

NN31545.1910



nota

— instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding . wageningen —

LEEFLAAG CONSTRUCTIES OP HAVENSLIB-DEPOTS  
Een kolommen experiment

R. Wiebing en ir. D. Boels

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, 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



21 DEC. 1988

JSN 200060 \*

## INHOUD

	Blz.
1. INLEIDING	1
2. EXPERIMENTELE OPZET	3
3. RESULTATEN	5
3.1. Gewasontwikkeling	5
3.2. Verloop van vochtspanning in wortelzone	7
3.3. Beworteling	9
3.4. Vochtverbruik	10
3.5. Bromideverplaatsing vanuit havenslib	12
4. CONCLUSIES	15
LITERATUUR	18
BIJLAGEN	

## 1 . INLEIDING

In de Allemans polder is een terrein van ca. 11 ha opgehoogd met ca. 4 m havenslib. Hierin is een matig functionerend drainage systeem aangelegd voor de afvoer van het neerslagoverschot.

De top laag is tot een diepte van ongeveer 1 m gerijpt. Het terrein wordt gebruikt voor de akkerbouw.

Uit analyses is gebleken dat de geteelde gewassen te hoge concentraties verontreinigingen bevatten. Op grond daarvan is de teelt van voeder- en voedsel gewassen ontraden/verboden. Voortzetting van de huidige gebruiksvorm is toegestaan, mits er maatregelen worden getroffen, die opname van verontreinigingen door gewassen voorkomen. Kenmerk van de maatregel moet zijn dat het neerslagoverschot gecontroleerd kan worden afgevoerd, terwijl de in water opgeloste verontreiniging niet door capillaire opstijging tot in de wortelzone komt. Veiligheidshalve zou het front van de verontreiniging ruim onder de wortelzone moeten blijven. De vochtvoorziening van het gewas moet echter in voldoende mate zijn gewaarborgd.

Gedacht is een afdeklaag op het havenslib aan te brengen die de voornoemde kenmerken heeft. Zo'n afdeklaag dient aan de navolgende criteria te voldoen:

1. de hoeveelheid beschikbaar vocht voor de gewassen moet minstens 150 mm zijn. In een gemiddeld jaar is het verschil tussen de potentiële verdamping van een gemiddeld gewas en de neerslag 70 - 100 mm in de periode 1 april tot 1 september. In een zeer extreem jaar (b.v. 1976) is dit verschil, rekening houdend met dan optredende verdampingsreducties, 145 - 175 mm (basis gegevens ontleend aan DE BRUIN, 1982). Deze hoeveelheid is deels direct beschikbaar in de wortelzone zelf en deels is zij afkomstig uit bodemlagen onder de wortelzone en wordt capillair aangevoerd;
2. de afstand vanaf de onderzijde van de wortelzone tot de bovenzijde van het havenslib, moet zodanig zijn dat het van hieruit capillair opstijgend water nooit in de wortelzone komt. Hierbij dient te worden bedacht, dat in relatief droge zomers deze capillaire aanvoer groter is dan in relatief natte zomers;

Er kunnen verschillende alternatieve constructies voor de afdeklaag worden ontworpen. De bruikbaarheid van elk alternatief kan op twee manieren worden getoetst. De ene manier is door experimenteel onderzoek, de andere is door het uitvoeren van simulaties met beschikbare modellen (b.v. de ICW-programma's FLOWEX en SWATRE). De laatste manier is bruikbaar indien er voldoende inzicht bestaat in de bewortelingsmogelijkheden van de voorgestelde afdeklaag. In dat geval dienen alleen nog de relevante bodemfysische grootheden te worden bepaald. Bestaat echter dit inzicht niet of slechts onvolledig, dan is experimenteel onderzoek noodzakelijk. In het geval van de Allemans polder is dit laatste aan de orde.

