is dan de invloed veroorzaakt door verschillen in toplaag. Leemhoudende toplagen voldoen het best. Alleen onder zeer natte omstandigheden verliezen ze hun stabiliteit eerder dan de leemarme. Toplagen op goed doorlatend zand- en zavelgronden verliezen hun stabiliteit slechts over korte perioden. Toplagen op minder goed doorlatende gronden, zoals klei, verliezen bij regen veel vaker en langduriger hun stabiliteit. Uit het oogpunt van stabiliteit bleek een fijnzandige toplaag met 12 gew. % leem op een goed doorlatende zandgrond het best te voldoen.

VOORWOORD

Het in deze nota beschreven onderzoek werd uitgevoerd op het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding en is begeleid door J. Beuving. Hiervoor wil ik hem bedanken. Daarnaast is de hulp, die gegeven is door dr. ir. A.L.M. van Wijk, dr. ir. J. Halbertsma en G.J. Veerman onontbeerlijk gebleken tijdens het onderzoek.

I N H O U D

	Blz.
1 INLEIDING	1
2 PROEFOPZET	2
2.1 Inleiding	2
2.2 Proefopzet eerste deelonderzoek	2
2.3 Proefopzet tweede deelonderzoek	2
3 MATERIAAL EN METHODEN	3
3.1 Gebruikte zanden	3
3.2 Maken monsters	5
3.3 Bepaling stabiliteit	7
3.4 Bepaling vochtretentie en doorlatendheid	8
4 INVLOED GRADATIE EN LEEMGEHALTE OP STABILITEIT, VOCHTRETENTIE EN DOORLATENDHEID	11
4.1 Gradatie van zand	11
4.1.1 Invloed gradatieindex en mediaan op vochtretentie	11
4.1.2 Invloed gradatieindex en mediaan op doorlatendheid	13
4.1.3 Invloed gradatieindex en mediaan op stabiliteit	14
4.1.4 Conclusies	16
4.2 Leemtoevoeging aan zand	16
4.2.1 Invloed van leem op vochtretentie	17
4.2.2 Invloed van leem op doorlatendheid	20
4.2.3 Invloed van leem op stabiliteit	22
4.2.4 Conclusies	25

5	INVLOED VAN SAMENSTELLING TOPLAAG, ONDERGROND EN VAN DRAINAGE OP VERLOOP VAN STABILITEIT	26
5.1	Inleiding	26
5.2	Gebruikt model	27
5.3	Invoergegevens model FLOWEX	27
5.3.1	Gebruikte toplagen	27
5.3.2	Gebruikte ondergronden	27
5.3.3	Weergegevens	28
5.4	Resultaten modelsimulatie	28
5.4.1	Frequentie en duur van voorkomen van stabiliteit bij negen combinaties van toplaag en ondergrond	28
5.4.2	Frequentie en duur van voorkomen van stabiliteit in afhankelijkheid van de drainageintensiteit	47
5.4.3	Conclusies	51
6	AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK	52
7	LITERATUUR	53
	BIJLAGE I	55
	BIJLAGE II	57

1 INLEIDING

Trainingsvelden worden meestentijds zo intensief bespeeld dat handhaving van een grasmat niet mogelijk is. De praktijk gaat er daarom meer en meer toe over onbegroeide Trainingsvelden aan te leggen met een zandige top laag. Een belangrijke voorwaarde hierbij is dat de top laag zodanig stabiel en doorlatend is, dat de bespeelbaarheid ondanks intensief gebruik goed blijft. In het verleden is het nodige onderzoek gedaan naar de bespeelbaarheid van grassportvelden. Onderzoek naar de bespeelbaarheid van Trainingsvelden daarentegen heeft niet of nauwelijks plaatsgevonden. In dit rapport is getracht om hierin meer inzicht te verkrijgen.

Uit overleg met de Nederlandse Sportfederatie (NSF) bleek grote behoefte te bestaan aan informatie over de invloed van gradatie en leemgehalte op stabiliteit, vochtretentie en doorlatendheid van zand voor toplagen voor Trainingsvelden.

Aan de hand van de verkregen resultaten is gezocht naar mogelijkheden, die de problemen met betrekking tot de bespeelbaarheid van de Trainingsvelden kunnen oplossen.

Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van een 9-maands doctoraalvak Cultuurtechniek.

2 PROEFOPZET

2.1 Inleiding

Het onderzoek naar de invloed van gradatie en leemgehalte op vochtretentie, doorlatendheid en stabiliteit van zand voor toplagen van trainingsvelden is uitgevoerd om de bespeelbaarheid van onbegroeide trainingsvelden te bestuderen en is in twee delen gesplitst. In beide delen ligt het accent op de stabiliteit.

2.2 Proefopzet eerste deelonderzoek

Het eerste deelonderzoek bestaat uit twee delen, nl. een onderzoek naar de invloed van gradatie en een naar de invloed van leemgehalte op stabiliteit.

a. Invloed van gradatie op stabiliteit.

Vijf zanden met een verschillende combinatie van mediaan en gradatie-index zijn gebruikt. Voor deze zanden is nagegaan hoe de indringingsweerstand afhangt van de drukhoogte van het bodemvocht. Vanwege de afhankelijkheid van de indringingsweerstand van de drukhoogte zijn tevens de vochtretenties en doorlatendheden van de zanden gemeten. Deze beide relaties zijn bepalend voor het verloop van de drukhoogte in de tijd.

b. Invloed van leemgehalte op stabiliteit.

Voor matig fijn zand met 1, 4, 8 en 12 gewichtsprocenten (gew. %) leem en voor matig grof zand met 0, 8 en 12 gew. % leem is onderzocht hoe de indringingsweerstand afhangt van de drukhoogte van het bodemvocht. Ook in dit deel zijn de vochtretenties en doorlatendheden bepaald.

2.3 Proefopzet tweede deelonderzoek

Uit het eerste deelonderzoek volgt dat de indringingsweerstand sterk vochtafhankelijk is, maar ook dat verbetering van stabiliteit gepaard kan gaan met slechtere hydrologische eigenschappen.

Modelonderzoek maakt het mogelijk na te gaan wat de invloed van gradatie en leemgehalte van de toplaag is op frequentie en duur van stabiliteit onder actuele weersomstandigheden. Vochtomstandigheden in de toplaag zijn slechts ten dele afhankelijk van de hydrologische eigenschappen van de toplaag, daarom is ook gekeken naar de invloed van ondergrond en drainage op stabiliteit.

3 MATERIAAL EN METHODEN

3.1 Gebruikte zanden

De zanden, die voor dit onderzoek gebruikt zijn, zijn zodanig gekozen, dat de combinaties van de mediaan (M50) en de gradatieindex van de zandfractie (G.I.) verschillend zijn. Onder de mediaan van de zandfractie wordt de korrelgrootte verstaan waarboven en waar beneden 50 % van het gewicht van de zandfractie ligt. De gradatieindex van het zand is het quotient van de korrelgrootte beneden welke 90 % en de korrelgrootte beneden welke 10 % van het gewicht aan korrels is gelegen (G.I. = D_{90}/D_{10}).

In Tabel 3.1 staan de samenstellingen van de gebruikte zanden vermeld.

Tabel 3.1. De verdeling van de minerale delen van de gebruikte zanden in fracties, het organisch-stofgehalte (gew. %), de mediaan (M50), de gradatieindex (G.I.) en de volumieke massa (V.M. (10^3 kg/m^3))

Zandfracties (in gew. %)										
Zand no.	Org. stof.	<50 μm	50-105	105-150	150-210	210-300	300-420	M50	G.I.	V.M.
1	0,6	2,3	33,9	40,2	13,6	4,6	4,8	121	3,17	1,60
2	0,3	1,1	11,0	30,0	34,0	13,7	9,9	164	3,03	1,60
3	0,4	-	-	1,8	24,6	52,4	20,7	250	2,13	1,55
4	0,6	-	1,1	24,3	47,8	20,3	5,9	180	2,32	1,55
5	0,6	-	19,3	25,4	19,0	25,4	10,8	167	3,94	1,63
matig fijn zand										
5	0,6	-	19,3	25,4	19,0	25,4	10,8	167	3,94	1,63
5a	0,6	3,9	18,5	24,3	18,3	24,4	10,1	167	3,94	1,65
5b	0,6	7,9	17,6	23,3	17,5	23,4	9,6	167	3,94	1,67
5c	0,6	11,9	16,8	22,3	16,8	22,4	9,2	167	3,94	1,71
matig grof zand										
3	0,4	-	-	1,8	24,6	52,4	20,7	250	2,13	1,55
3b	0,6	7,8	-	1,7	22,6	48,6	18,6	250	2,13	1,65
3c	0,6	11,8	-	1,6	21,6	46,7	17,8	250	2,13	1,67

De zanden in Tabel 3.1 zijn kunstmatig vervaardigd uit dekzanden, die afkomstig zijn uit Sellingen en Papendal. Deze dekzanden zijn eerst gedroogd bij 30° Celcius en vervolgens gezeefd in de in Tabel 3.1 onderscheiden fracties. De fractie kleiner dan $50 \mu\text{m}$ is de leemfractie. Deze afzonderlijke fracties zijn in bepaalde verhoudingen gemengd om de samenstelling van de gebruikte zanden te verkrijgen.

Het humusgehalte van de mengsels werd bepaald door middel van gloeien van de monsters bij $550^\circ \text{ Celcius}$. Alle gebruikte zanden hebben een zeer laag organisch-stofgehalte. De invloed van het organisch-stofgehalte is niet meegenomen in het onderzoek.

De samenstelling van de gebruikte, kunstmatig vervaardigde zanden 1 tot en met 5 zijn afgeleid van vier natuurlijke zandgronden, terwijl één zand is gemaakt uit een combinatie van twee van de vier gebruikte natuurlijke zandgronden. De volgende zandgronden zijn als uitgangspunt gebruikt voor de kunstmatig te vervaardigen zanden:

1. Sellingen, de C-horizont van een zwak lemig, zeer fijn zand, (BEUVING, 1984);
2. Ederveen, de C-horizont van een zwak lemig, matig fijn zand, (BEUVING, 1984);
3. Roden, (BOEKEI, e.a., 1980);
4. Duinzand, (V.D. KNAAP, 1980);
5. 60 % Sellingen en 40 % Roden.

3.2 Maken van monsters

Bij het vaststellen van de invloed van de samenstelling van de grond en het vochtgehalte op de mechanische sterkte, is het van betekenis dat met een constante volumieke massa wordt gewerkt (BEUVING, 1979). Dit geldt ook voor de doorlatendheid.

Voor het maken van monsters met gelijke volumieke massa is een apparaat gebruikt waarmee kolommen grond tot 100 cm lengte kunnen worden samengedrukt. Het samendrukken met dit apparaat geeft bij nauwkeurig gebruik een hoge betrouwbaarheid met betrekking tot de volumieke massa.

Het apparaat bestaat uit een stalen frame met een verstelbare stempel. Op de hydraulische pomp is een voetplaat bevestigd waarop ringen komen te staan (Fig. 1). De grond wordt verdicht door met een hydraulische pomp de grond in de ringen tegen de stempel te drukken. De aan te brengen druk is gemeten via een drukring met een vervormingsmeter. Deze drukring heeft een meetbereik van 0 tot ca. 1000 kg.

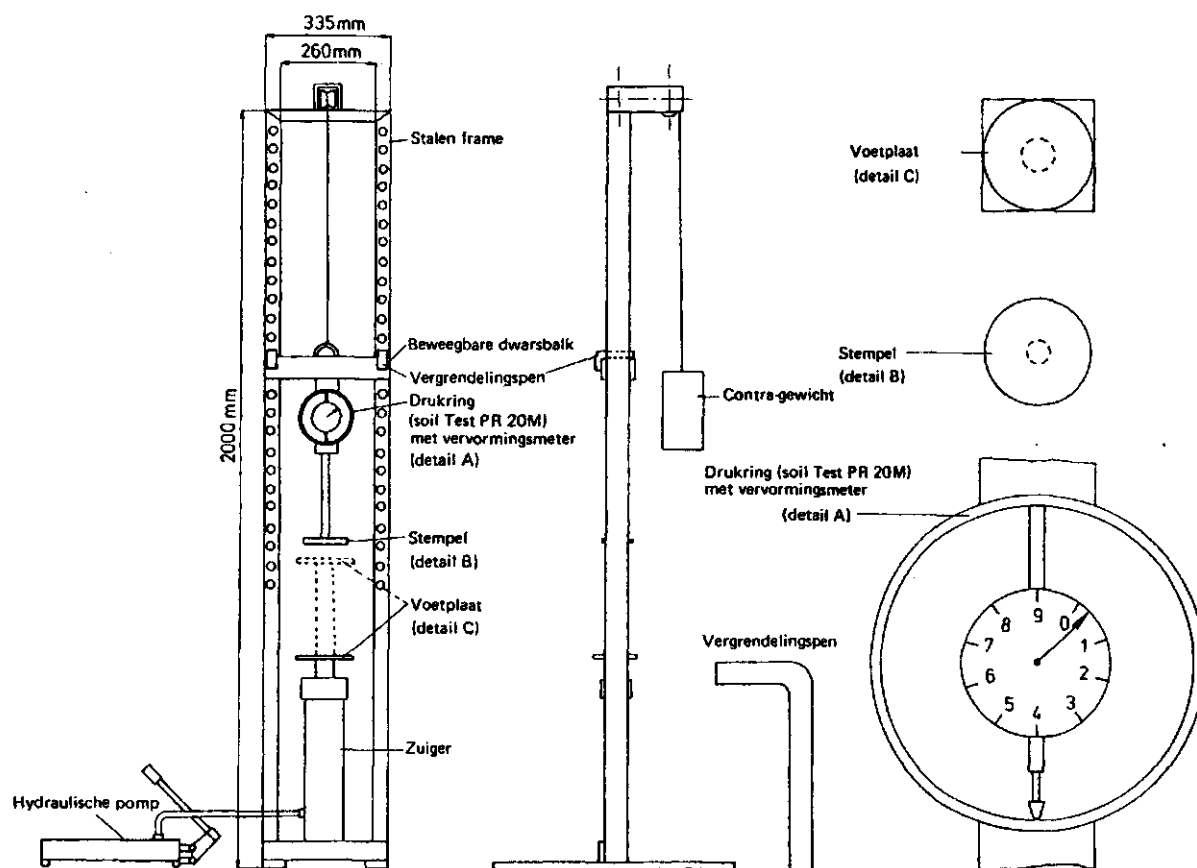


Fig. 1. Samendrukkingsapparaat

Voor het vervaardigen van monsters voor de verschillende bepalingen zijn twee soorten ringen gebruikt, nl. metalen ringen met een binnendiameter van 10,0 cm en een hoogte van 5,0 cm voor de indringingsweerstandsbepaling, terwijl voor het bepalen van de vochtretentie en doorlatendheid plastic ringen zijn gebruikt met een binnendiameter van 10,3 cm en een hoogte van 8,0 cm. Door de ringen te stapelen en onderling met rubberen manchetten te verbinden ontstaat een kolom.

Voor het vullen van de ringen is de grond op het gewenste vochtgehalte voor een maximale verdichting ($\theta = 17,2$ volumeprocenten (vol. %)) gebracht door toevoeging van water. VAN WIJK (1980) schrijft dat de bespeelbaarheid van grassportvelden kan worden verbeterd door de volumieke massa van de toplaag te verhogen en de drukhoogte van het bodemvocht te verlagen. Getracht is naar aanleiding van bovenstaande

de volumieke massa van de monsters maximaal te maken. Hiervoor is een vochtgehalte van 23 vol. % nodig. Bij 70 à 75 % verzadiging van het monster treedt tijdens het samendrukken geen water uit. Dit leidt tot een gewenst vochtgehalte van 17,2 vol. % (BEUVING, 1979).

Na het bevochtigen van de grond is een afgewogen hoeveelheid grond met het gewenste vochtgehalte los in de ring of stapel ringen gestort en licht geëgaliseerd. Gedurende 60 seconden is de grond met een constante druk van 1,2 MPa belast. Het oppervlak van het drukvlak is, voordat een nieuwe hoeveelheid grond is toegevoegd, losgemaakt. Deze werkwijze is zovaak herhaald totdat het gewenste aantal monsters was bereikt.

Na het vullen zijn de kolommen in afzonderlijke monsters gesplitst. Bij alle kolommen zijn de eerste en laatste ingevulde ring buiten de meting gehouden, omdat deze afwijken in volumieke massa's. De onderlinge verschillen in volumieke dichtheid tussen de monsters van dezelfde kolom bedroeg minder dan 1,6 % bij de metalen ringen en minder dan 1,0 % bij de plastic ringen.

3.3 Bepaling stabiliteit

Na het samendrukken zijn de monsters op drie verschillende vochtgehalten gebracht door vocht te laten verdampen in de laboratoriumruimte.

De indringingsweerstand is bij de drie verschillende vochtgehalten gemeten met behulp van een sondeerapparaat (Fig. 2). Het sondeerapparaat bestaat uit een metalen cylinder, waarin zich een uitschuifbare stang bevindt. Deze stang kan met behulp van luchtdruk in verticale richting naar buiten worden geperst. Onderaan de stang zit een conus met een tophoek van 60 graden en een basis van 1 cm². De conus staat in verbinding met een drukmeter, die de indringingsweerstand aangeeft.

Bij het meten van de indringingsweerstand is de conus van het sondeerapparaat met een constante snelheid van 1 cm per seconde tot een diepte van 2 cm in het monster gedreven. Deze snelheid komt ongeveer overeen met de snelheden bij veldmetingen met een penetrometer. VAN WIJK (1980) heeft laboratoriummetingen met een snelheid van 1 cm per minuut vergeleken met waarnemingen in het veld met dezelfde conus. Bij

veldwaarnemingen is de snelheid aanzienlijk hoger. De verschillen tussen beide waarnemingen zijn te verwaarlozen. Alleen bij lage indringingsweerstand waren de veldwaarnemingen minder nauwkeurig.

De hoogst afgelezen waarde is als de mechanische sterkte van het monster beschouwd. Alle metingen zijn in drievoud uitgevoerd.

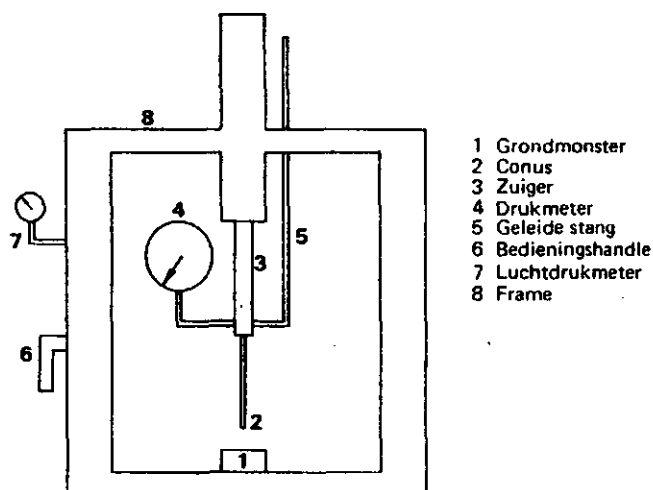


Fig. 2. Schematische voorstelling sondeerapparaat

3.4 Bepaling vochtretentie en doorlatendheid

Het principe van de bepaling van de vochtretentie en doorlatendheid is gebaseerd op de verandering van vochtgehalte en drukhoogte van het bodemvocht in het monster in de tijd. Op vaste tijden is het gewicht en de drukhoogte op verschillende diepten in het monster gemeten. De vochtretentiecurve is berekend door het vochtgehalte, afgeleid van het totaal gewicht van het monster, te koppelen aan de op hetzelfde tijdstip, gemeten drukhoogten. De doorlatendheidscurve is berekend aan de hand van de veranderingen in drukhoogte in de tijd en de hiermee optredende drukhoogtegradiënten (BOELS e.a., 1978).