In opdracht van het advies bureau BKH te Den Haag is een kolommenproef uitgevoerd met alternatieven voor afdekkingen van het havenslib-depot. De beproefde afdeklaag constructies omvatten een toplaag (diktes: 0,4 m; 0,8 m en 1,0 m), en een tussenlaag (zeezand, diktes: 0,0 m; 0,4 m en 0,8 m). Deze tussen laag mag niet of slechts tot zeer beperkte diepte bewortelbaar zijn. Beworteling kan op twee manieren onmogelijk worden gemaakt. De ene manier is de mechanisch weerstand zodanig groot te maken dat deze belemmerend werkt op wortelontwikkeling.

Bij zandgronden met geen of slechts zeer weinig organische stof wordt dit gerealiseerd door het poriënvolume geringer te maken dan 40% (droog volume gewicht  $> 1600 \text{ kg/m}^3$ ).

Een tweede manier om beworteling te remmen is door de zuurstoftoevoer te verhinderen. Dit laatste lukt in het algemeen alleen wanneer de grond vrijwel verzadigd blijft met water. In de proef zijn twee verschillende dichtheden in de tussenlaag beproefd.

Als vervanger voor de in water opgeloste verontreiniging dient een bromide oplossing. Hiermee is het havenslib vooraf verzadigd.

Als test gewas is zomertarwe (Minaret) gekozen. De kolommen zijn in een kas geplaatst waar de temperatuur rond de 20-25°C is gehandhaafd. Een relatief droog jaar is gesimuleerd. Daartoe zijn de kolommen aan het begin van het groeiseizoen op veldcapaciteit gebracht en vervolgens is gedurende het groeiseizoen de onderzijde van de wortelzone op een vochtspanningen gehouden, die een vrijwel continue capillaire opstijging vanuit de havensliblaag garandeert.

De kolom experimenten zijn in drievoud uitgevoerd.

## 2. EXPERIMENTELE OPZET

Het materiaal voor de afdeklaag is afkomstig uit een bouwput te Spijkenisse en is heterogeen van samenstelling: resten veen, zware klei en zand met een fijnkorrelige textuur. Dit materiaal is nauwelijks gemengd, het kwam naast elkaar voor in overwegend grote brokken. Voor toepassing in het kolomexperiment is het gehomogeniseerd en de oorspronkelijke zeer grote aggregaten zijn aanmerkelijk verkleind.

Het materiaal voor de tussenlaag is afkomstig van een zanddepot op de Maasvlakte en was onvoldoende ontzilt. Het zand is zo vaak gespoeld, tot de chlorideconcentratie onder de 4,0 Meq/l lag.

Het havenslib is afkomstig van de gerijpte top laag in de Allemans polder. Alle grondsoorten komen uit gebieden waar verstoven zeewater met westelijke winden is aangevoerd. Daar zeewater van nature bromide bevat zullen ook de voornoemde gronden bromide bevatten. Deze is vooraf bepaald.

Met het voornoemd voorbereikt materiaal zijn potten met een diameter van 0,3 m en lengte 1,5 m gevuld. De kolomopbouw is weergegeven in tabel 1.

De varianten in dichtheden van het zeezand zijn in de proef opgenomen omdat ervan wordt uitgegaan, dat de laag zeezand in slechts enkele werkgangen met een bulldozer zal worden aangebracht. Gelet op vroegere resultaten van verdichtingsproeven lijkt het niet waarschijnlijk dat dan een dichtheid wordt verkregen die beworteling onmogelijk maakt (BOELS, e.a., 1982).

In elke kolom is in de onderzijde van de top laag, een tensiometer aangebracht voor het meten van het vochtspanningsverloop.

Tabel 1. Opbouw kolommen, diameter 0,3 m

variant	kolom nrs	laagdiktes (CM)			
		drainlaag	havenslib	zeezand	toplaag
1	10, 11, 12	25	20	0	100
2	4, 5, 6	5	20	40 (rel. los)	80
3	7, 8, 9	5	20	40 (rel. dicht)	80
4	1, 2, 3	5	20	80 (rel. los)	40

Het vochtgehalte van het materiaal tijdens het vullen van de kolommen is: top laag 24,5%, zeezand 10,5% en havenslib 33,2%. De percentages zijn ten opzichte van de droge grond (zgn. A-cijfers). Het vochtgehalte van het zeezand in de cilind ers 5 en 8 was 11,4% en van de top laag 26,3% in de cilinders 10,11 en 12. De gerealiseerde droog volumegewichten in de verschillende lagen zijn: top laag 1190 kg/m<sup>3</sup>, zeezand 1475 en 1675 kg/m<sup>3</sup> en havenslib 1010 kg/m<sup>3</sup>. Voor de top laag is een dichtheid aangehouden, die zal bestaan gedurende de eerste jaren na het aanbrengen. Gedurende het gebruik zullen er extra verdichtingen onder de bouwvoor ontstaan (zgn. ploeg-zool). De dichtheid van de laag zeer humeuze havenslib geldt voor een vrijwel verzadigde toestand. Bij vochtonttrekking gaat dit slib krimpen en krijgt een dichtheid, die aanmerkelijk groter is. Nadat de laag havenslib in de kolommen is aangebracht, is per kolom 2,0 l van een bromide oplossing (3,57 gr KBr per l) toegevoegd. Deze laag is daardoor vrijwel verzadigd met water. Daarmee is een beginconditie verkregen, die vergelijkbaar is met een toestand waarin zich een grondwater spiegel bevindt op ca. 0,1 m beneden de bovenzijde van de laag havenslib.

Gedurende de proef is geen water vanonder af toegediend. Direct na het gereedkomen is per kolom 1,0 l voedingsoplossing toegevoegd. Deze is gebaseerd op: 120 kg zuivere stikstof, 100 kg zuivere fosfaat en 180 kg K<sub>2</sub>O per ha. De kolommen 1, 2 en 3 hebben op 12 augustus nog een aanvullende stikstofbemesting ontvangen, gebaseerd op 26 kg zuivere stikstof per ha. Op 8 juli is de tarwe ingezaaid. Per kolom zijn 35 zaden ingebracht. De kolommen zijn afgedekt met plastic om een optimaal kiemklimaat te bevorderen. Op 10 juli staken de kiemen boven de grond en de plastic afdekking is verwijderd op 12 juli.

De kolommen hebben daarop een hoeveelheid water toegediend gekregen, waardoor een vochtevenwichtssituatie is gerealiseerd. Vervolgens is steeds een hoeveelheid water gegeven, waarbij de vochtspanning onderin de laag teelaarde vrij hoog is gebleven. Het verloop van de gewasontwikkeling is gemeten als gemiddelde gewashoogte.

Voor nadere risico analyses is op verzoek van BKH aan een drietal zeezand-monsters de vochtretentiecurve en de onverzadigde doorlatendheid als functie van de vochtspanning bepaald volgens de verdampings methode. (zie BOELS et al., 1978). Deze bepaling is geldig in het vochtspanningstraject tot ca. 700 mB.

### 3. RESULTATEN

#### 3.1. GEWASONTWIKKELING

De gewasontwikkeling is op alle kollommen gemeten als het verloop van de gewashoogte. Deze is op alle kolommen tot ca. 20 augustus nagenoeg gelijk geweest. Wel is er een verschil in het aantal halm dragende stengels. Op de kollommen 10 tot en met 12 is dit aantal duidelijk groter. Tabel 2 laat de gewasontwikkeling zien (zie ook foto 3.1.1 en 3.1.2).