Na de scheiding in afzonderlijke monsters, zijn in elk monster vier tensiometers, verzadigd met luchtvrij water, geplaatst. Vervolgens zijn alle monsters verzadigd in een waterbad. De monsters zijn na verzadiging uit het waterbad gehaald, maar zijn pas op de balans ge-

plaatst en aangesloten aan de scanivalve op het moment dat ze geen vrij water meer bevatten. Tevens zijn per monster twee referentieniveau's aangesloten aan de scanivalve, nl. van 0 en -100 cm drukhoogte.

De scanivalve, gestuurd door de datalogger, zorgt ervoor dat per ingestelde tijdseenheid de drukopnemer steeds met een bepaald kanaal is verbonden. De scanivalve start met het kanaal waaraan de hoogste referentie is gekoppeld. Vervolgens schakelt het door naar de onderste tensiometer in het grondmonster en doorloopt de tensiometers van onder naar boven en eindigt met het laagste referentieniveau. Een scanivalve heeft twaalf kanalen en kan twee monsters tegelijk bedienen. Per proefserie kunnen tien monsters tegelijk worden doorgemeten (BOELS e.a., 1978). Een schematische weergave van de meetopstelling van de vochtretentie- en doorlatendheidscurvebepaling staat in figuur 3.

De grondmonsters verdampen aan de bovenzijde op natuurlijke wijze. Na beëindiging van de meting zijn de monsters gewogen en gedroogd (bij 105° Celcius) om het eindvochtgehalte te bepalen. De drukopnemer staat aan de ene kant in verbinding met de scanivalve en aan de andere kant met de datalogger.

Tijdens de metingen zijn de balans en de drukopnemer per ingestelde tijdseenheid automatisch afgelezen. De meetgegevens zijn met behulp van een datalogger, een TU 58, op cassetteband gezet en zijn na de meting met behulp van de computer overgezet op magnetische tape. Deze tape met meetgegevens is later verwerkt op een PDP-11.

Op de PDP-11 zijn de meetgegevens per balans gesorteerd. Deze handeling is met behulp van het programma KHSORT uitgevoerd. De gesorteerde meetgegevens zijn geplaatst in de datafiles KHRUW**. DAT.

De oorspronkelijke meetgegevens zijn opgeschoond met het programma KHPlot. Tevens is met behulp van dit programma het begin en eind van de meting aangegeven.

Bij de berekeningen is gebruik gemaakt van het programma KHCNTR. Dit programma is een verzamelprogramma van alle programma's, die nodig zijn voor berekening van de vochtretentie- en doorlatendheidscurven. Bovendien bestuurt het programma KHCNTR de volgorde van de programma's waarin ze gebruikt zullen worden. Het programma KHCNTR bevat de volgende programma's:

- KHILCD, maakt een interpolatie van de balansgegevens;
- KHFYS, dit programma zet de ingevoerde parameters om in fysische grootheden. De parameters staan in de datafiles KHPAR**.DAT (waarbij ** de balansnummer voorstelt);
- KHWRC, met behulp van dit programma wordt de vochtretentiecurve berekend. Tevens wordt hiervan een plot gemaakt. Het iteratieproces wordt uitgevoerd volgens WIND (1966);
- KHTH, dit programma berekent de onverzadigde doorlatendheid. Ook hiervan wordt een plot gemaakt;
- KHATAB, de resultaten van de vochtretentiecurve en de doorlatendheden worden in een tabel weergegeven.

Voor verdere gegevens met betrekking tot dit rekenprogramma wordt verwezen naar de handleiding KHCNTR (in voorbereiding).

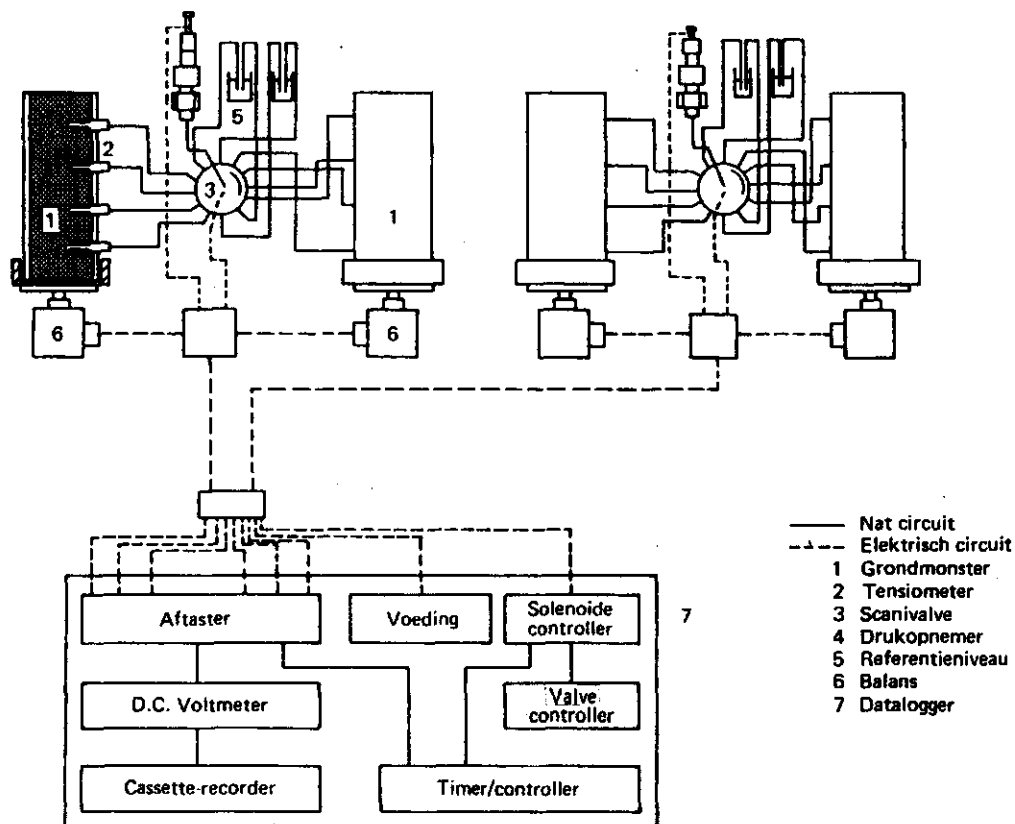


Fig. 3. Schematische voorstelling van de apparatuur voor bepaling van de vochtretentie- en de doorlatendheidscurve (BOELS e.a., 1978)

4 INVLOED GRADATIE EN LEEMGEHALTE OP STABILITEIT, VOCHTRETENTIE EN DOORLATENDHEID

4.1 Gradatie van zand

In de eerste serie proeven is gekeken naar de invloed van gradatieindex en mediaan op vochtretentie, doorlatendheid en stabiliteit van zanden zonder leem. In totaal zijn vijf verschillende zanden onderzocht (zie Tabel 3.1).

4.1.1 Invloed gradatieindex en mediaan op vochretentie

Figuur 4 laat de vochtretentiecurven van de vijf zanden zien. Bij gelijke drukhoogte van het bodemvocht bevat zand 1 het hoogste en zand 3 het laagste vochtgehalte. Zand 5 ligt tussen beide waarden, maar komt meer overeen met met zand 1.

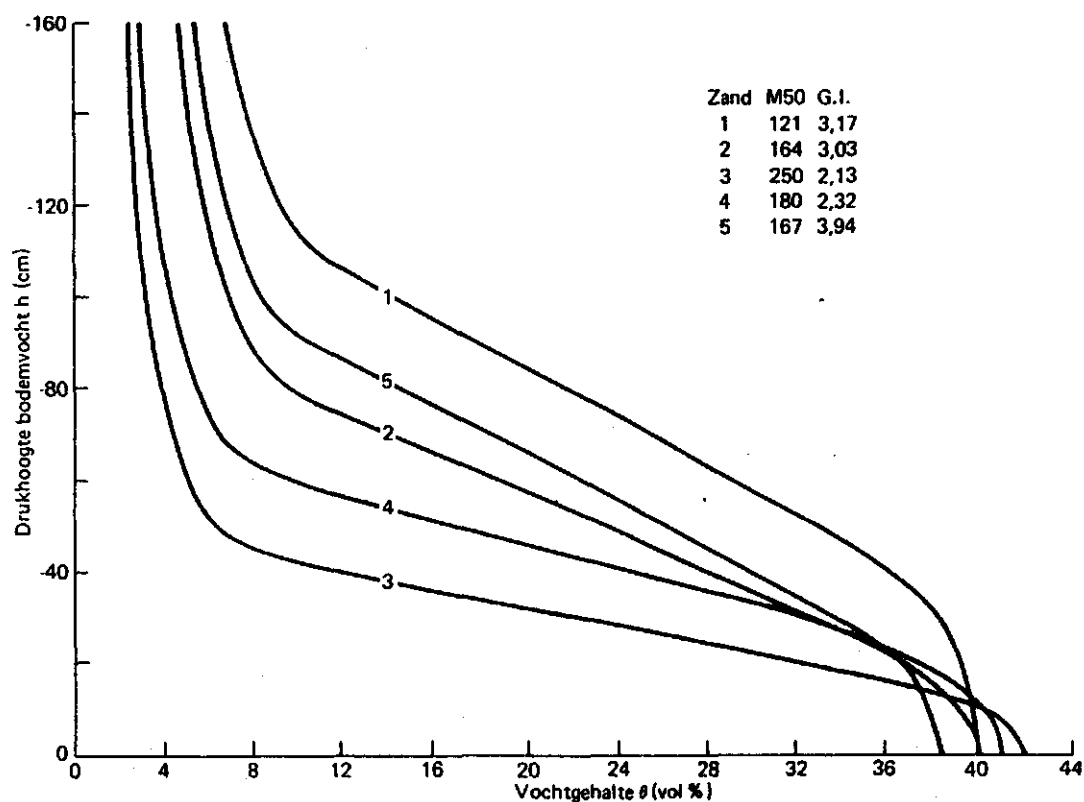


Fig. 4. De vochtretentiecurven van zand 1 tot en met 5 (zie Tabel 3.1)

De zanden zijn in volgorde van toenemende vochtretentie weergegeven in Tabel 4.1 samen met de mediaan, de gradatieindex en volumieke massa.

Tabel 4.1 De mediaan (M50), de gradatieindex (G.I.) en de volumieke massa (V.M. (10^3 kg/m^3)) van vijf zanden in volgorde van toename in vochtretentie

	Zand				
	3	4	2	5	1
M50	250	180	164	167	121
G.I	2,13	2,32	3,03	3,94	3,17
V.M	1,55	1,55	1,60	1,63	1,60

Uit Tabel 4.1 blijkt dat een toename van de gradatieindex samengaat met een toename van de volumieke massa. Dit houdt in dat de fractie kleine poriën toeneemt. De toename aan kleine poriën bij een toename van de gradatieindex bij gelijke belasting vloeit voort uit een betere ruimtelijke verdeling van de fijne en grove delen bij een toenemende gradatieindex. Deze betere verdeling leidt tot een hogere volumieke massa.

Bij gelijkblijvende gradatieindex en afnemende mediaan neemt de vochtretentie toe. Zand 3 en 4 hebben dezelfde volumieke massa en vrijwel een gelijke gradatieindex. De mediaan van zand 3 is 250, terwijl die van zand 4 180 is. De vochtretentiecurve van zand 4 ligt hoger dan van zand 3. Ook de zanden 1 en 2 hebben dezelfde volumieke massa, bijna dezelfde gradatieindex en verschillende mediaancijfers. De mediaan van zand 1 is kleiner dan van zand 2. De vochtretentiecurve van het zand met de kleinste mediaan ligt ook hier het hoogst.

KRABBENBORG e.a. (1983) schrijven dat de invloed van de zandgrofheid op de hoeveelheid gebonden vocht uitsluitend aantoonbaar is bij uiterst organische-stofarme, leemarme C-horizonten met grote verschillen in zandgrofheid. De door hen onderzochte zandgronden bevatten 0,4 gew. % humus en 6,0 gew. % leem. De medianen van deze zanden varieerden van 95 tot 275. Het betreft hier een statistisch onderzoek, waarin meerdere soorten zand zijn opgenomen.

Zand 2 en 5 hebben dezelfde mediaan (ca. 165), doch verschillen in gradatieindex en volumieke massa. De gradatieindex van zand 5 is groter dan van zand 2. De vochtretentiecurve van zand 5 ligt hoger dan van zand 2.

Zand 1 en 5 verschillen of in mediaan of in gradatieindex of in volumieke massa van zand 2. Uit figuur 4 blijkt dat een verandering van de mediaan van 164 naar 121 meer effect heeft op de ligging van de vochtretentiecurve dan een stijging van de gradatieindex van 3,03 naar 3,94.

4.1.2 Invloed gradatieindex en mediaan op doorlatendheid

De relaties tussen doorlatendheid en de drukhoogte van het bodemvocht voor de vijf zanden zijn weergegeven in figuur 5.

In het traject -60 tot -150 cm drukhoogte zijn de onderlinge verschillen in doorlatendheid van de zanden zeer groot. Ze kunnen oplopen tot een factor 500 tot 1000 (tussen zand 1 en 3). In het traject kleiner dan -150 cm drukhoogte verschillen de doorlatendheden van de zanden een factor 4. Het zand met de kleinste mediaan geeft de beste onverzadigde doorlatendheid. Terwijl de laagste onverzadigde doorlatendheid gemeten is bij het zand met de grootste mediaan.

Bij dezelfde gradatieindex en een afnemende mediaan neemt de onverzadigde doorlatendheid toe bij een gelijke drukhoogte. Ook geldt dat bij een gelijkblijvende mediaan en een toenemende gradatieindex de onverzadigde doorlatendheid verbetert. In beide gevallen is de fractie kleine poriën toegenomen. In het zeer natte traject zijn de grovere zanden beter doorlatend dan de fijnere (BEUVING, 1984).

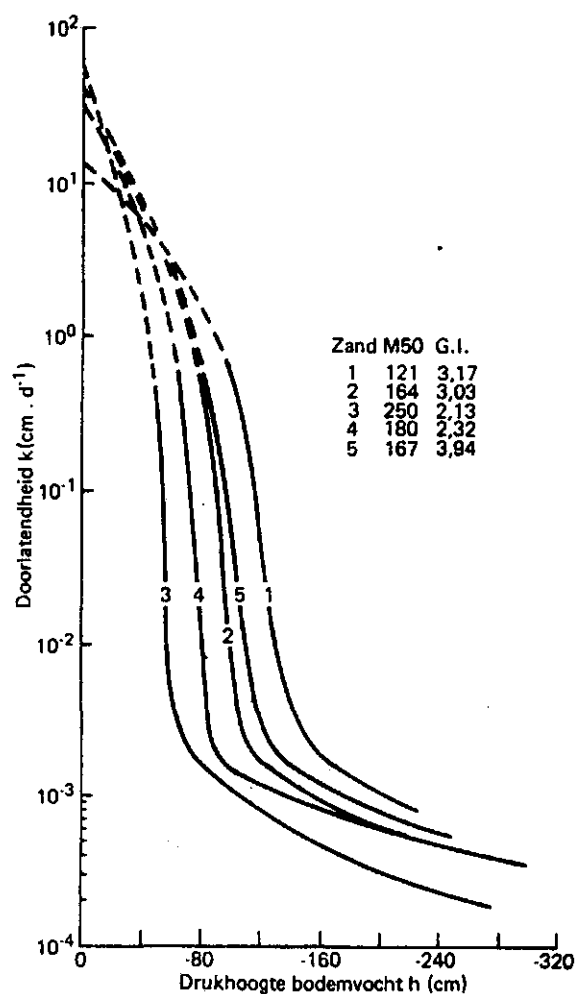


Fig. 5. De $k(h)$ -relaties van zand 1 tot en met 5 (zie Tabel 3.1)

4.1.3 Invloed gradatieindex en mediaan op stabiliteit

De indringingsweerstand van een grond is een maat voor de mechanische sterkte en daarmee voor de stabiliteit van een grond. Op basis van de indringingsweerstand is het mogelijk de stabiliteit van de diverse zanden onderling met elkaar te vergelijken.

De indringingsweerstand, gemeten bij verschillende drukhoogten van het bodemvocht, zijn weergegeven in figuur 6. Figuur 6 toont dat het zand met de beste vochtretentiecurve (zie Fig. 4) de hoogste indringingsweerstand en dus de hoogste stabiliteit heeft.

De mediaan en de gradatieindex en daarmee ook de volumieke massa zijn van invloed op de indringingsweerstand. De mechanische sterkte is afhankelijk van de volumieke massa en de heersende drukhoogte van het bodemvocht (VAN WIJK, 1980).

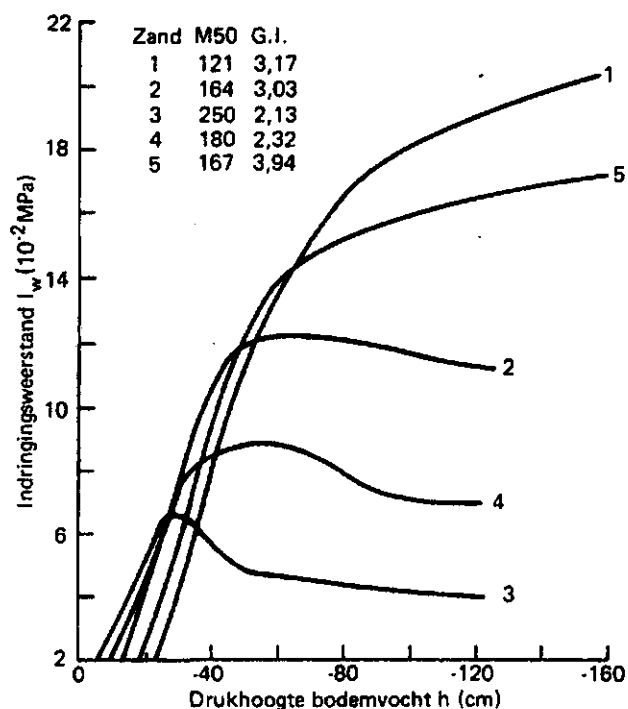


Fig. 6. Indringingsweerstand tot 2 cm diepte van zand 1 tot 5 (zie Tabel 3.1)

Zand 1 heeft van de vijf zanden de grootste indringingsweerstand vanaf drukhoogten kleiner dan -40 tot -60 cm, daarna volgt zand 5. De zanden 1 en 5 vertonen tot -80 cm drukhoogte een sterk stijgende stabiliteit, terwijl de andere drie zanden hun maximale indringingsweerstand reeds zijn gepasseerd.

Bij zand 3 wordt de grootste indringingsweerstand bij -30 tot -40 cm drukhoogte bereikt. Bij kleiner wordende drukhoogte neemt de indringingsweerstand af. Dit zand bevat bij een drukhoogte van -40 cm nog weinig vocht dat bij kan dragen tot de stabiliteit van de grond. De grote afname van het vochtgehalte van zand 3 in het traject van -20 tot -40 cm drukhoogte is duidelijk te zien in figuur 4. Bij zand 4 treedt deze daling op in het traject van -25 tot -60 cm drukhoogte. Zand 4 heeft de hoogste indringingsweerstand bij een drukhoogte van ca. -60 cm. De zanden 1 en 5 vertonen een veel geleidelijker afname van het vochtgehalte. Dit weerspiegelt zich ook in het verloop van de indringingsweerstand.

In het natte deel van de vochtretentiecurve wordt de indringingsweerstand zeer sterk beïnvloed door een kleine verandering in de drukhoogte. Ook VAN WIJK (1980) komt tot deze conclusie. Tevens zegt hij dat, bekeken vanuit het oogpunt van de mechanische sterkte van de top-laag, fijn zand de voorkeur verdient boven matig fijn zand. Dit laatste kan ook uit de resultaten van dit onderzoek worden geconcludeerd.