Tabel 2. Gewasontwikkeling op de kolommen

datum	aantal dagen na inzaai	gemiddelde gewashoogte	opmerkingen
<b>Juli</b>			
8	0	0	ingezaaid
10	2	0	opkomst
12	4	4	
15	7	12	
18	10	18	
22	14	28	
28	20	33	
<b>Augustus</b>			
1	24	36	
3	26	38	
5	28	40	
8	31	43	
9	32	44	
12	35	50	
15	38	56	aren zichtbaar
16	39	60	aren vrijwel tevoorschijn
19	42	64	bloei
24	47	77	kol. 10 t/m 12: 81 cm
			kol. 1 t/m 3: veel dood blad
29	52	onveranderd	kol. 1 t/m 3 lijden aan droogte
			kol. 4 t/m 9 slap, voor ¼ dood

Tabel 2 (vervolg)

datum	aantal dagen na inzaai	gemiddelde gewashoogte	opmerkingen
<b>September</b>			
1	55	onveranderd	kol. 10 t/m 12 nog groen
5	59	onveranderd	kol. 1 t/m 3, ~0% levend blad kol. 4 en 5, 10% levend blad kol. 6, 20% levend blad kol. 7, 15% levend blad kol. 8 en 9, 10% levend blad kol. 10 en 12, 50% levend blad kol. 11, 60% levend blad
<b>Oktober</b>			
5	80	onveranderd	oogst

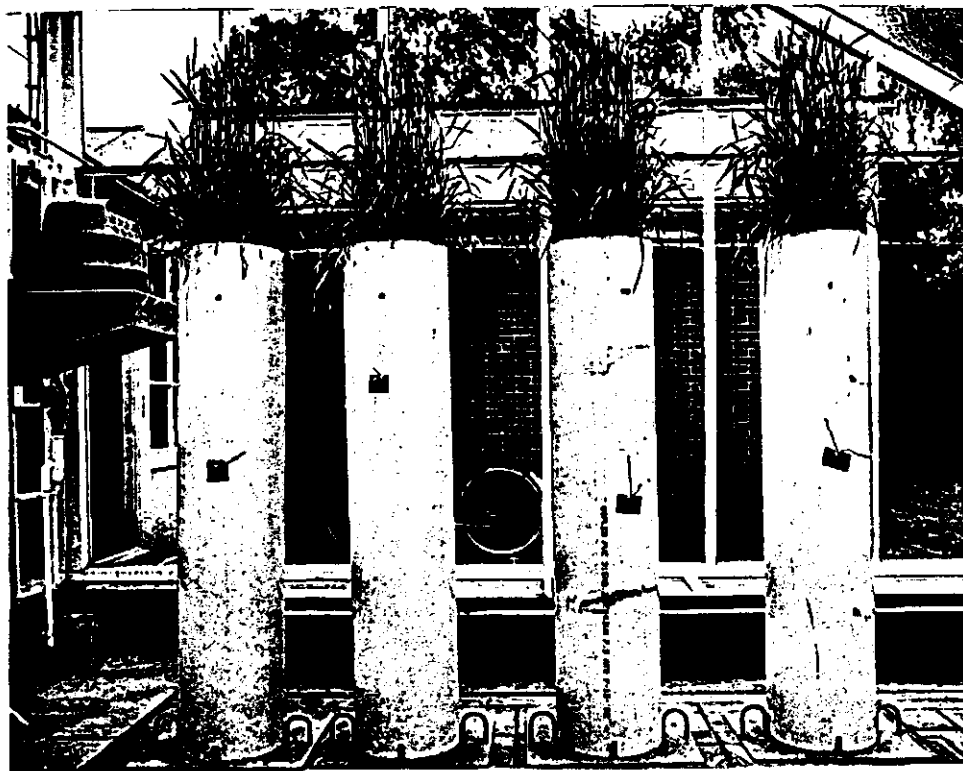


Foto 1. Opname kolommen d.d. 19 augustus



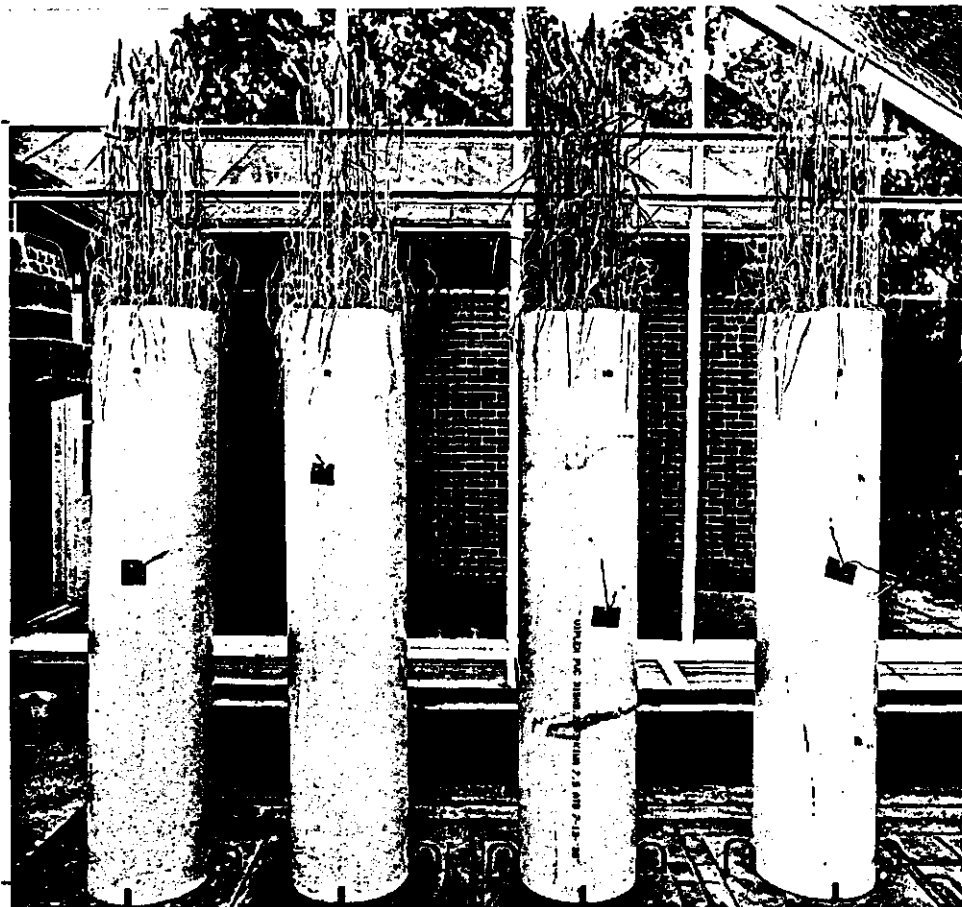


Foto 2. Opname kolommen d.d. 7 september

### 3.2. VERLOOP VAN VOCHTSPANNING IN WORTELZONE

Het verloop van de vocht toestand is gemeten als vochtspanning onderin de laag teelaarde. De vochtspanning wordt uitgedrukt als een onderdruk ten opzichte van atmosferische druk in millibar. Het verloop is weergegeven in tabel 3.

De metingen in tabel 3 hebben betrekking op metingen die zijn verricht, ongeveer een halve dag nadat water is toegediend. De kolommen zijn in een aantal stappen op veldcapaciteit gebracht. Na 19 augustus is geen water meer gegeven en heeft het gewas de grond tot verwelkingspunt kunnen uitdrogen. Bij de interpretatie van de gemeten vochtspanningen dient bedacht te worden, dat deze niet op de zelfde dieptes zijn gemeten: bij de kolommen 1 tot en met 3 op 0,35 m onder het oppervlak, bij de kolommen 4 tot en met 9 op 0,60 m en bij de kolommen 10 tot en met 12 op 0,70 m. De vochtspanningen op die dieptes in een toestand waarbij de onderkant van het havenslib juist is verzadigd en er geen opwaartse of neerwaartse stroming bestaat, is: bij