4.1.4 Conclusies

- De gradatieindex van het zand is van invloed op de volumieke massa.
- Bij dezelfde gradatieindex geeft een afnemende mediaan van het zand een toename van de vochtretentie.
- Een toenemende gradatieindex geeft bij een gelijkblijvende mediaan van het zand een toename van de vochtretentie.
- Bij dezelfde gradatieindex geeft een afname van de mediaan van het zand een betere onverzadigde doorlatendheid.
- Bij een gelijkblijvende mediaan geeft een toenemende gradatieindex van het zand een betere onverzadigde doorlatendheid.
- In het natte deel van de vochtretentiecurve zijn de grovere zanden beter doorlatend dan de fijne.
- De invloed van de mediaan van het zand op vochtretentie, doorlatendheid en stabiliteit is groter dan die van de gradatieindex hierop.
- Naarmate zand beter in staat is vocht vast te houden des te groter blijft de stabiliteit.
- Zand 1 houdt het best het water vast en is daarmee van de vijf onderzochte zanden het meest stabiel.
- Daarbij heeft zand 1 de beste onverzadigde doorlatendheid in het traject kleiner dan -60 cm drukhoogte.

4.2 Leemtoevoeging aan zand

In het tweede deel van het eerste onderzoek is gekeken naar de invloed van leemtoevoeging aan zand op de vochtretentie, de doorlatendheid en de stabiliteit.

De conclusies in 4.1.4 geven duidelijk aan dat zand 1 en daarop volgend zand 5 de gunstigste eigenschappen hebben van de onderzochte zanden. Echter zand met een mediaan van $121\text{ }\mu\text{m}$, zoals voor zand 1 geldt, komt weinig voor. Vandaar is voor verder onderzoek gekozen voor zand 5 met de vrij algemeen voorkomende mediaan van $167\text{ }\mu\text{m}$.

Aan zand 5 zijn verschillende hoeveelheden leem toegevoegd, nl. 3,9 (5a), 7,9 (5b) en 11,9 gew. % (5c).

Om het effect van leem op de stabiliteit in samenhang met de mediaan en gradatieindex te onderzoeken is tevens aan zand 3, het zand met de slechtste eigenschappen uit het eerste deel van het onderzoek, leem toegevoegd in twee trappen van 7,8 (3b) en 11,8 gew. % (3c).

4.2.1 Invloed van leem op vochtretentie

De vochtretentiecurven van zand 5 met verschillende hoeveelheden leem staan in figuur 7.

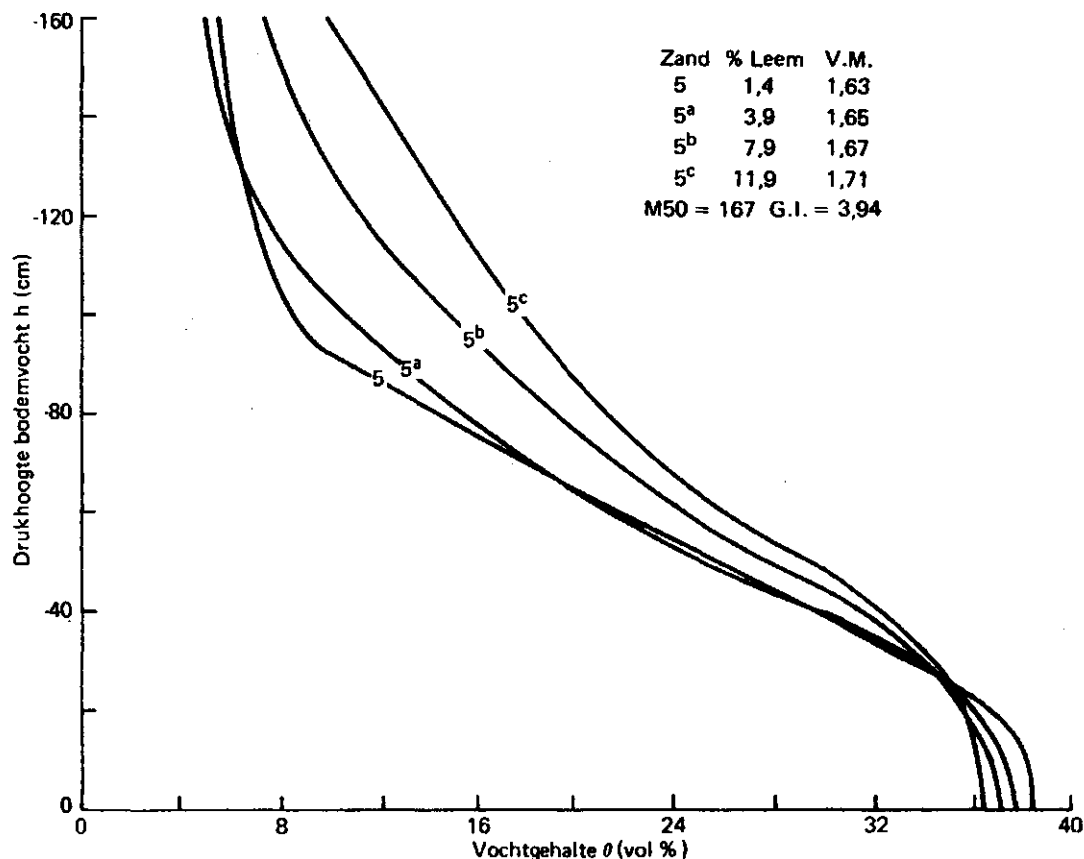


Fig. 7. De vochtretentiecurven van zand 5, 5a, 5b en 5c
(zie Tabel 3.1.)

Naarmate aan zand 5 meer leem is toegevoegd neemt het vochtgehalte bij gelijke drukhoogte toe.

Tabel 4.2. De drukhoogten van het bodemvocht (cm) bij verschillende vochtgehalten (vol. %) van zand 5, 5a, 5b en 5c

Vochtgehalte	Zand			
	5	5a	5b	5c
10	-92	-103	-127	-158
15	-77	-86	-101	-118
20	-65	-67	-79	-90
25	-53	-51	-56	-63

De zanden 5 tot en met 5c zijn onder gelijke omstandigheden van belasting en vochtgehalte verdicht. Naarmate zand meer leem bevat leidt dit tot een grotere volumieke massa. De combinatie van een hoger leemgehalte met een grotere volumieke massa geeft een groter aandeel kleine poriën en daarmee een grotere vochtretentie.

Het verschil tussen de vochtretentiecurven van de zanden 5 en 5a is niet erg groot. In het traject waarbij het vochtgehalte groter is dan 6 vol. %, is het verschil in drukhoogte bij hetzelfde vochtgehalte niet groter dan 11 cm. Dit betekent dat toevoegingen van een kleine hoeveelheid leem aan matig fijn zand een gering effect heeft op de vochtretentie. Bij toevoegingen van 4 gew. % leem of meer is het effect op de vochtretentie groter (Fig. 7). De invloed van het leemgehalte op de vochtretentie is niet voor alle drukhoogten gelijk.

Voor het grovere zand 3 is het effect van de leemtoevoeging op de vochtretentie weergegeven in figuur 8.

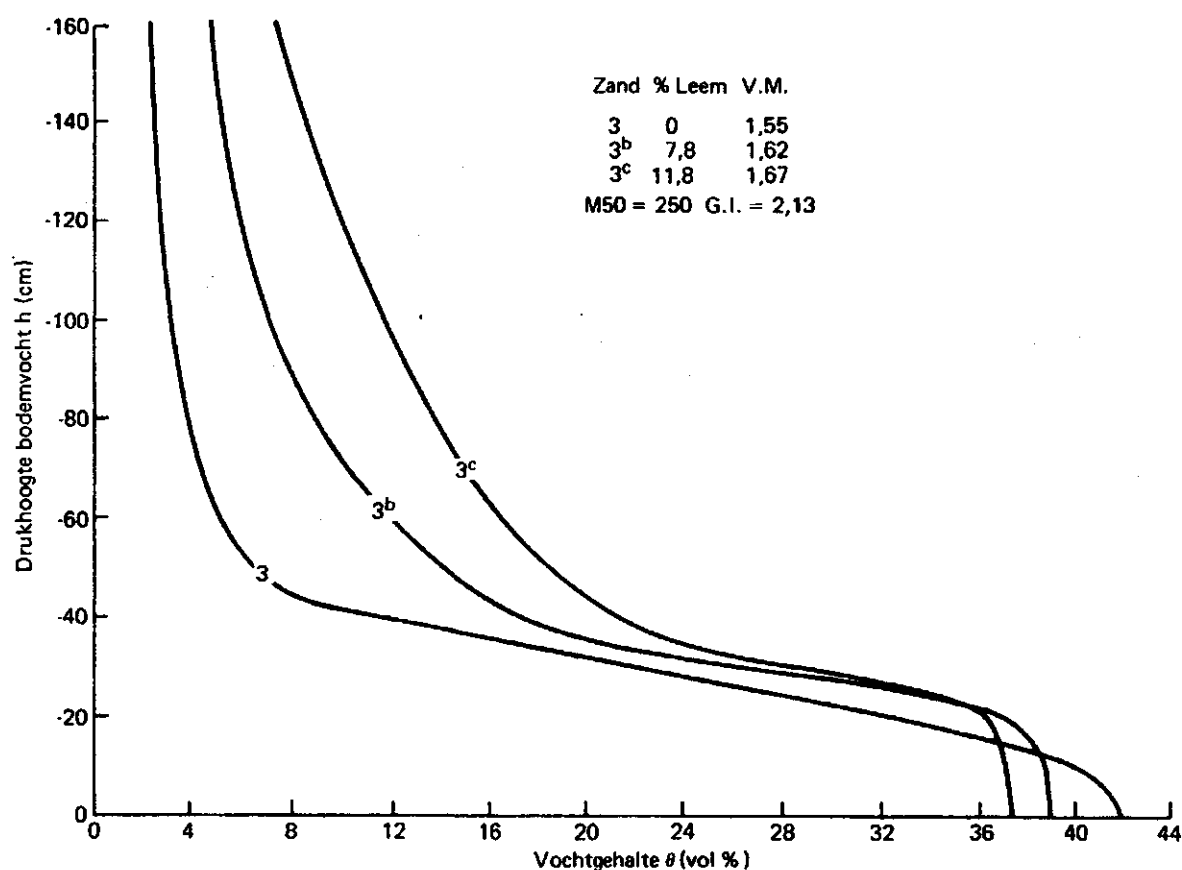


Fig. 8. De vochtretentiecurven van zand 3, 3b en 3c (zie Tabel 3.1)

Tabel 4.3 geeft enkele drukhoogten van de zanden 3, 3b en 3c bij verschillende vochtgehaltes.

Tabel 4.3. De drukhoogten van het bodemvocht (cm) bij verschillende vochtgehaltes (vol. %) van zand 3, 3b en 3c

Vochtgehalte	Zand		
	3	3b	3c
10	-42	-71	-119
15	-37	-47	-71
20	-32	-37	-47

Verhoging van het leemgehalte bij zand 3 van 0 naar 7,8 gew. % geeft een geringere toename van de vochtretentie dan de verhoging van 8 naar 11,8 gew. %.

Verhoging van het leemgehalte van 0 naar 8 gew. % bij zand 5 geeft een sterkere toename van de vochtretentie dan de dezelfde verhoging van het leemgehalte bij zand 3. Hetzelfde geldt voor het verhogen van het leemgehalte van 0 naar 12 gew. %.

De invloed van de mediaan en de gradatieindex op de vochtretentie blijft merkbaar. Bij een leemgehalten groter dan 23 gew. % is van enige invloed van de mediaan op de hoogte van de vochtretentie niet of nauwelijks sprake (KRABBENBORG e.a., 1983).

4.2.2 Invloed van leem op doorlatendheid

Wordt gekeken naar de invloed van leem op de doorlatendheid dan blijkt het meest leemhoudende zand (5c) in het traject droger dan -120 cm drukhoogte het best doorlatend te blijven (Fig. 9). Bij gelijke drukhoogte neemt de onverzadigde doorlatendheid af naarmate het leemgehalte lager is. In het traject van -120 tot -250 cm drukhoogte blijft zand 5c 10 tot 200 maal zo goed doorlatend dan zand 5. Bij een drukhoogte kleiner dan -250 cm verschilt de doorlatendheid maximaal een factor 10.

Uit deze gegevens blijkt dat de onverzadigde doorlatendheid van een zand bij een gelijke drukhoogte groter is naarmate het leemgehalte hoger is ($h < -120$ cm). In het natte traject ($h > -50$ cm) geldt dit niet. Het zand met het laagste leemgehalte is dan beter doorlatend. Ook bij zand 3 blijkt dat toevoeging van leem de onverzadigde doorlatendheid bij een gelijke drukhoogte doet toenemen (Fig. 10).

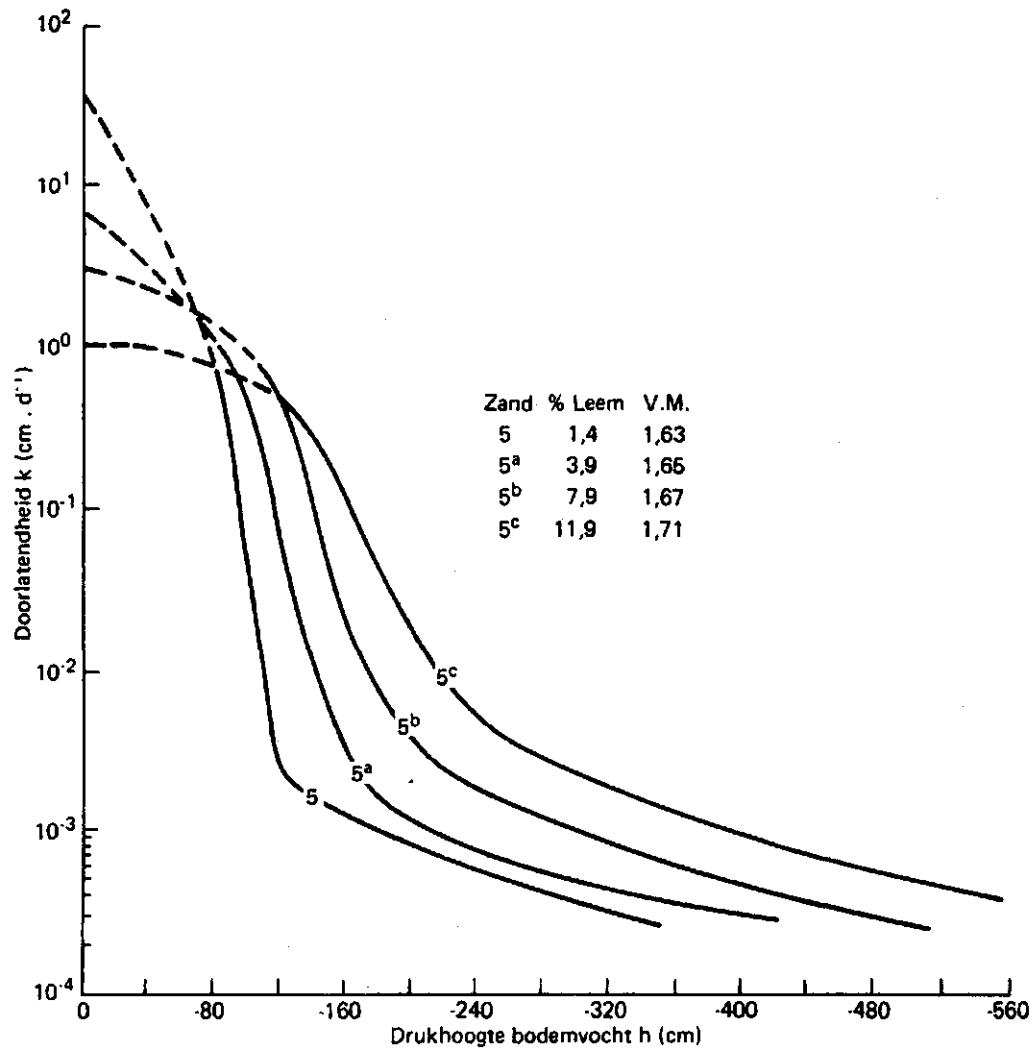


Fig. 9. De $k(h)$ -relaties van zand 5, 5a, 5b en 5c
(zie Tabel 3.1)

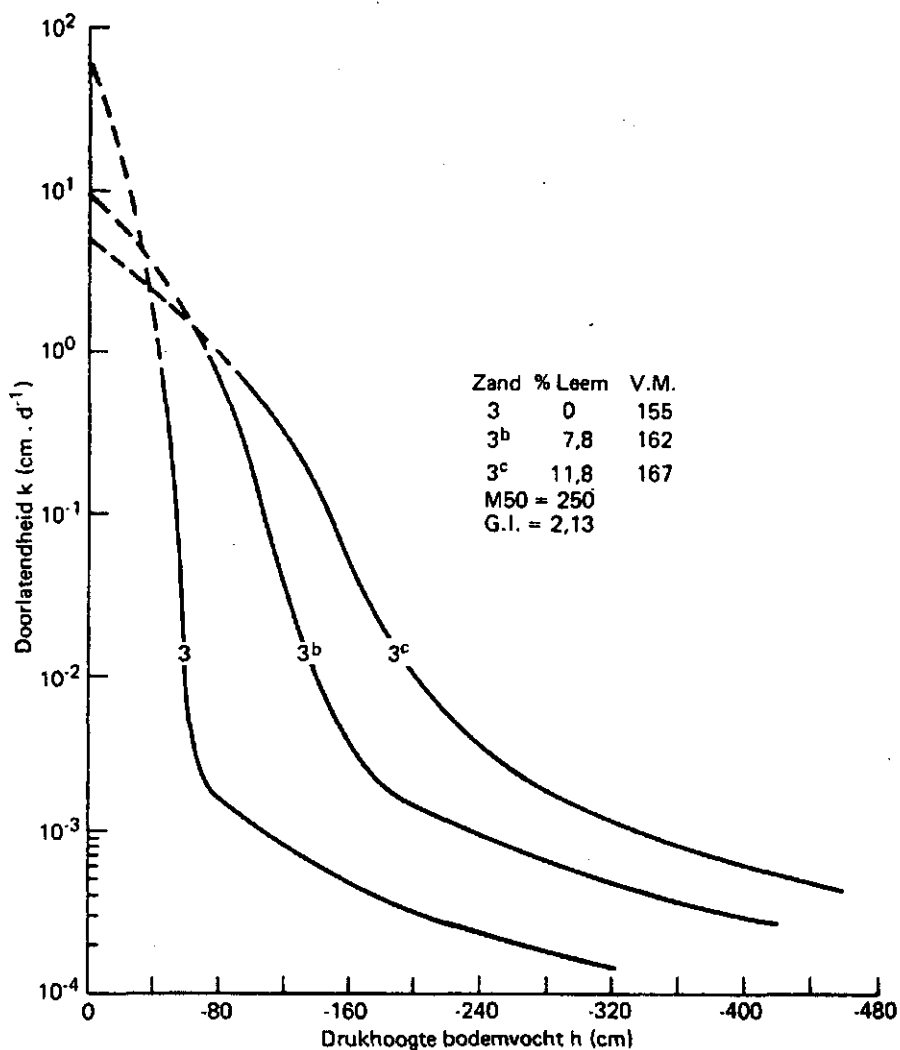


Fig. 10. De $k(h)$ -relaties van zand 3, 3b en 3c (zie Tabel 3.1)

De zanden 3, 3b en 3c houden een minder goede onverzadigde doorlatendheid dan de zanden 5, 5a, 5b en 5c, bij gelijkbare drukhoogten.

4.2.3 Invloed van leem op stabiliteit

In het traject van -30 tot -45 cm drukhoogte is er weinig verschil in stabiliteit van de leemhoudende, matig fijne zanden. Bij drukhoogten van het bodemvocht droger dan -50 cm neemt de stabiliteit toe in volgorde van toenemend leemgehalte (Fig. 11).