Tabel 3. Gemeten vochtspanningen (mB) in de onderkant van de toplaag, een halve dag na watergift

datum	gemeten vochtspanning in kolom											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Juli</b>												
19	220	190	203	353	360	350	338	329	373	230	260	230
22	229	183	197	322	320	305	295	279	283	209	238	210
25	252	151	197	327	338	325	315	308	340	218	250	220
26	40	32	32	292	215	239	292	289	322	204	227	184
26	42	34	36	16	15	23	20	20	20	13	17	12
28	73	56	68	43	44	45	45	45	45	35	40	33
29	128	106	100	52	53	51	52	55	53	41	46	40
<b>Augustus</b>												
1	726	753	729	75	83	77	77	83	78	54	61	52
3	830	870	832	123	171	150	147	142	150	77	76	65
5	865	d	d	455	747	690	595	570	603	195	117	105
8	965	d	d	840	730	785	825	325	845	815	455	485
9	d	380	d	145	315	d	103	d	795	850	585	640
12	d	d	d	d	d	d	d	d	d	750	775	825
13	665	515	505	625	545	535	605	655	470	620	720	605
15	690	410	330	420	295	205	445	390	348	375	565	345
16	d	d	580	d	d	650	745	d	610	d	735	d
19	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	787	d

d = tensiometer doorgeslagen, dan vochtspanning > 850 mB

de kolommen 1 tot en met 3: ~ 105 mB, bij de kolommen 4 tot en met 9 ~ 80 mB en bij de kolommen 10 tot en met 12: ~ 50 mB. Wanneer zo'n toestand bestaat wordt gesproken van veldcapaciteit. Hoewel theoretisch denkbaar, praktisch wordt die toestand nooit gerealiseerd, hooguit benaderd en dan nog slechts gedurende korte tijd. Vochtspanningen lager dan de evenwichtswaarde, duiden op neerwaartse stroming. Hogere waarden daarentegen wijzen op een opwaartse stroming. Men krijgt pas definitief uitsluitsel over de stromingsrichting indien ook de vochtspanning in de onderzijde van de laag havenslib bekend is. Deze is echter, conform de opdracht, niet gemeten. Uit de vochtspanningsmetingen wordt duidelijk, dat in de periode na 26 juli de grond geleidelijk steeds verder is uitgedroogd.

## 3.3. BEWORTELING

N. afloop van het experiment zijn de kolommen overlans doorgezaagd. De ene helft is gebruikt voor de verschillende bemonsteringen (t.b.v vocht en bromide), de andere helft voor de beoordeling van de beworteling. Deze beoordeling houdt in dat de bewortelingsdiepte is vastgesteld en een beoordeling van de bewortelingsintensiteit is gemaakt. Tabel 4 bevat de beoordelingsresultaten (zie ook de foto).

Gebleken is dat de laag teelaarde in alle kolommen volledig en intensief is beworteld. In de kolommen 1 tot en met 3 is van de laag zeezand de bovenste helft intensief beworteld. De onderste helft daarentegen is niet beworteld. In de kolommen 4 tot en met 9 is de laag zeezand, behalve in de bovenste paar centimeters niet beworteld. Er is geen verklaring te geven voor het ontbreken van beworteling in de relatief losse zandlaag in de kolommen 4 tot en met 6. Evenzo geldt dit voor de onderste 35 à 38 cm zeezand in de kolommen 1 tot en met 3. De laag havenslib in de kolommen 10 tot en met 12 daarentegen is intensief beworteld. Het bewortelingspatroon heeft invloed op de vochtonttrekking uit de bodem. Eveneens bepaald zij de kans op het opnemen van verontreiniging uit de laag havenslib.