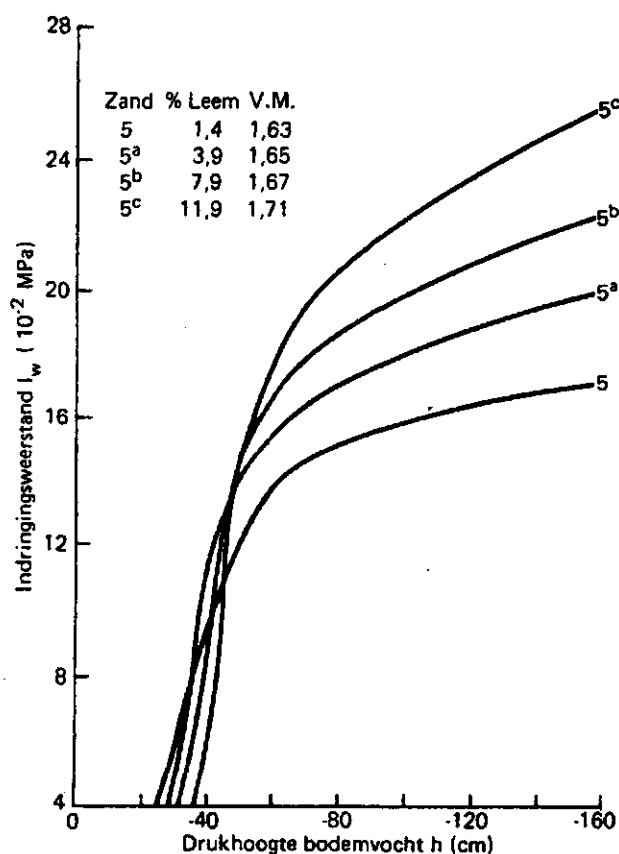


Fig. 11. Indringingsweerstand tot 2 cm diepte van zand 5, 5a, 5b en 5c (zie Tabel 3.1)

Het verschil in indringingsweerstand tussen zand 5 en 5c is bij -40 cm drukhoogte $3,1 \cdot 10^{-2}$ MPa. Bij een drukhoogte van -60 cm is het verschil opgelopen tot $3,9 \cdot 10^{-2}$ MPa en tot $5,8 \cdot 10^{-2}$ MPa bij een drukhoogte van -85 cm, waarbij zand 5c een indringingsweerstand heeft van $21,1 \cdot 10^{-2}$ MPa.

In het drukhoogtetraject kleiner dan -70 cm zijn er zeer duidelijke verschillen in indringingsweerstand tussen de zanden. Naarmate het leemgehalte hoger is, is de stabiliteit in dit traject groter.

De indringingsweerstand van de onderzochte zanden zijn laag in vergelijking tot de benodigde stabiliteit voor grassportvelden, deze eis is gelijk aan 1.4 MPa voor intensief bespeelde velden (VAN WIJK, 1980). Zand 5c heeft maar een indringingsweerstand van $22,2 \cdot 10^{-2}$ MPa bij een drukhoogte van -100 cm.

Bij de zanden 3 treden grote verschillen in indringingsweerstand op vanaf -30 cm drukhoogte (Fig. 12). Een hoger leemgehalte geeft een hoger indringingsweerstand. In het drukhoogtetraject kleiner dan -90 cm zijn de verschillen het grootst. Bij -30 cm drukhoogte is het verschil tussen 3 en 3c klein, nl. $-1,0 \cdot 10^{-3}$ MPa, terwijl bij -90 cm drukhoogte het verschil reeds $15,7 \cdot 10^{-2}$ MPa bedraagt.

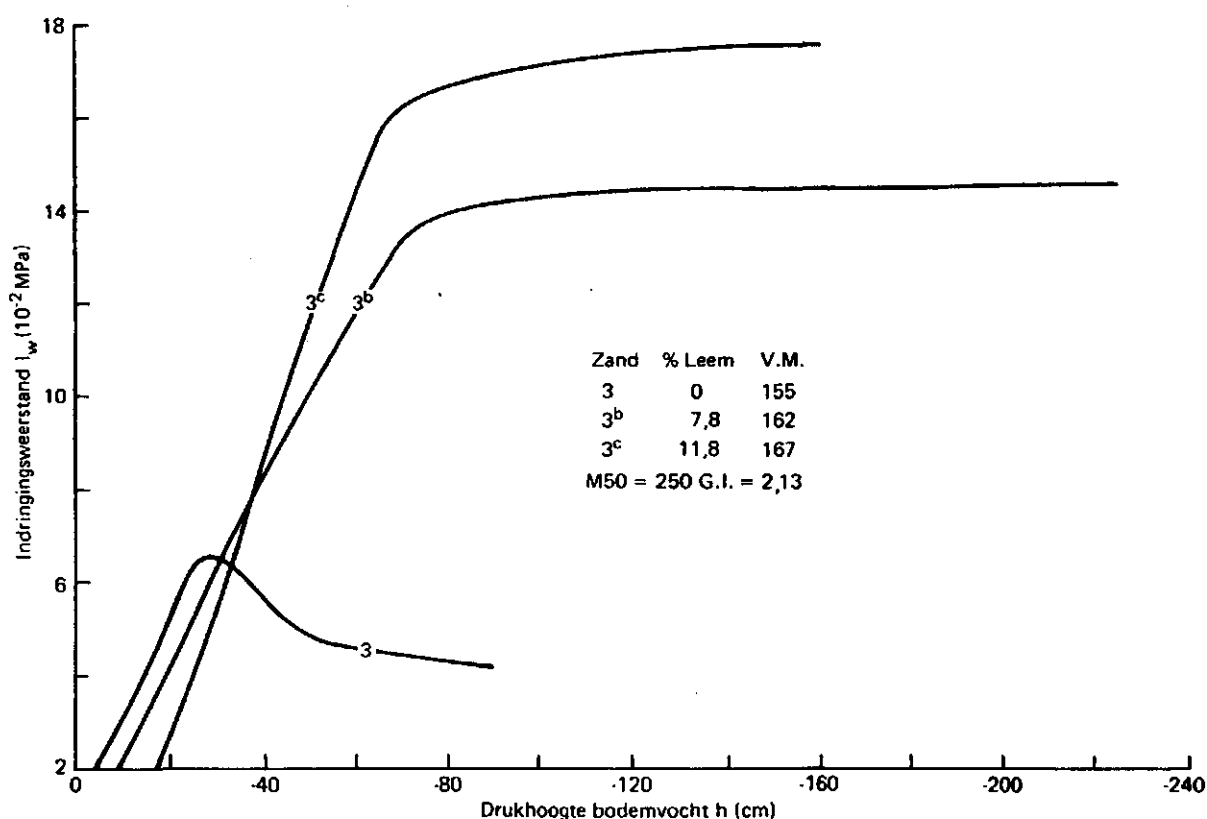


Fig. 12. Indringingsweerstand tot 2 cm diepte van zand 3, 3b en 3c (zie Tabel 3.1)

De invloed van het leemgehalte op de indringingsweerstand neemt toe naarmate het zand droger is. In Tabel 4.4 staan de indringingsweerstand van enkele zanden bij verschillende drukhoogten.

Worden matig fijn zand en het grovere zand met hetzelfde leemgehalte onder vergelijkbare omstandigheden samengedrukt dan wordt voor het matig fijne zand steeds een hogere volumieke massa gevonden. In samenhang hiermee zijn, bij gelijke drukhoogte en leemgehalte, de indringingsweerstand van de zanden 5 zijn steeds groter dan van de

zanden 3. De volumieke massa blijkt duidelijk van invloed te zijn op de indringingsweerstand.

Bij drukhoogten droger dan -40 cm is zand 5 steeds stabielere dan zand 3 (zie ook Fig. 6). De indringingsweerstand van zand 5b is groter dan van zand 3c, ondanks de gelijke volumieke massa's. Leemtoevoeging kan het verschil in eigenschappen tussen zand 3 en 5, veroorzaakt door de verschillende combinaties van mediaan en gradatieindex niet helemaal te niet doen. Dit wil zeggen dat de leemtoevoeging het verschil in indringingsweerstand tussen 3 en 5 niet geheel doet verdwijnen. Het verschil wordt echter wel gereduceerd (Tabel 4.4). Ook het verschil in volumieke massa tussen beide zanden is van invloed.

Tabel 4.4. Het verschil in indringingsweerstand (10^{-2} MPa) tussen zanden van 5 en 3 bij gelijke leemgehalten (gew.%) en verschillende drukhoogten van het bodemvocht (cm). d(V.M.) is het verschil in volumieke massa tussen zanden van 5 en 3 in 10^3 kg/m^3

Drukhoogte	Leemgehalte		
	0	8	12
-30	-0,8	-2,9	-3,5
-60	9,2	4,8	3,1
-80	10,7	4,7	3,9
-100	11,7	5,5	5,1
d(V.M.)	0,09	0,05	0,04

4.2.4 Conclusies

- Toevoeging van leem aan zand geeft een grotere volumieke massa bij dezelfde samendrukkingsomstandigheden.
- Toevoeging van kleine hoeveelheden leem (minder dan 4 gew. %) aan een zand met een mediaan van $167 \mu\text{m}$ (matig fijn zand) en een gradatieindex van 3,94 heeft een gering effect op de vochtretentie.

- Bij grotere leemfracties geeft een verhoging van het leemgehalte een beduidende verhoging van de vochtretentie.
- De onverzadigde doorlatendheid neemt toe bij een toename van het leemgehalte in het drukhoogtetraject droger dan -120 cm.
- De volumieke massa is van invloed op de indringingsweerstand.
- Naast de mediaan en de gradatieindex is het leemgehalte van invloed op de indringingsweerstand.
- Bij drukhoogten van het bodemvocht groter dan -40 cm is de invloed van het leemgehalte op de hoogte van de indringingsweerstand gering.
- Het effect van het leemgehalte op de stabiliteit van een zand is in het droge traject ($h < -70$ cm) groot.
- Bij eenzelfde leemgehalte en gelijke drukhoogte van het bodemvocht is matig fijn zand stabielier dan matig grof zand.
- Ondanks samendrukking en leemtoevoeging blijft de indringingsweerstand van onbegroeide zand laag.

5 INVLOED VAN SAMENSTELLING TOPLAAG, ONDERGROND EN VAN DRAINAGE OP HET VERLOOP VAN DE STABILITEIT

5.1 Inleiding

Voor elk type zand blijkt een duidelijke samenhang te bestaan tussen de stabiliteit en de drukhoogte van het bodemvocht. In figuur 6 en 11 en in Tabel 4.2 en 4.3 zijn deze relaties weergegeven.

Op basis van het verloop van de drukhoogte in de toplaag in de tijd, gesimuleerd met een model, kan met behulp van voorgenoemde relaties worden afgeleid hoe vaak en hoe lang een bepaalde stabiliteit voorkomt. Omdat de drukhoogte in de toplaag afhangt van de type toplaag, maar ook van de aard van de ondergrond en drainage kan met zo'n model worden nagegaan wat onder heersende klimatologische condities de beste combinatie van toplaag en ondergrond c.q. drainage is, afgemeten aan de stabiliteit. De hydrologische karakterisering van de grond gebeurt met behulp van de vochtretentie- en doorlatendheidscurve.

5.2 Gebruikt model

Het model FLOWEX simuleert op dagbasis de waterbalans van grond. Het is zeer geschikt voor het doorrekenen van lange tijdreeksen. Het model is geldig voor zowel uniforme als gelaagde bodemprofielen. FLOWEX is gebaseerd op dezelfde geïntegreerde stromingsvergelijking als gebruikt in het model FLOW van WIND en VAN DOORN (1975). FLOWEX is toepasbaar op onbegroeide grond, maar kan ook worden gebruikt voor begroeide grond zolang geen vochtonttrekking door wortels uit diepere bodemlagen optreedt. Met kwel en wegzijging aan de onderkant is in dit model geen rekening gehouden. Voor een uitvoerige beschrijving van het model wordt verwezen naar BUITENDIJK (1984).

In dit onderzoek is FLOWEX gebruikt om de drukhoogten van het bodemvocht in de verschillende toplagen, gelegen op verschillende ondergronden, te berekenen. Uit de verkregen drukhoogten van het bodemvocht in de toplaag kan de stabiliteit worden afgeleid met gebruikmaking van het in figuur 11 gegeven verband.

Voor de trainingsvelden zijn onbegroeide toplagen van zand gebruikt in dit model.

5.3 Invoergegevens model FLOWEX

Als invoergegevens voor het model werden gebruikt:

- de $k(h)$ - en $h(\theta)$ -relaties van de toplaag;
- de $k(h)$ - en $h(\theta)$ -relaties van de ondergrond;
- de neerslag/verdampingsgegevens op dagbasis.

5.3.1 Gebruikte toplagen

De zanden 5a, 5b en 5c zijn als toplaag gebruikt. Als invoergegevens werden de vochtretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van deze zanden toegepast, zoals die in het eerste deel van het onderzoek werden bepaald (zie Fig. 7 en 9). Als dikte van de toplaag werd 10 cm aangehouden.

5.3.2 Gebruikte ondergronden

Als ondergronden werden drie verschillende, homogene profielen gekozen, nl. een zandgrond (Z), een zavelgrond (L) en een kleigrond

(K). De $k(h)$ - en $h(\theta)$ -relaties van deze drie profielen zijn ontleend aan BEUVING (1984) (Bijlage 1).

De drie profielen zijn gedraineerd op een diepte van 1,0 meter. Voor de drainageintensiteit zijn per profiel verschillende waarden ingevoerd, nl. voor zand 0,010, voor zavel 0,013 en voor klei 0,022 (dag^{-1}). Daarnaast is voor alle drie profielen een keer dezelfde drainageintensiteit gebruikt, nl. (0,010 (dag^{-1})).

5.3.3 Weergegevens

Voor de invoer van neerslaggegevens is gebruik gemaakt van neerslagwaarnemingen op dagbasis van het station De Bilt en wel van de maanden september tot en met mei.

Alvorens de simulatie te beginnen werd de vochtverdeling in het profiel op 1 september in overeenstemming gebracht met het neerslagtekort of -overschot van de voorafgaande zomer. Voor de simulatie werden de volgende jaren geselecteerd:

- 1979/80, 1979 had een gemiddeld najaar (277 mm neerslag) en 1980 een gemiddeld voorjaar (262 mm neerslag);
- 1966/67, Deze periode bestond uit een nat najaar (403 mm) en een gemiddeld voorjaar (259 mm);
- 1971/72, Het najaar was droog (149 mm) en het voorjaar was gemiddeld (248 mm).

De neerslaggegevens staan in bijlage 2.

5.4 Resultaten modelsimulatie

5.4.1 Frequentie en duur van voorkomen van stabiliteit bij negen combinaties van toplaag en ondergrond

De drie toplagen 5a, 5b en 5c, gecombineerd met de drie profielen van klei, zavel en zand, geven in totaal negen verschillende mogelijkheden van profielopbouw. Al deze negen mogelijkheden zijn doorgerekend over de drie geselecteerde perioden.

periode 1979/1980.

De periode september 1979 tot en met mei 1980 bestaat uit een gemiddeld na- en voorjaar. Over deze periode is de neerslag regelmatig. De frequentie en intensiteit van de neerslag neemt af in maart/april.

Het verloop van de drukhoogte in de toplaag in de bovenste 5 cm van de negen mogelijkheden is weergegeven in figuur 13.

Alle drie toplagen zijn aanzienlijk natter wanneer ze op een klei-ondergrond liggen. De drukhoogte in de drie toplagen op het zavel- en het zandprofiel verloopt bij gelijke toplagen ongeveer gelijk. Bij het zavelprofiel fluctueert drukhoogte iets meer dan bij het zandprofiel. De fluctuatie neemt ook toe bij een toenemend leemgehalte in de toplaag, hetgeen voornamelijk toegeschreven kan worden aan het verschil in vochtretentie.

Tabel 5.1 geeft de verdeling van de drukhoogte op 5 cm diepte voor de verschillende combinaties. In totaal zijn 245 dagen doorgerekend. De drukhoogten zijn uitgesplitst naar najaar (122 dagen) en voorjaar (123 dagen). Tevens is in de tabel de over 245 dagen gemiddelde drukhoogte ($h(gem)$) vermeld. Uit de gemiddelde drukhoogte komt duidelijk naar voren dat toplagen op het kleiprofiel beduidend natter zijn dan toplagen op het zand- of zavelprofiel.

In het najaar van 1979 zijn door nattere omstandigheden de gemiddelde drukhoogten van alle combinaties iets lager dan in het voorjaar van 1980.

In aanvulling op Tabel 5.1 geeft Tabel 5.2. een overzicht van het De drukhoogten in Tabel 5.2 zijn met behulp van figuur 11 omgezet in indringingsweerstand (zie Tabel 5.3 en Fig. 14). Aldus werd een overzicht verkregen van de duur van overschrijding van indringingsweerstand als maat voor de stabiliteit in afhankelijkheid van gebruikte toplaagmaterialen in combinatie met verschillende ondergronden.

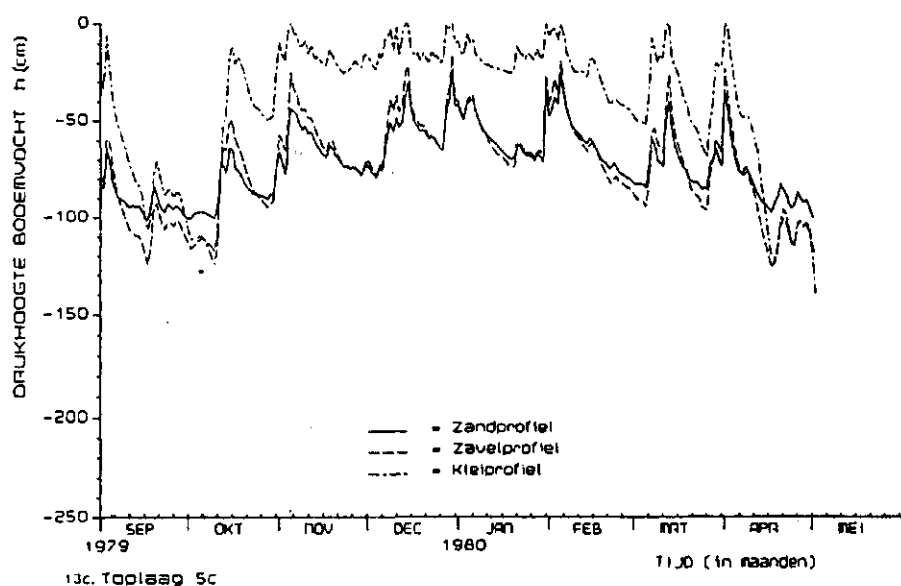
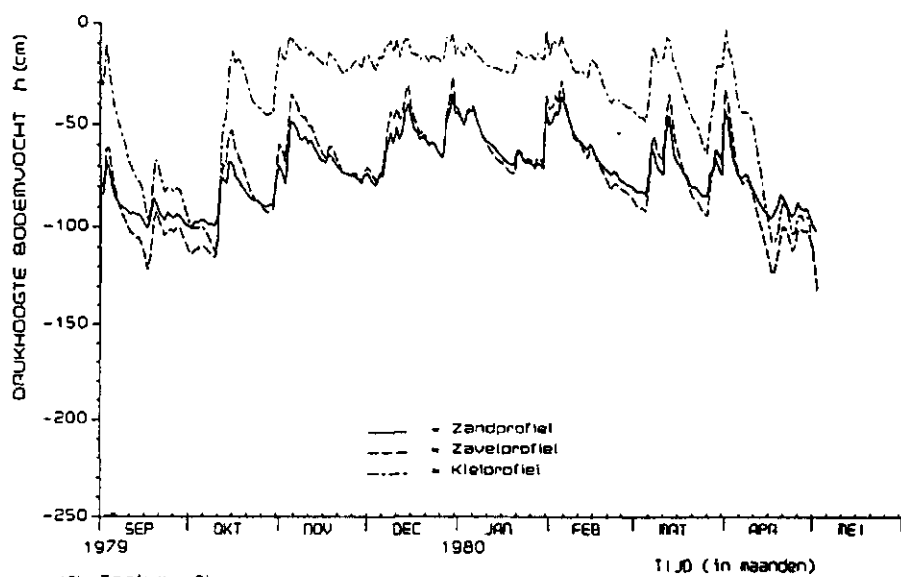
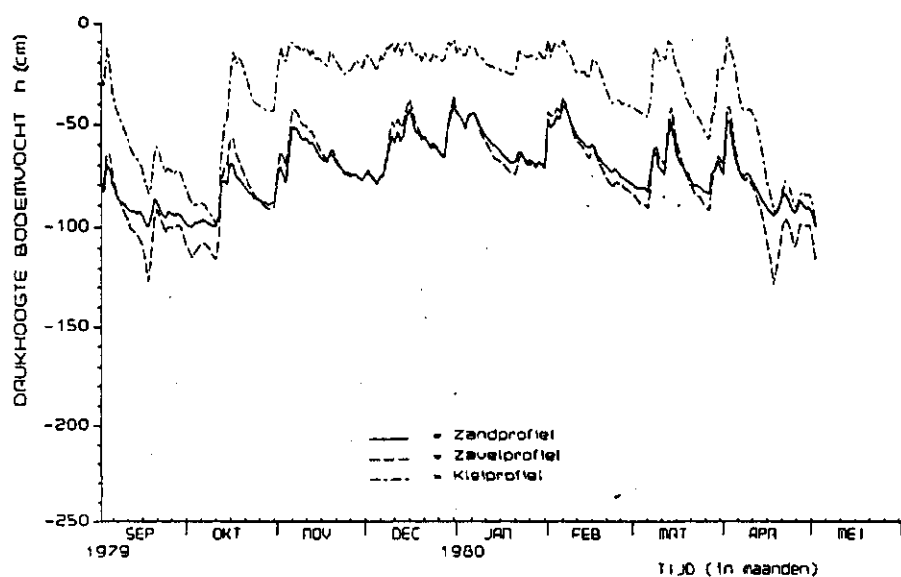


Fig. 13. Het verloop van de drukhoogte van het bodemvocht op 5 cm diepte in drie toplagen op zand, zavel en klei in de periode 1979/1980

Tabel 5.1. De verdeling van drukhoogten en de gemiddelde drukhoogte (h(gem)) van het bodemvocht op 5 cm diepte in drie toplagen op zand, zavel en klei over 245 dagen in de periode 1979/1980

Prof. opb.	drukhoogte bodemvocht (-cm)															h(gem) (cm)
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	
5aZ	0	0	0	0	21	31	48	59	39	41	6	0	0	0		-73,6
5bZ	0	0	0	2	23	28	48	55	40	44	5	0	0	0		-73,5
5cZ	0	0	2	7	21	30	44	53	37	42	9	0	0	0		-72,7
5aL	0	0	0	3	26	29	45	51	25	26	23	13	3	1		-76,1
5bL	0	0	2	11	26	24	52	40	23	20	25	18	4	0		-74,9
5cL	0	2	7	12	21	27	47	40	19	21	21	23	5	0		-74,2
5aK	5	81	51	14	35	7	9	13	14	15	1	0	0	0		-37,7
5bK	14	75	48	15	29	8	6	8	11	14	15	1	1	0		-39,7
5cK	32	59	46	12	24	14	6	7	10	5	12	12	5	1		-41,2
najaar 1979																
5aZ	0	0	0	0	6	17	19	28	20	27	5	0	0	0		-76,5
5bZ	0	0	0	1	7	16	21	25	18	30	4	0	0	0		-76,0
5cZ	0	0	1	2	8	16	19	25	16	28	7	0	0	0		-75,4
5aL	0	0	0	2	10	18	20	24	9	13	16	9	1	0		-77,5
5bL	0	0	1	5	13	13	23	20	8	11	15	12	1	0		-76,2
5cL	0	1	3	6	11	15	19	21	5	12	11	17	1	0		-75,7
5aK	1	45	25	5	11	3	8	10	5	9	0	0	0	0		-38,4
5bK	8	41	22	5	10	3	3	7	9	4	9	1	0	0		-40,3
5cK	17	34	20	4	9	4	2	6	9	3	4	8	2	0		-41,6
voorjaar 1980																
5aZ	0	0	0	0	15	14	29	31	19	14	1	0	0	0		-70,8
5bZ	0	0	0	1	16	12	27	30	22	14	1	0	0	0		-70,9
5cZ	0	0	1	5	13	14	25	28	21	14	2	0	0	0		-70,0
5aL	0	0	0	1	16	11	25	27	16	13	7	4	2	1		-74,7
5bL	0	0	1	6	13	11	29	20	15	9	10	6	3	0		-73,6
5cL	0	1	4	6	10	12	28	19	14	9	10	6	4	0		-72,9
5aK	4	36	26	9	24	4	1	3	9	6	1	0	0	0		-37,0
5bK	6	34	26	10	19	5	3	1	2	10	6	0	1	0		-39,1
5cK	15	25	26	8	15	10	4	1	1	2	8	4	3	1		-40,9

5aZ = toplaag 5a op zand, enz.

Tabel 5.2. De overschrijdingsduur van drukhoogten van het bodemvocht (cm) op 5 cm diepte in drie toplagen op zand, zavel en klei over het totaal aantal dagen in de periode 1979/1980

Prof. opb.	aantal dagen										
	0	25	49	74	98	123	147	172	196	221	245
5aZ	-102,0	- 95,5	- 89,5	-83,1	-78,0	-73,8	-69,6	-64,5	-59,0	-51,1	-40,0
5bZ	-102,0	- 95,6	- 90,0	-83,9	-78,4	-73,9	-69,4	-64,3	-58,6	-49,8	-36,0
5cZ	-104,0	- 96,3	- 90,5	-83,9	-76,6	-72,0	-66,8	-61,3	-53,7	-42,6	-25,0
5aL	-129,0	-106,7	- 96,5	-87,0	-78,6	-73,8	-68,9	-63,4	-56,9	-48,3	-36,0
5bL	-124,0	-109,0	- 99,0	-87,2	-78,0	-71,9	-66,7	-62,0	-54,2	-44,4	-27,0
5cL	-127,0	-111,5	-100,0	-88,2	-77,8	-71,6	-66,2	-61,0	-52,6	-41,7	-16,0
5aK	-109,0	- 83,9	- 63,3	-45,9	-37,2	-27,2	-22,4	-18,5	-15,4	-12,4	- 7,0
5bK	-125,0	- 94,6	- 71,3	-46,7	-36,7	-27,0	-21,9	-17,9	-14,7	-11,4	- 3,0
5cK	-138,0	-104,6	- 74,3	-49,4	-38,3	-26,8	-21,5	-17,0	-12,9	- 7,7	0,0

5aZ = toplaag 5a op zand, enz.

Tabel 5.3. De overschrijdingsduur van indringingsweerstanden (10^{-2} MPa) van drie toplagen op zand, zavel en klei in de periode 1979/1980.

Prof. opb.	aantal dagen										
	0	25	49	74	98	123	147	172	196	221	245
5aZ	18,1	17,8	17,6	17,3	17,0	16,7	16,4	15,9	15,3	14,1	11,1
5bZ	19,9	19,6	19,3	19,0	18,3	18,7	17,9	17,4	16,5	14,5	6,0
5cZ	22,4	22,0	21,6	21,0	20,3	19,7	18,9	17,9	15,9	8,0	-
5aL	19,1	18,3	17,9	17,4	17,0	16,7	16,3	15,8	15,2	13,7	8,0
5bL	20,9	20,3	19,8	19,2	18,6	18,1	17,6	17,0	15,5	11,6	-
5cL	23,8	22,9	22,2	21,4	20,4	19,7	18,9	17,8	15,5	7,3	-
5aK	18,3	17,3	15,8	13,0	9,1	-	-	-	-	-	-
5bK	21,0	19,6	18,0	13,3	6,4	-	-	-	-	-	-
5cK	24,4	22,5	20,0	14,5	5,1	-	-	-	-	-	-

- = $< 4,0 \cdot 10^{-2}$ MPa. 5aZ = toplaag 5a op zand, enz.

Figuur 14 geeft een overzicht van de grootte en duur van de stabiliteit van de drie toplagen op de drie profielen. Toplaag 5c geeft steeds de beste stabiliteit. Bij het zand- en zavelprofiel is het bovenstaande in 75 à 80 % van het totaal aantal dagen het geval. Bij het kleiprofiel is dit slechts 30 % van de dagen het geval. Opgemerkt dient te worden dat op maar 35 % van de dagen de toplaag enige stabiliteit vertoont. Toplaag 5a op het kleiprofiel heeft geen enkele dag waarop de stabiliteit groter is dan 0,2 MPa. Deze waarde wordt bij toplaag gedurende slechts 19 en bij toplaag 5c 49 dagen overschreden.

De onderlinge verschillen in stabiliteit bij dezelfde toplagen op zand en zavel, zijn klein. De indringingsweerstanden zijn bij het zavelprofiel hoger dan bij het zandprofiel. De maximale indringingsweerstanden zijn het grootst bij het kleiprofiel. Ten aanzien van de invloed van de ondergrond op de stabiliteit van de toplaag kan worden gesteld dat toplagen op een kleiondergrond zeer weinig stabiel zijn.

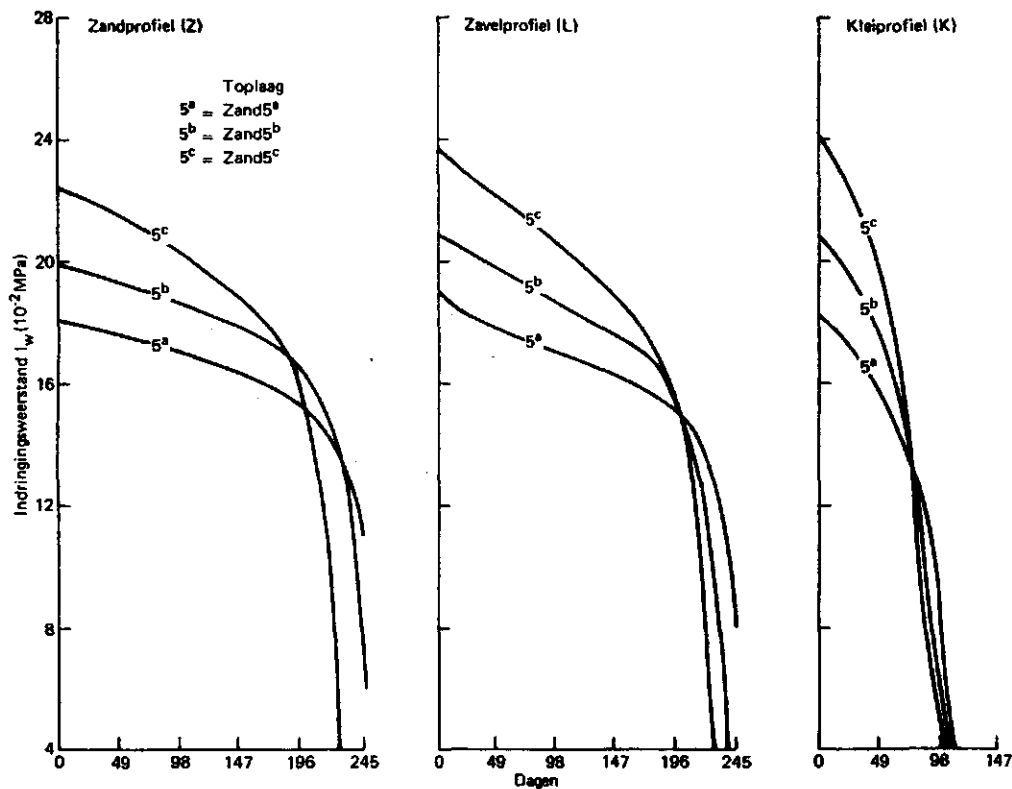


Fig. 14. De overschrijdingsduur van indringingsweerstand van drie toplagen op zand, zavel en klei in de periode 1979/1980

Gedurende een groot deel van het totaal aantal dagen, namelijk 65 %, is de stabiliteit zeer gering. Toplagen op zand en zavel zijn gedurende slechts 5 % van het totaal aantal dagen weinig stabiel.

Dit onderzoek staat slechts toe de stabiliteit van de verschillende toplaag/ondergrond combinaties onderling te vergelijken. Er ontbreekt een norm voor de stabiliteit van onbegroeide zandtoplagen, waarbij het terrein goed te bespelen is. Onderzoek naar de bespeelbaarheid van sportvelden heeft voornamelijk plaatsgevonden op grassportvelden. VAN WIJK (1980) adviseert voor voldoende stabiliteit van grassportvelden indringingsweerstand van 1,0 tot 1,4 MPa. De hoogste waarde geldt voor intensief bespeelde terreingedeelten. De bijdrage van de graszode bedraagt, volgens Van Wijk 0,6 tot 0,8 MPa.

De bovengenoemde eis zal zeker niet gehaald worden op trainingsvelden zonder grasbegroeiing. Met name zal op onbegroeide trainingsvelden een grotere vervorming van het speeloppervlak geaccepteerd moeten worden. Vervormingen op trainingsvelden zijn echter gemakkelijker te herstellen.

Om op basis van onderhevig onderzoek vast te kunnen stellen of de voor de verschillende toplaag/ondergrond combinaties gevonden stabiliteit voldoende is onder veldomstandigheden aanvullend onderzoek nodig.

periode 1966/1967.

De periode 1966/1967 heeft een najaar waarin 1,5 maal zoveel neerslag (403 mm) is gevallen dan in het najaar van 1979. Het voorjaar van 1967 heeft een gelijke neerslaghoeveelheid als dat van 1980. Door het natte najaar van 1966 zijn de gemiddelde drukhoogte over de periode 1966/1967 hoger dan die over de periode 1979/1980 (zie Tabel 5.4).

Tabel 5.4. De gemiddelde drukhoogten van het bodemvocht (cm) op 5 cm diepte in drie toplagen op zand, zavel en klei over de drie geselecteerde perioden

Profiel- opbouw	Periode		
	1979/1980	1966/1967	1971/1972
5aZ	-73,6	-69,8	-94,7
5bZ	-73,5	-69,7	-94,7
5cZ	-72,7	-68,2	-94,6
5aL	-76,8	-74,6	-156,3
5bL	-74,9	-70,7	-111,6
5cL	-74,2	-69,3	-109,8
5aK	-37,7	-32,1	-139,8
5bK	-39,7	-32,9	-138,7
5cK	-41,2	-33,0	-138,0

3aZ = toplaag 5a op zand, enz.

Figuur 15 laat de veranderingen van de drukhoogte in de tijd zien van de drie toplagen op de drie profielen over de periode 1966/ 1967.

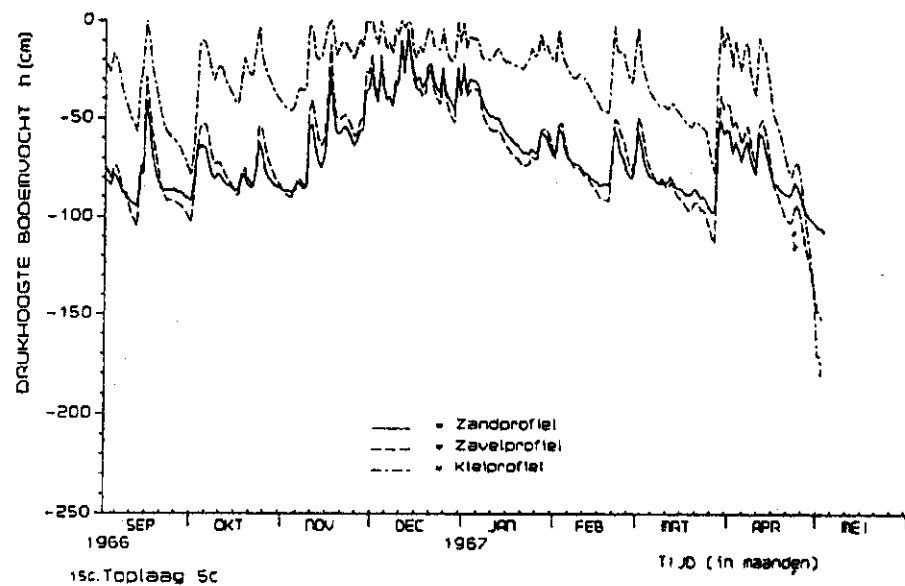
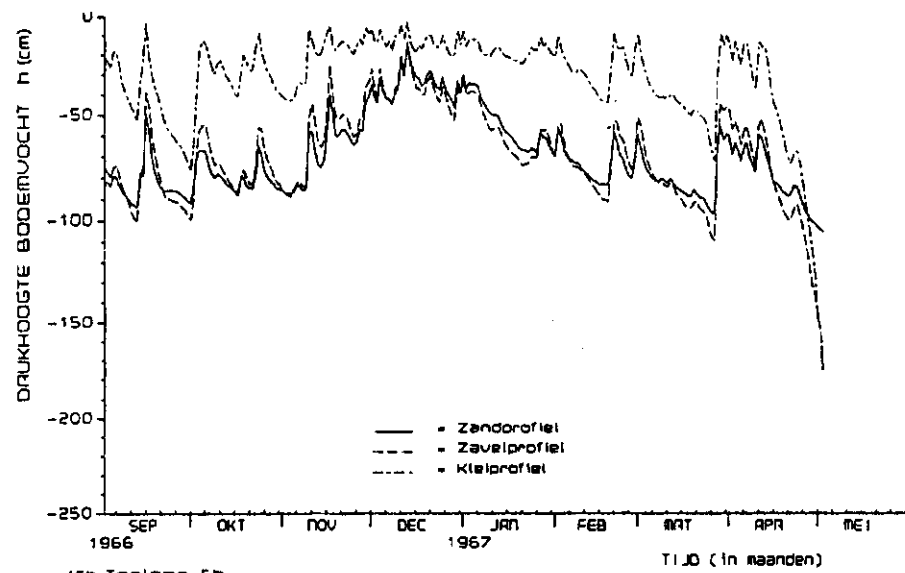
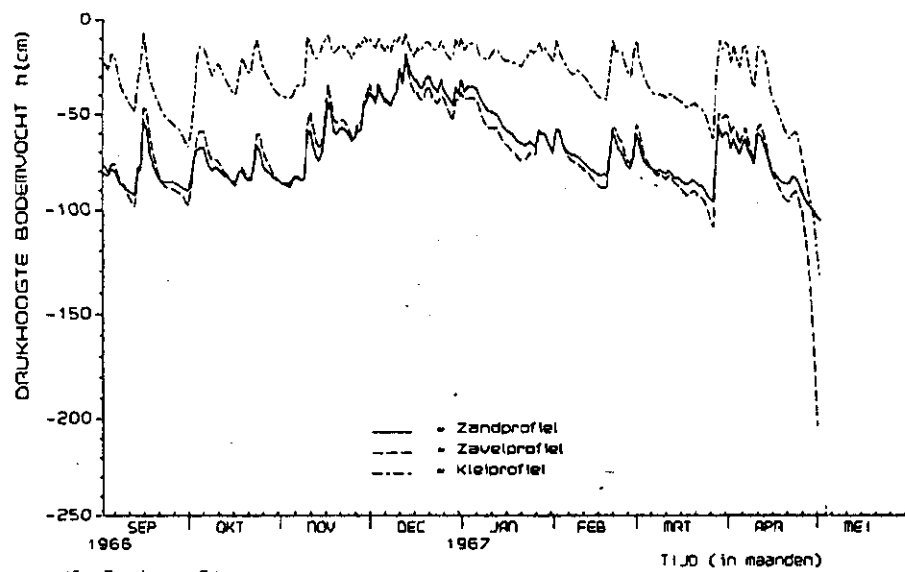


Fig. 15. Het verloop van de drukhoogte van het bodemvocht op 5 cm diepte in drie toplagen op zand, zavel en klei in de periode 1966/1967.

Tabel 5.5. De verdeling van drukhoogten en de gemiddelde drukhoogte (h(gem)) van het bodemvocht op 5 cm diepte in drie toplagen op zand, zavel en klei over 245 dagen in de periode 1966/1967

Prof.	Drukhoogte bodemvocht (-cm)																							h(gem) (cm)
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	>200		
opb.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	>200		
5aZ	0	1	3	22	20	16	46	40	79	13	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-69,8	
5bZ	0	1	4	24	16	23	39	39	80	13	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-60,7	
5cZ	1	2	11	20	13	30	37	35	75	14	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-68,2	
5aL	0	0	3	12	28	35	32	45	51	27	4	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	4	-74,6	
5bL	0	1	5	20	22	42	28	39	42	32	6	1	1	2	1	1	0	1	0	0	0	1	-70,7	
5cL	1	5	8	22	17	42	25	39	35	32	9	3	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	-69,3	
5aK	6	87	52	31	39	11	10	1	2	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	-32,1	
5bK	15	79	51	31	33	11	10	6	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	-32,9	
5cK	36	61	50	26	29	16	7	11	1	0	1	1	1	1	0	1	0	2	0	0	0	2	-33,0	
najaar 1966																								
5aZ	0	1	3	17	15	8	12	15	46	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-66,3	
5bZ	0	1	4	19	12	10	10	16	44	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-65,8	
5cZ	1	2	11	15	8	11	12	14	41	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-64,8	
5aL	0	0	3	12	22	15	12	16	31	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-65,3	
5bL	0	1	5	17	15	19	9	16	26	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-63,9	
5cL	1	5	8	16	12	17	7	18	21	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-62,0	
5aK	6	52	21	18	15	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-26,4	
5bK	12	47	20	18	13	4	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-26,6	
5cK	26	36	18	15	13	6	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-25,5	
voorjaar 1967																								
5aZ	0	0	0	5	5	8	34	25	33	8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-73,3	
5bZ	0	0	0	5	4	13	29	23	36	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-73,5	
5cZ	0	0	0	5	5	19	25	21	34	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-72,6	
5aL	0	0	0	0	6	20	20	29	20	16	4	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	4	-83,7	
5bL	0	0	0	3	7	23	19	23	16	20	4	1	1	2	1	1	0	1	0	0	0	1	-77,5	
5cL	0	0	6	5	25	18	21	14	19	5	3	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	-76,6	
5aK	0	35	31	13	24	4	7	1	2	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	-37,7	
5bK	3	32	31	13	20	7	4	4	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	-39,3	
5cK	10	25	32	11	16	10	2	8	1	0	1	1	1	1	0	1	0	2	0	0	0	2	-40,4	

Tabel 5.5 geeft de verdeling van de drukhoogte op 5 cm diepte van de diverse toplaag/ondergrondcombinaties. Bovendien is de gemiddelde drukhoogte per combinatie vermeld. De drukhoogten in de toplagen op het kleiprofiel liggen aanzienlijk hoger dan op de andere twee profielen.

De verdeling van de drukhoogte en hieraan gekoppelde verdeling van de indringingsweerstand van de toplagen over de 245 dagen staan vermeld in de Tabellen 5.6 en 5.7.

Tabel 5.6. De overschrijding van drukhoogten van het bodemvocht (cm) op 5 cm diepte in drie toplagen op zand, zavel en klei in de periode 1966/1967

Prof. opb.	aantal dagen										
	0	25	49	74	98	123	147	172	196	221	245
5aZ	-109,0	-89,2	-86,1	-83,0	-79,8	-73,6	-67,8	-62,5	-51,9	-39,3	-18,0
5bZ	-107,0	-89,3	-86,3	-83,2	-80,4	-74,0	-67,7	-61,4	-51,7	-38,1	-14,0
5cZ	-108,0	-89,5	-86,3	-83,0	-79,4	-72,4	-65,7	-58,8	-50,7	-35,3	- 4,0
5aL	-424,0	-91,1	-85,8	-81,0	-78,2	-72,8	-66,3	-58,7	-51,7	-43,4	-20,0
5bL	-220,0	-96,7	-89,3	-83,5	-77,4	-71,2	-62,9	-56,1	-50,3	-39,3	-13,0
5cL	-166,0	-98,3	-90,6	-83,6	-76,9	-70,6	-61,2	-54,9	-47,6	-34,8	- 4,0
5aK	-250,0	-55,0	-45,5	-38,5	-30,6	-25,7	-21,0	-17,8	-14,9	-12,1	- 7,0
5bK	-252,0	-60,5	-46,1	-38,5	-30,6	-25,6	-20,8	-17,4	-14,3	-11,2	- 3,0
5cK	-238,0	-63,6	-47,9	-39,4	-30,0	-25,1	-20,2	-16,1	-12,1	- 6,8	0,0

5aZ = toplaag 5a op zand, enz.

Tabel 5.7. De overschrijding van indringingsweerstanden (10^{-2} MPa) van drie toplagen op zand, zavel en klei in de periode 1966/1967.

Prof. opb.	aantal dagen										
	0	25	49	74	98	123	147	172	196	221	245
5aZ	18,3	17,5	17,4	17,2	17,1	16,7	16,2	15,7	14,5	10,7	-
5bZ	20,2	19,3	19,1	18,9	18,8	18,3	17,7	16,9	15,0	7,1	-
5cZ	22,7	21,5	21,2	20,9	20,4	19,8	18,8	17,3	14,8	-	-
5aL	21,0	17,6	17,4	17,1	17,0	16,6	16,1	15,3	14,3	12,4	-
5bL	23,5	19,7	19,3	19,0	18,6	18,0	17,1	16,0	14,5	8,1	-
5cL	25,8	22,1	21,5	21,0	20,3	19,5	17,9	16,2	13,2	-	-
5aK	20,7	14,8	12,9	10,2	5,0	-	-	-	-	-	-
5bK	23,6	16,7	13,1	7,5	-	-	-	-	-	-	-
5cK	26,0	18,4	13,5	5,7	-	-	-	-	-	-	-

- = < $4,0 \cdot 10^{-2}$ MPa. 5aZ = toplaag 5a op zand, enz.

De informatie uit Tabel 5.7 is tevens grafische weergegeven in figuur 16.

Het effect van een natter najaar op de indringingsweerstand is het duidelijkst waarneembaar bij de toplagen op het kleiprofiel. De maximumwaarden zijn ten opzichte van 1979/1980 wel hoger, maar het aantal dagen waarop de toplaag enige stabiliteit heeft is van 35 naar 25 % gedaald. Ook voor het zavelprofiel geldt dat het aantal dagen, waarop de toplaag enige stabiliteit heeft, is gedaald in vergelijking met 1979/1980, namelijk van 95 naar 90 %. Ook hier is de hoogste waarde hoger dan in 1979/1980. Voor de toplagen op het zandprofiel is de stabiliteit weinig veranderd. Daarbij moet vermeld worden dat bij een gelijk profiel toplaag 5c meer in stabiliteit is afgenomen dan 5b en 5a, terwijl toplaag 5b meer in stabiliteit is afgenomen dan 5a. In alle gevallen blijft toplaag 5c de meest stabiele toplaag.

De toename van de natheid in het najaar heeft het meest invloed op de stabiliteit van de toplaag met het hoogste leemgehalte en naarmate het profiel meer leem of lutum bevat.

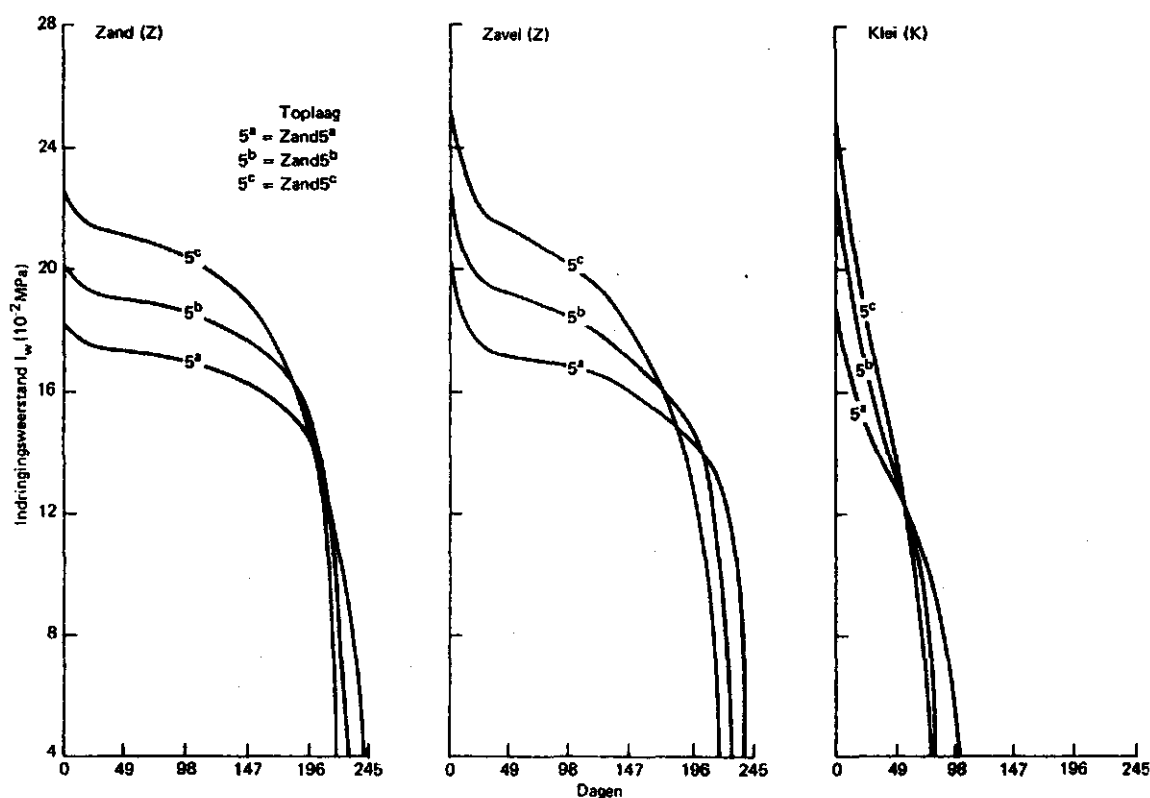


Fig. 16. De overschrijdingsduur van indringingsweerstand van drie toplagen op zand, zavel en klei in de periode 1966/1967

periode 1971/1972.

In het najaar van de periode 1971/1972 is de neerslaghoeveelheid (149 mm) ongeveer de helft van de hoeveelheid die gevallen is in het najaar van 1979. Wat de invloed hiervan op de drukhoogte gedurende deze periode is geweest laat figuur 17 zien.

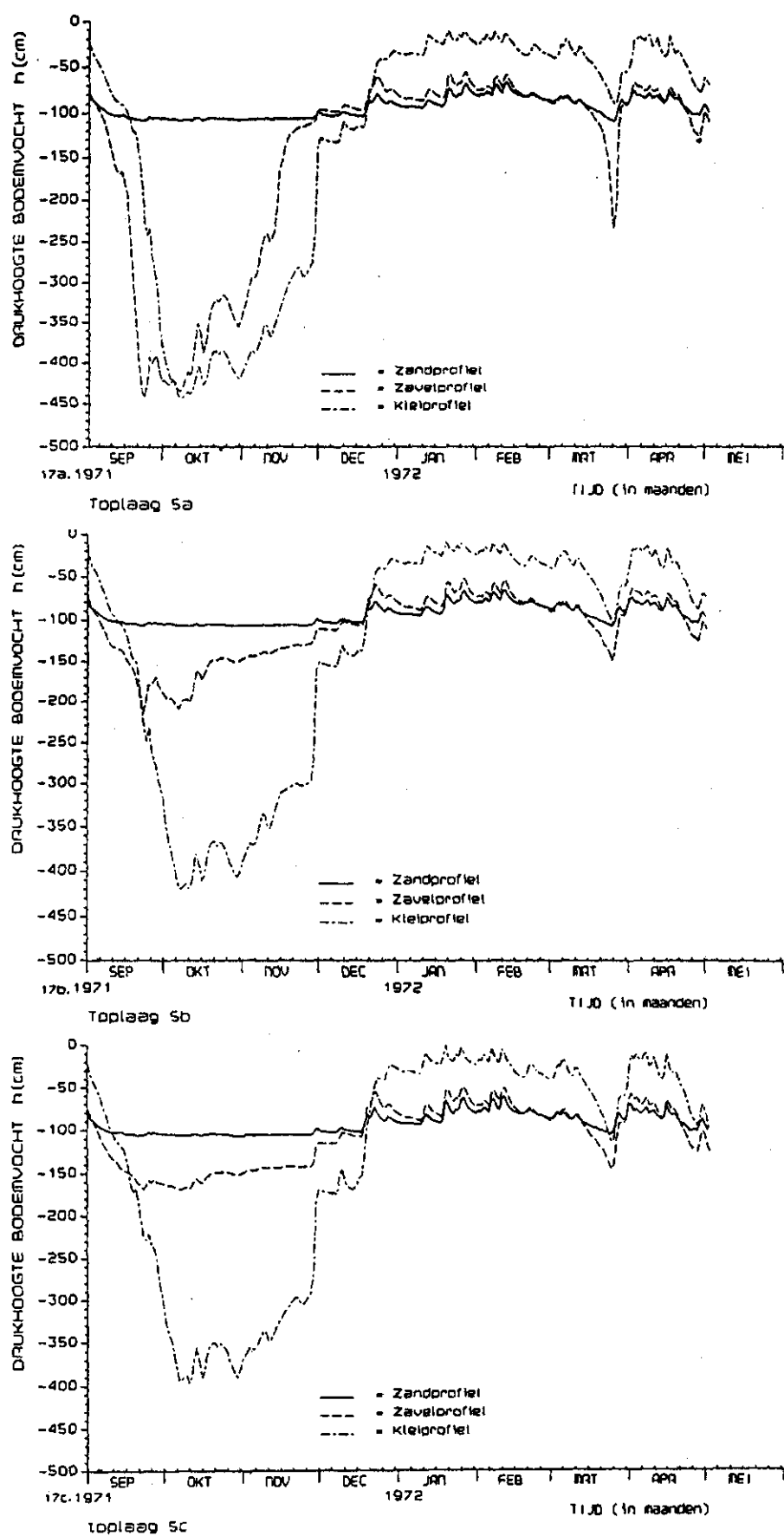


Fig. 17. Het verloop van de drukhoogte van het bodemvocht op 5 cm diepte in drie toplagen op zand, zavel en klei in de periode 1971/1972

Duidelijk komt in de gemiddelde drukhoogte tot uiting dat het na-jaar droog was. De gemiddelde drukhoogten zijn duidelijker lager dan in de periode 1979/1980 (Tabel 5.8).

Bij de zandprofielen treedt geen uitdrogen van de toplagen op. Bij een grondwaterstand van ca. 1 meter beneden maaiveld blijft de onverzadigde doorlatendheid van het zandprofiel voldoende groot om de geringe verdamping via de toplaag bij te houden. De drukhoogte in de toplaag wordt niet lager dan ca. -100 cm. De drukhoogten in de toplagen gelegen op klei dalen het meest, gevolgd door die op zavel. Dit alles in vergelijking met de periode 1979/1980.

Een aantal toplagen op zavel en klei drogen sterk uit in het na-jaar van 1971. Dit komt doordat de onverzadigde doorlatendheid van de zavel en klei kleiner is dan die van de toplagen. Hierdoor blijft de capillaire aanvoer vanuit de ondergrond achter bij de vochtonttrekking door de verdamping vanuit de toplaag. Doordat het capillair geleidingsvermogen van de klei kleiner is dan die van de zavel drogen toplagen op klei in droge perioden dan ook verder uit. Dit uitdrogen van de toplagen doet de onverzadigde doorlatendheid van de toplagen verder afnemen, waardoor de verdamping vanuit sterk wordt gereduceerd.

Figuur 18 geeft het verloop van de drukhoogte van het bodemvocht op 5 cm diepte in de toplaag 5a in samenhang met die op drie diepten in de zavel- en kleiondergrond. Door de betere doorlatendheid van de zavel kan de vochtonttrekking aan de bovenkant van de zavel, die met het droger worden van de toplaag steeds kleiner wordt (zie ook Fig. 7 en 9), eenvoudig van onderen worden aangevuld. Hierdoor blijft in de droge periode in oktober de bij de verdampingsintensiteit behorende vochtverdeling in het profiel constant. Bij de klei treedt geen evenwichtssituatie in het profiel op in de periode oktober. De kleiondergrond blijft uitdrogen, omdat de aanvoer van water vanuit de ondergrond geringer is dan de afvoer via verdamping, vanwege de geringe doorlatendheid van de klei in dit drukhoogtetraject. Een geringe vochtonttrekking aan de klei leidt tot een grote verandering in drukhoogte, omdat de drukhoogten zich in het steile deel van de vochtretentiecurve bevinden.

Tabel 5.8. De verdeling van drukhoogten en de gemiddelde drukhoogte (h(gem)) van het bodemvocht op 5 cm diepte in drie toplagen op zand, zavel en klei over 245 dagen in de periode 1971/1972

Prof. opb.	Drukhoogte bodemvocht (-cm)																						h(gem) (cm)	
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	>200		
5aZ	0	0	0	0	0	0	0	3	23	64	44	110	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 94,7	
5bZ	0	0	0	0	0	0	0	4	22	62	46	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 94,7	
5cZ	0	0	0	0	0	0	0	7	21	62	40	115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 94,6	
5aL	0	0	0	0	0	0	4	15	41	46	34	7	15	6	5	1	3	4	1	0	2	61	-156,3	
5bL	0	0	0	0	0	0	9	15	40	39	16	18	18	12	19	22	8	5	6	3	9	6	-111,6	
5cL	0	0	0	0	0	0	11	21	34	34	17	17	18	9	6	38	20	20	1	0	0	0	-109,8	
5aK	0	20	38	37	18	10	7	12	4	6	2	9	4	9	0	1	0	0	1	0	0	68	-139,8	
5bK	1	22	36	37	13	7	10	5	10	4	5	2	1	5	7	9	1	1	0	1	0	1	68	-138,7
5cK	4	22	34	32	17	6	8	4	6	8	3	5	1	2	2	4	6	10	2	0	0	69	-138,0	
najaar 1971																								
5aZ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11	11	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-102,1	
5bZ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	12	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-102,1	
5cZ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	11	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-102,1	
5aL	0	0	0	0	0	0	0	3	9	4	21	2	9	3	3	1	2	4	1	9	1	59	-224,2	
5bL	0	0	0	0	0	0	1	2	10	2	3	11	11	8	18	20	7	5	6	3	9	6	-136,5	
5cL	0	0	0	0	0	0	1	3	8	2	3	10	11	3	5	35	20	20	1	0	0	0	-133,8	
5aK	0	0	1	5	8	2	2	4	3	3	2	9	4	9	0	1	0	0	1	0	0	68	-243,5	
5bK	0	0	1	5	7	2	2	2	2	3	3	2	1	5	7	9	1	1	0	1	0	1	68	-240,9
5cK	0	0	4	2	7	1	2	1	2	2	2	3	1	2	2	4	6	10	2	0	0	69	-238,4	
voorjaar 1972																								
5aZ	0	0	0	0	0	0	0	3	22	53	33	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 87,5	
5bZ	0	0	0	0	0	0	0	4	21	52	34	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 87,4	
5cZ	0	0	0	0	0	0	0	7	20	52	29	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 87,0	
5aL	0	0	0	0	0	0	4	12	32	42	13	5	6	3	2	0	1	0	0	0	1	2	- 88,3	
5bL	0	0	0	0	0	0	8	13	30	37	13	7	7	4	1	2	1	0	0	0	0	0	- 85,7	
5cL	0	0	0	0	0	0	10	18	26	32	14	7	7	6	1	3	0	0	0	0	0	0	- 86,0	
5aK	0	20	37	32	10	8	5	8	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 36,1	
5bK	1	22	35	32	6	5	8	3	8	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 37,4	
5cK	4	22	30	30	10	5	6	3	4	6	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 38,5	

5aZ = toplaag 5a op zand, enz.

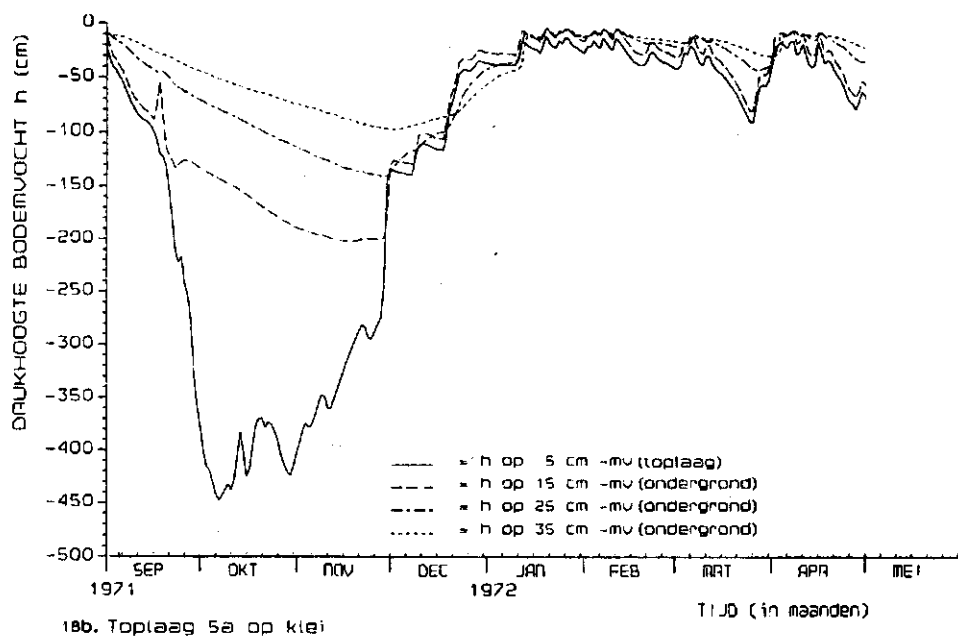
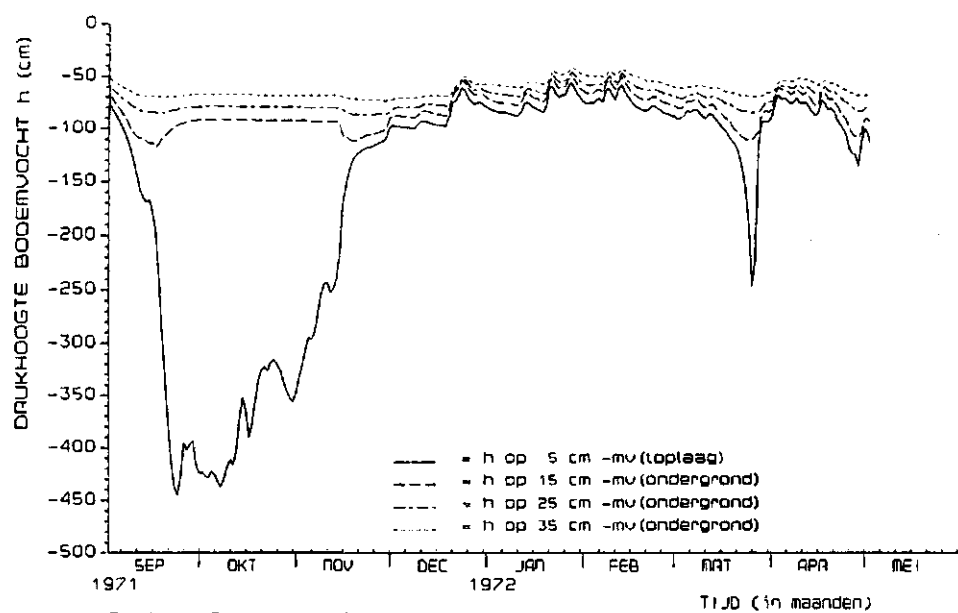


Fig. 18. Het verloop van de drukhoogte van het bodemvocht op verschillende diepten bij verschillende combinaties van toplaag 5a met zavel en klei in de periode 1971/1972

Tabel 5.9 geeft de verdeling van de drukhoogte over het totaal aantal dagen in de periode 1971/1972.

Tabel 5.9. De overschrijdingsduur van drukhoogten van het bodemvocht (cm) op 5 cm diepte in drie toplagen op zand, zavel en klei in de periode 1971/1972

Prof. opb.	aantal dagen										
	0	25	49	74	98	123	147	172	196	221	245
5aZ	-110,0	-107,9	-105,6	-103,4	-101,2	-97,4	-91,8	-87,4	-83,5	-79,3	-66,0
5bZ	-108,0	-106,2	-104,5	-102,7	-101,0	-97,5	-92,2	-87,7	-83,7	-79,3	-66,0
5cZ	-108,0	-106,3	-104,6	-102,9	-101,2	-98,1	-92,0	-87,3	-83,4	-78,3	-63,0
5aL	-443,0	-373,0	-280,0	-137,0	-110,0	-94,9	-88,3	-82,9	-77,3	-71,3	-56,0
5bL	-214,0	-169,0	-144,5	-132,4	-115,6	-101,9	-88,7	-82,4	-76,3	-70,1	-52,0
5cL	-170,0	-157,8	-147,6	-139,2	-114,4	-100,3	-89,4	-82,2	-75,0	-66,4	-51,0
5aK	-444,0	-389,0	-320,0	-135,0	-91,7	-59,5	-41,7	-34,2	-27,6	-21,2	-11,0
5bK	-428,0	-376,0	-309,0	-157,2	-104,0	-66,5	-41,5	-33,9	-27,2	-20,4	-9,0
5cK	-397,0	-357,0	-309,0	-178,0	-117,0	-70,0	-43,8	-34,4	-26,8	-19,3	-2,0

5aZ = toplaag 5a op zand, enz.

De drogere toplagen zijn van invloed op de stabiliteit van deze toplagen. Tabel 5.10 geeft dit weer. De waarden van de indringingsweerstand, bij de verdeling hiervan, zijn hoger dan die in de periode van 1979/1980.

Tabel 5.10. De overschrijdingsduur van indringingsweerstand (10⁻² MPa) van drie toplagen op zand, zavel en klei in de periode 1971/1972

Prof.	aantal dagen										
	0	25	49	74	98	123	147	172	196	221	245
5aZ	18,4	18,3	18,2	18,1	18,0	17,9	17,8	17,5	17,3	17,0	16,1
5bZ	20,2	10,2	20,1	20,0	19,9	19,7	19,4	19,2	19,0	18,7	17,6
5cZ	22,7	22,6	22,5	22,4	22,3	22,2	21,6	21,3	21,0	20,4	18,2
5aL	21,2	21,1	21,0	19,3	18,4	17,8	17,5	17,2	16,9	16,5	15,0
5bL	23,5	22,6	21,8	21,3	20,6	19,9	19,2	18,9	18,5	17,9	15,1
5cL	26,0	25,5	25,0	24,5	23,1	22,2	21,3	20,9	20,1	18,9	14,8
5aK	21,3	21,1	21,0	19,3	17,6	15,4	11,8	6,9	-	-	-
5bK	23,7	23,7	23,6	22,2	20,0	17,5	9,7	5,0	-	-	-
5cK	26,2	26,2	26,1	26,0	23,3	19,5	8,8	-	-	-	-

- = < 4,0 10⁻² MPa. 5aZ = toplaag 5a op zand, enz.

De overschrijdingsduur van de indringingsweerstand van de toplagen is ook weergegeven in figuur 19.

In vergelijking met de periode 1979/1980 (zie Fig. 14) nemen de indringingsweerstand het meest toe bij de kleiprofielen. Op 60% van de dagen hebben de toplagen enige stabiliteit. Dit is 25 % meer dan in september-mei 1979/1980. De maximumwaarden liggen ook hoger. Zowel bij het zandprofiel als bij het zavelprofiel hebben de toplagen op alle dagen enige stabiliteit. Dit is 5 a 10 % meer dan in 1979/1980. De stabiliteit is het minst toegenomen bij de toplagen op het zandprofiel (bij gelijke toplaag). Bij overeenkomstige profielen neemt de stabiliteit van de toplaag 5c het meest toe, terwijl die van de toplaag 5a het minst is toegenomen. Dit geldt voor alle drie profielen. De toplaag 5c is het meest stabiel van de drie toplagen.

Uit vorenstaande volgt dat bij het droger worden van de toplaag de toename van de stabiliteit van de toplaag toeneemt bij een toename van het leemgehalte van de toplaag en naarmate de ondergrond meer leem of lutum bevat.

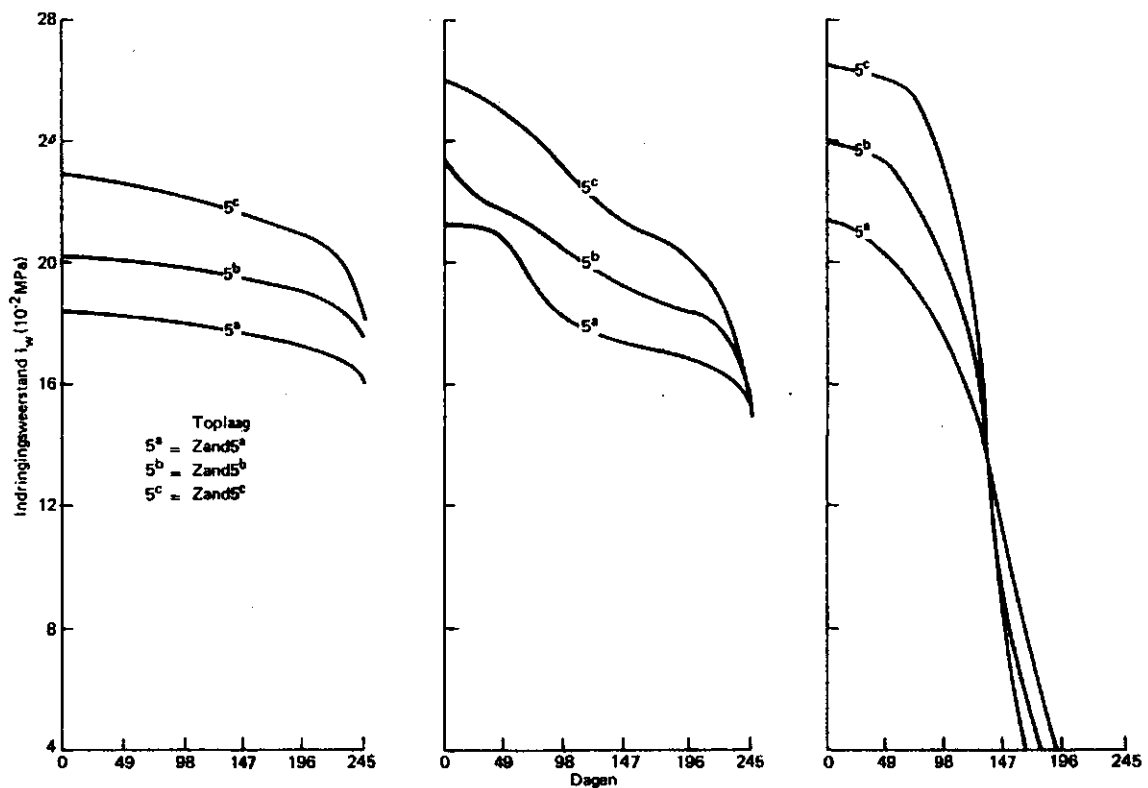


Fig. 19. De overschrijdingsduur van indringingsweerstand van drie toplagen op zand, zavel en klei in de periode 1971/1972.

5.4.2 Frequentie en duur van voorkomen van stabiliteit in afhankelijkheid van de drainageintensiteit

De drainageintensiteit is van invloed op de drukhoogte van het bodemvocht in de toplaag en daarmee op de stabiliteit van de toplaag. In het voorafgaande hoofdstuk 5.4.1 zijn voor de drie profielen drie drainageintensiteiten gebruikt: voor het zandprofiel 0,010, voor het zavelprofiel 0,013 en voor het kleiprofiel 0,022 (dag^{-1}). In alle gevallen is een draaindiepte van 1,0 meter gebruikt.

Er is tevens gedurende de periode 1979/1980 een berekening uitgevoerd, waarbij de drainageintensiteit voor alle drie profielen gelijk gehouden is enwel 0,010 (dag^{-1}). De draindiepte is 1,0 meter gebleven.

Tabel 5.11 geeft de gemiddelde drukhoogten op 5 cm diepte in de toplagen bij verschillende drainageintensiteiten voor de verschillende combinaties van profielopbouw.

Tabel 5.11. Gemiddelde drukhoogten van het bodemvocht (cm) op 5 cm diepte in drie toplagen op zand, zavel en klei bij diverse drainageintensiteiten (dag^{-1})

Onder- grond	Drain. inten.	Toplaag		
		5a	5b	5c
Zand	0,010	-73,6	-73,5	-72,7
Zavel	0,013	-76,1	-74,9	-74,2
Zavel	0,010	-73,1	-72,6	-71,6
Klei	0,022	-37,7	-39,7	-41,2
Klei	0,010	-37,7	-39,6	-41,2

De drukhoogten op 5 cm diepte in de toplagen op zavel en klei met verschillende drainageintensiteiten zijn weergegeven in de figuren 20 en 21.

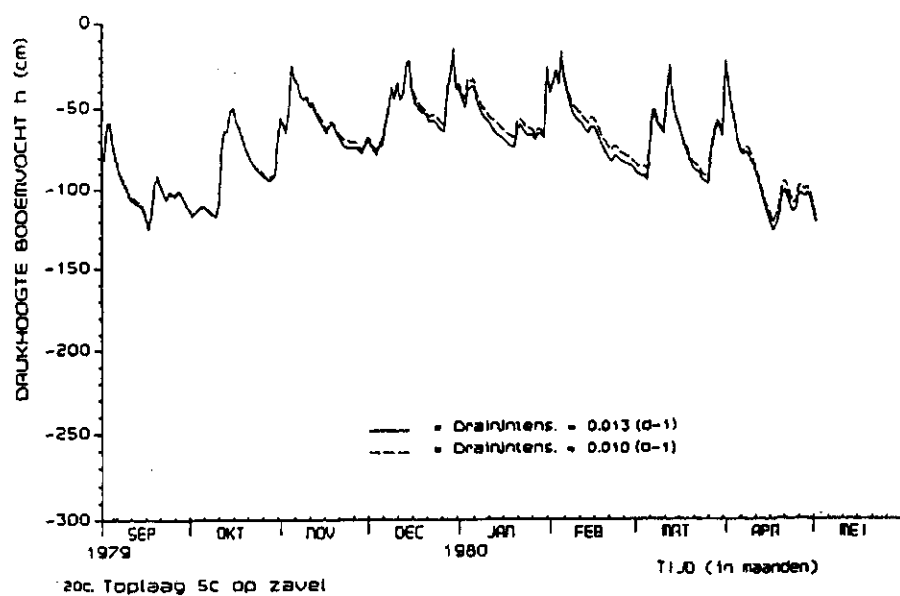
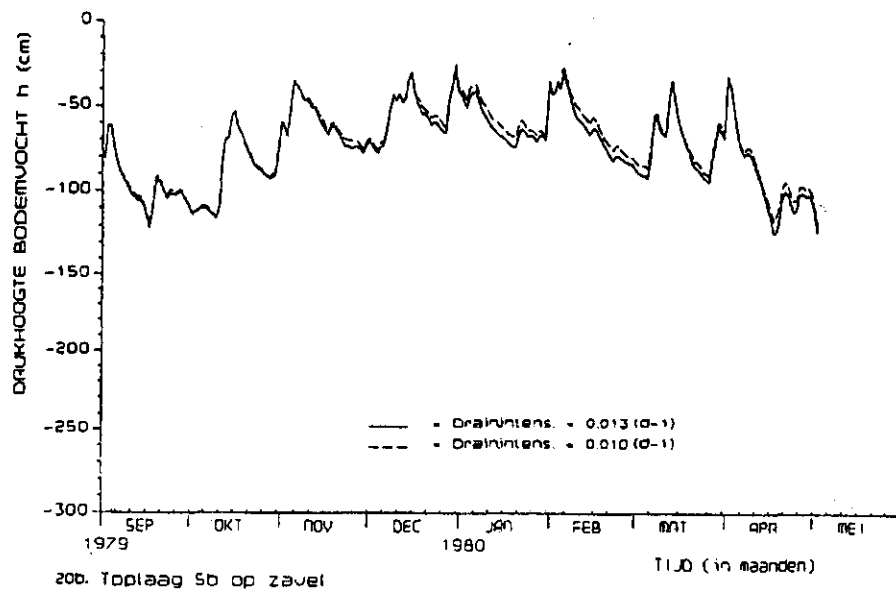
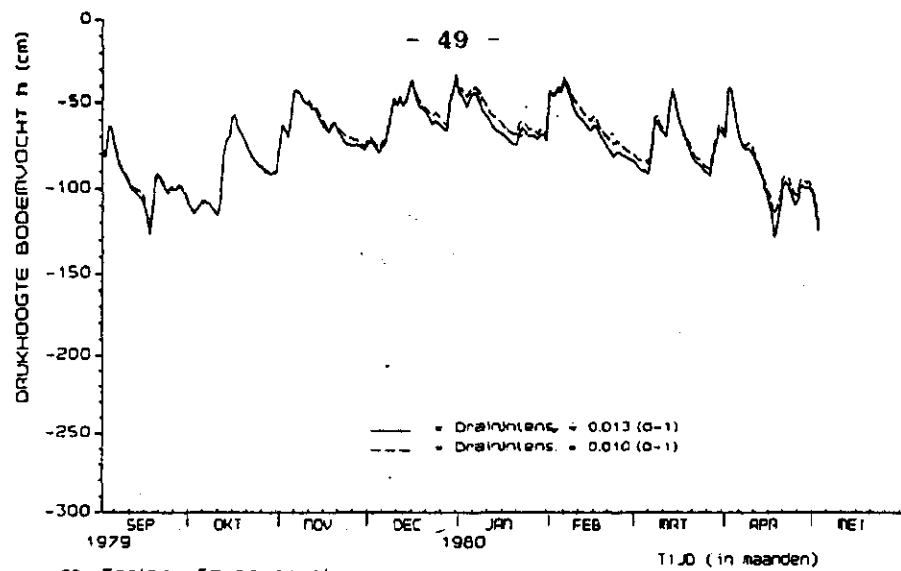


Fig. 20. Het verloop van de drukhoogte van het bodemvocht op 5 cm diepte in drie toplagen op zavel bij twee verschillende drainageintensiteiten in de periode 1979/1980

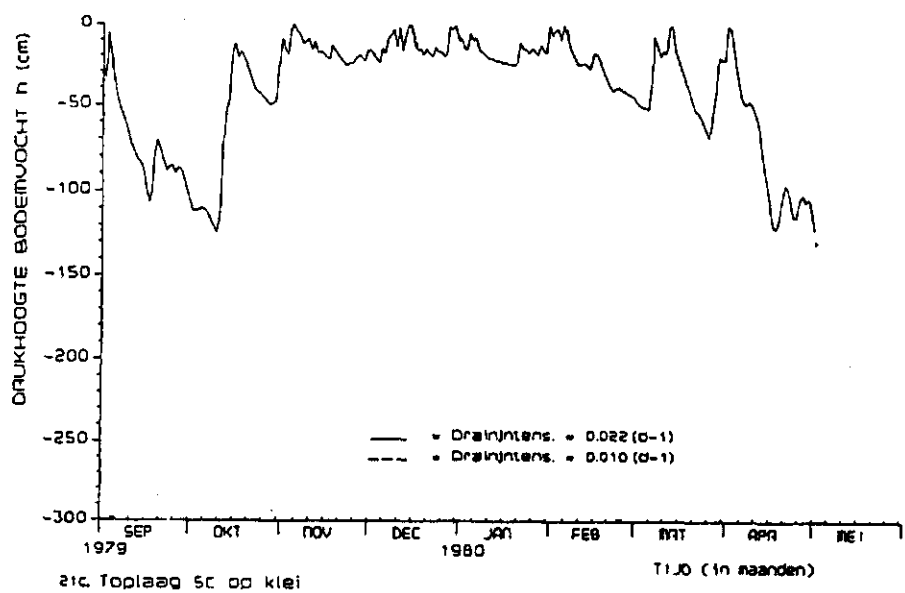
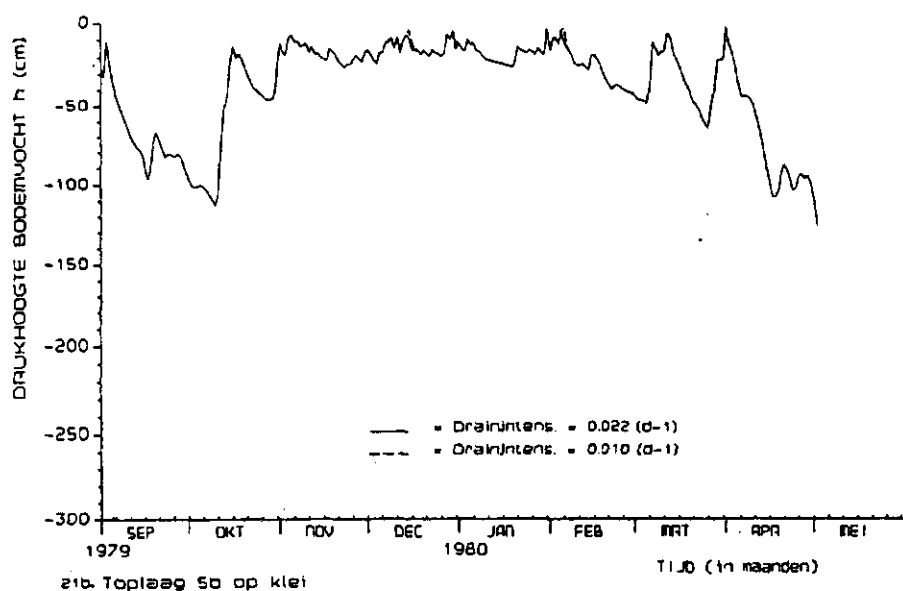
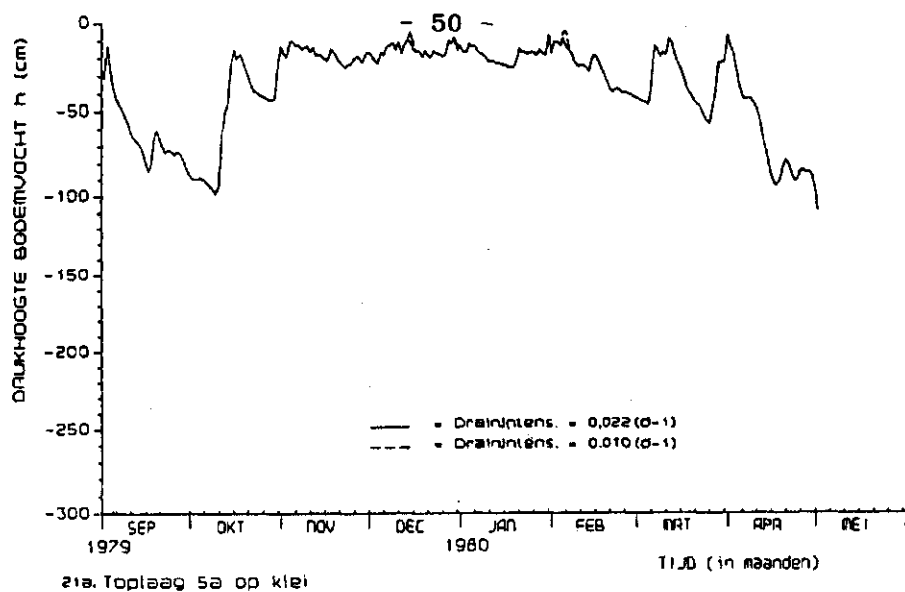


Fig. 21. Het verloop van de drukhoogte van het bodemvocht op 5 cm diepte in drie toplagen op klei bij twee verschillende drainageintensiteiten in de periode 1979/1980

De verlaging van de drainageintensiteit van 0,013 naar 0,010 (dag^{-1}) heeft tot gevolg dat bij de toplagen op het zavelprofiel de drukhoogte van de toplagen toeneemt. De afvoer van water is geringer geworden bij deze lagere drainageintensiteit. Het effect is gering omdat het een kleine daling in drainageintensiteit betreft.

Bij de toplagen op het kleiprofiel, waarbij de drainageintensiteit is gehalveerd van 0,022 naar 0,010 (dag^{-1}), is de drukhoogte niet of nauwelijks veranderd. Dit is het gevolg van de geringe of slechte onverzadigde doorlatendheid van het profiel. Ondergronden met een geringe onverzadigde doorlatendheid reageren het minst op drainagemaatregelen, terwijl deze gronden in feite het meest drainage behoeftig zijn. De invloed van de drainageintensiteit op de vochttoestand neemt af bij het verslechteren van de onverzadigde doorlatendheid van de ondergrond (VAN WIJK, 1980). Deze conclusie geldt ook voor dit onderzoek.

De veranderingen in de drukhoogte zijn van invloed op de stabiliteit van de toplaag. Een verlaging van de drainageintensiteit van het zavelprofiel heeft een daling van de stabiliteit tot gevolg. Op het kleiprofiel is geen aantoonbaar verschil in de stabiliteit van de toplagen aanwezig bij een verlaging van de drainageintensiteit van 0,022 naar 0,010 (dag^{-1}).

Om toch de natte omstandigheden van de toplaag te verbeteren kan men de dikte van de toplaag en daarmee de waterberging in de toplaag vergroten. In dit onderzoek is hier niet op ingegaan. VAN WIJK (1973) heeft een uitgebreid onderzoek verricht naar de benodigde dikte van de toplaag. De benodigde dikte van de toplaag is afhankelijk van de neerslagintensiteit, de afvoer- en opvangcapaciteit van de toplaag en ondergrond.

5.4.3 Conclusies

- Het verloop in de tijd van de drukhoogte van het bodemvocht in de toplaag varieert sterker naarmate de toplaag meer leem bevat en de ondergrond slechter doorlatend is.
- Naarmate het leemgehalte van de toplaag hoger is vertoont het verloop van de stabiliteit in de tijd sterkere fluctuaties. Onder natte omstandigheden is de stabiliteit laag en neemt bij uitdrogen veel sterker toe dan in geval van toplagen met een lager leemgehalte.

- Zand 5c, met een mediaan van de zandfractie van 167 en een leemgehalte van 12 gew. %, heeft de beste stabiliteit van de drie toplagen op alle drie profielen in alle drie perioden.
- Op basis van dit onderzoek kan niet gezegd worden of de zand 5c voldoende stabiel is. Veldonderzoek zal moeten uitwijzen bij welke indringingsweerstand van de toplaag het trainingsveld voldoende stabiel is. In vergelijking tot de benodigde indringingsweerstand voor grassportvelden (1,4 MPa) is de door zand 5c behaalde stabiliteit laag.
- De invloed van de ondergrond op de vochtomstandigheden en daarmee op de stabiliteit van de toplaag is groot en wel groter dan die ten gevolge van verschillen tussen toplagen onderling (zie Fig. 14). Toplagen op goed doorlatende zand- en zavelgronden verliezen hun stabiliteit slechts over zeer korte perioden. Toplagen op minder goed doorlatende gronden, zoals klei, zijn voortdurend te weinig stabiel. Uit het oogpunt van stabiliteit blijkt een leemhoudende toplaag op een zandondergrond het best te voldoen.
- Verbeteringsmogelijkheden van de stabiliteit door middel van drainage hangen voornamelijk af van de doorlatendheid van de ondergrond. Naarmate deze lager is, is drainage minder effectief.

6 AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK

Het organisch-stofgehalte is in dit onderzoek niet meegenomen. Omdat het wel van invloed is op de vochtkarakteristieken en stabiliteit van grond zal onderzoek gedaan moeten worden naar de invloed van het organisch-stofgehalte in samenhang met de mediaan en de gradatieindex van de zandfractie op de vochtretentiecurve, doorlatendheid en de stabiliteit van zanden, die als toplagen van trainingsvelden kunnen worden gebruikt.

De conclusies van dit onderzoek met betrekking tot de stabiliteit van de toplagen van onbegroeide trainingsvelden geven geen uitsluitel

over de mate van bespeelbaarheid van trainingsvelden, maar geven een vergelijking weer van de bespeelbaarheid van de toplaag van de verschillende toplaag/ondergrond combinaties. Om deze conclusies om te zetten in criteria met betrekking tot de bespeelbaarheid zal veldonderzoek naar de stabiliteit van toplagen van onbegroeide trainingsvelden moeten worden gedaan.

7 LITERATUUR

Anonymus. Handleiding KHCNTR (in voorbereiding).

BEUVING, J., 1979. Invloed van organische stof en lutum op de verdichtbaarheid en mechanische sterkte van zand. ICW nota 1076, Wageningen.

BEUVING, J., 1984. Vocht- en doorlatendheidskarakteristieken, dichtheid en samenstelling van bodemprofielen in zand-, zavel-, klei- en veengronden. Rapporten, nieuwe serie no. 10. ICW, Wageningen.

BOEKEL, P., F. Riem-Vis en A. Lahr-Renkema, 1980. Gebruik van zand bij aanleg en onderhoud van grassportvelden. Rapport no. 7-80, Instituut voor bodemvruchtbaarheid, Haren.

BOELS, D., J.B.H.M. van Gils, G.J. Veerman en K.H. de Wit, 1978. Theory and system of automatic determination of soil moisture characteristics and unsaturated hydraulic conductivities. Soil Science 126(4), pp 191-199.

BUITENDIJK, J., 1984. Flowex, een numeriek model voor simulatie van verticale stroming van water door onverzadigde gelaagde grond. ICW nota 1494, Wageningen.

KNAAP, W.C.A. van der, 1980. Bespeelbaarheid van grassportvelden met een duinzandbovengrond. Rapport Stiboka 1404, Wageningen.

KNMI. Regenwaarnemingen 1966, 1967, 1971, 1972, 1979, 1980. Rapport jaar 1967, 1968, 1973, 1980, 1981, De Bilt.

KRABBENBORG, A.J., J.N.B. Poelman en E. J. van Zuilen, 1983. Standaard-vochtkarakteristieken van zandgronden en veenkoloniale gronden. (2 dln). Rapport Stiboka 1680, Wageningen.

- WIJK, A.L.M. van, 1973. De extra bezandingsdikte nodig voor tijdelijke berging van water in de toplaag van sport- en recreatieterreinen. Cultuurtechnisch tijdschrift 13(3): pp 120-133. Verspreide overdrukken van het ICW, no. 153.
- WIJK, A.L.M. van, 1980. A soil technological study on effectuating and maintaining playing conditions of grass sportfields. Dissertatie, Wageningen.
- WIND, G., 1966. Capillary conductivity data estimated by a simple method. Water in the unsaturated zone. Symp. Proc. UNESCO/IASH. Verspreide overdrukken van het ICW, no 80, Wageningen.
- WIND, G. en W. van Doorne, 1975. A numerical model for the simulation of unsaturated vertical flow of moisture in soils. J. Hydrol. 24: pp 1-20.

BIJLAGE I ENKELE GEGEVENS VAN DE GEBRUIKTE ONDERGRONDEN IN DE
MODELSITUATIE (naar BEUVING, 1984)

Profielbeschrijving en samenstelling

Profiel 1 Plaats van bemonstering: Ederveen; top.kaart 32G; coördina-
ten W/O(x) 167.575 Z/N(y) 452.700

Omschrijving grondsoort: Laarpodzolgrond; zwak lemig fijn
zand; GT IV

Profiel 8 Plaats van bemonstering: Colijnsplaat; top.kaart 42G; coör-
dinaten W/O(x) 46.350, Z/N(y)
401.075

Omschrijving grondsoort: kalkrijke poldervaaggrond, zware
zavel, profielverloop 2; GT VII

Profiel 10 Plaats van bemonstering: Nieuw Beerta; top.kaart 8D; coör-
dinaten W/O(x) 273.300, Z/N(y)
579.650

Omschrijving grondsoort: Kalkrijke polder- tot nes-
vaaggrond; matig zware klei, pro-
fielverloop 4; GT IV.

hoofdbestanddelen																	
in % van de grond							in % van de minerale delen										MSD
diepte (cm-m)	hor.	CaCO ₃	humus	atslib- baar	tot. zand	<2	2-16	16-35	35-50	50-75	75-105	105-150	150-210	210-300	300-420	>420µm	
Profiel 1	48-90	C11	0,1	0,4	2,4	97,2	2,0	0,4	0,2	0,2	2,2	9,7	27,3	30,9	16,2	6,0	2,9 168
						<2	2-4	4-8	8-16	16-25	25-35	35-50	50-75	75-105	105-150	>150µm	
Profiel 8	29-55	C21	9,9	1,0	20,3	68,8	16,2	1,7	2,7	1,9	1,8	4,2	15,5	18,3	26,7	10,5	0,5 86
Profiel 10	34-56	C11g	1,7	2,2	77,7	18,4	51,6	6,1	9,4	13,7	7,7	3,6	4,1	8,7	0,6	0,8	1,7 139

Drukhoogte bodemvocht $h(\text{cm})$, volume fractie vocht $\theta(\text{cm}^3.\text{cm}^{-3})$ en onverzadigde doorlatendheid $k(\text{cm}.\text{d}^{-1})$

-h	pF	C11		C21		C11g	
		θ	k	θ	k	θ	k
0		0,360	57,91	0,478	83,88	0,540	109,6
3,16	0,5	0,277	37,59	0,401	21,58	0,519	8,511
10	1	0,233	4,155	0,377	1,074	0,509	0,09078
31,6	1,5	0,225	1,894	0,360	0,6561	0,497	0,008091
56,2	1,75	0,207	1,329	0,345	0,3802	0,488	0,003606
100	2	0,079	0,3028	0,316	0,02818	0,478	0,001905
177	2,25	0,030	0,001370	0,260	0,003589	0,468	0,001212
316	2,5	0,014	0,000178	0,222	0,000995	0,457	0,000776
562	2,75	0,008	0,000043	0,196	0,000480	0,446	0,000497
794	2,9	0,007	0,000018	0,182	0,000319	0,438	0,000380
1000	3	0,007	0,000010	0,173	0,000242	0,433	0,000318

BIJLAGE II NEERSLAGGEGEVENS DE BILT

jaar	januari			februari			maart			april			mei			juni		
1966	33 ⁷	3 ⁸	18 ⁴	51 ⁴	25 ⁹	18 ⁴	11 ⁸	23 ²	43 ⁸	23 ⁶	30 ⁸	18 ⁵	13 ⁰	1 ⁵	20 ⁸	0 ⁸	72 ⁶	66 ⁰
	55 ⁹			95 ⁷			78 ⁸			72 ⁹			35 ³			139 ⁴		
1967	32 ⁰	4 ⁵	17 ⁷	13 ⁰	10 ³	31 ⁹	2 ²	8 ³	45 ⁹	30 ¹	13 ²	6 ⁹	5 ⁷	22 ⁷	23 ¹	6 ³	5 ⁰	37 ⁷
	54 ²			55 ²			56 ⁴			50 ²			51 ⁵			49 ⁰		
1971	4 ²	4 ¹	46 ⁹	9 ⁶	27 ⁰	4 ⁷	8 ⁴	29 ⁷	10 ⁸	0 ³	8 ⁰	12 ¹	3 ⁵	56 ⁹	28 ²	0 ⁸	66 ⁸	25 ⁷
	55 ²			41 ³			48 ⁹			20 ⁴			88 ⁶			93 ³		
1972	8 ⁶	11 ⁶	28 ³	16 ¹	12 ¹	3 ⁸	10 ⁷	4 ³	16 ⁸	34 ³	21 ³	6 ⁸	16 ⁵	28 ⁰	36 ⁷	20 ¹	15 ⁹	31 ⁵
	40 ⁵			32 ⁰			31 ⁸			62 ⁴			81 ²			67 ⁵		
1979	17 ⁷	9 ⁰	31 ²	23 ³	27 ²	6 ⁶	36 ¹	29 ⁸	31 ⁶	17 ⁷	10 ⁸	51 ²	42 ¹	13 ⁰	65 ¹	44 ²	36 ⁷	11 ⁹
	57 ⁹			57 ¹			97 ⁵			79 ⁷			120 ²			92 ⁸		
1980	29 ²	-	21 ⁰	66 ⁹	4 ¹	1 ⁸	20 ²	31 ⁹	18 ⁷	37 ⁶	6 ⁹	11 ⁹	3 ³	-	16 ⁴	12 ²	31 ⁹	55 ⁵
	50 ²			72 ⁸			70 ⁸			56 ⁴			19 ⁷			99 ⁶		
juli	augustus			september			oktober			november			december			tot.		
19 ⁸	90 ³	72 ⁵	57 ³	77 ²	23 ³	11 ⁰	39 ¹	0 ²	29 ⁶	6 ³	16 ²	24 ²	45 ⁵	50 ⁵	68 ²	66 ⁸	36 ⁶	
	182 ⁶			88 ³			50 ³			52 ¹			120 ²			171 ⁶		
3 ⁹	8 ⁹	7 ⁵	30 ⁷	62 ¹	0 ⁴	33 ¹	44 ⁵	12 ¹	25 ⁶	35 ⁴	27 ²	57 ⁵	11 ¹	50 ⁸	31 ³	19 ⁷	77 ⁶	
	20 ³			93 ²			89 ⁷			80 ²			119 ⁴			128 ⁶		
0 ¹	0 ³	24 ²	12 ²	10 ⁴	17 ⁸	0 ⁷	0 ³	23 ⁴	0 ⁴	18 ¹	0 ⁹	11 ⁷	21 ³	38 ²	6 ⁰	6 ⁶	21 ⁴	
	24 ⁶			40 ⁴			24 ⁴			19 ⁴			71 ²			34 ⁰		
15 ⁴	4 ⁶	51 ⁴	34 ⁴	23 ⁵	2 ³	19 ⁷	18 ⁰	1 ³	0 ³	2 ⁵	31 ²	13 ²	46 ⁴	25 ⁵	17 ⁶	3 ⁶	-	
	101 ⁴			60 ²			39 ⁰			34 ⁰			85 ¹			21 ²		
7 ¹	9 ⁷	16 ⁵	26 ²	6 ³	25 ⁰	12 ²	11 ¹	5 ¹	2 ⁵	35 ⁸	3 ⁶	62 ⁶	13 ¹	2 ⁰	31 ³	51 ¹	46 ⁴	
	33 ³			57 ⁵			28 ⁴			41 ⁹			77 ⁷			128 ⁸		
72 ⁹	62 ⁰	12 ⁸	2 ⁷	33 ⁵	26 ³	8 ³	31 ⁴	2 ⁷	37 ⁵	15 ⁶	31 ⁸	9 ⁹	41 ⁸	31 ⁰	27 ⁵	43 ⁷	16 ⁹	
	147 ⁷			62 ⁵			42 ⁴			84 ⁹			82 ⁷			88 ¹		
																86 ³		

x		
a	b	c
	d	

a = totale hoeveelheid neerslag 1e dekade van maand x
b = totale hoeveelheid neerslag 2e dekade van maand x
c = totale hoeveelheid neerslag 3e dekade van maand x
d = totale hoeveelheid neerslag maand x

Alle neerslaghoeveelheden zijn weergegeven in millimeters.