Tabel 4. Beoordeling beworteling van de kolommen

kolom	bewortelingsdiepte (cm)	mate van beworteling van de lagen		
		teelaarde	zeezand	havenslib
1 t/m 3	83	intensief volledig	in 43 cm intensief	niet
4 t/m 6	83	intensief volledig	in 2 cm intensief	niet
7 t/m 9	83	intensief volledig	in 2 cm intensief	niet
10 t/m 12	120	intensief volledig	nvt	intensief volledig

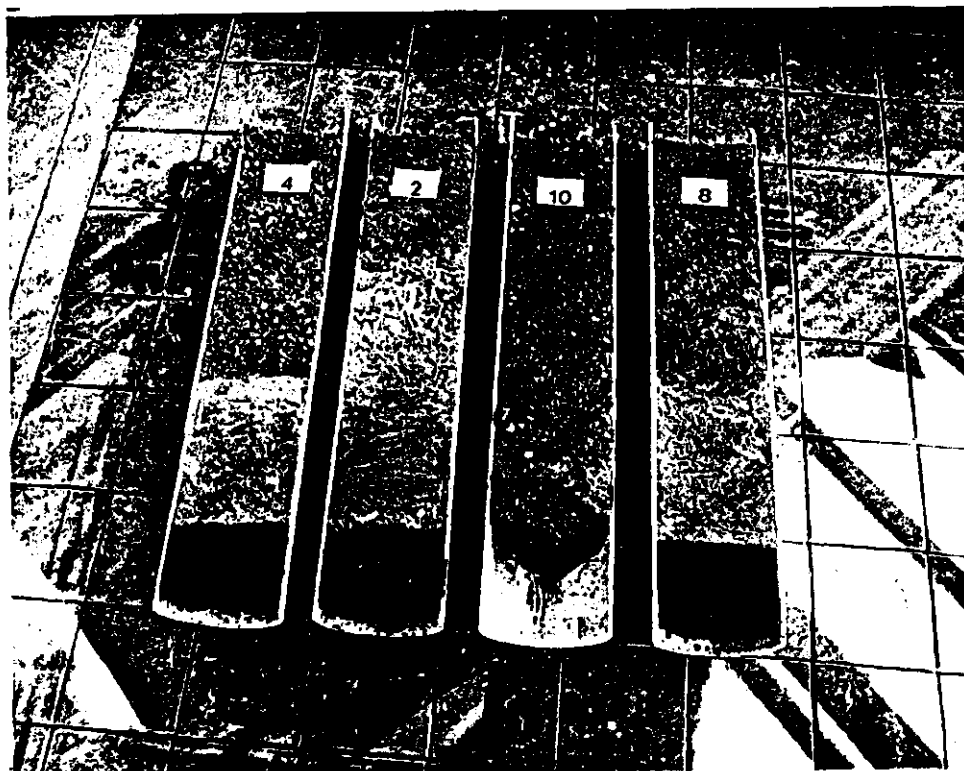


Foto 3. Opname dwarsdoorsnede kolommen einde experiment

#### 3.4. VOCHTVERBRUIK

Het vocht verbruik door het gewas is bepaald als de hoeveelheid vocht die aan het begin van het experiment aanwezig was, vermeerderd met de totale hoeveelheid toegediend water en verminderd met de hoeveelheid vocht die aan het einde van het experiment nog in de bodem aanwezig is. Alle hoeveelheden zijn als volumes per eenheid van oppervlakte weergegeven (zie tabel 5). Het vochtverbruik is, behalve in de kolommen 10 tot en met 12, vrijwel gelijk. Het groter vochtverbruik in deze laatste groep is mogelijk geweest, doordat de plantenwortels hier tot in de laag havenslib zijn door gedrongen en deze laag effectief hebben uitgedroogd. De bewortelingsdiepte in de overige kolommen is vrijwel gelijk. De beschikbare hoeveelheid vocht in zeezand is geringer dan in de teelaarde. Dit verklaart de grotere water gift in de kolommen 1 tot en met 3, vergeleken met de overige. De geringere gewasproductie op de kolommen 1 tot en met 3, vergeleken met de produktie op de kolommen 4 tot en met 9, is waarschijnlijk geen gevolg van nutriënten

Tabel 5. Vochtverbruik en produktie bovengrondse delen

kolom	bodemaag	vochtinhoud		water gift (mm)	totaal kolom (mm)	productie gewas (kg ds/m <sup>2</sup> )	gemiddeld	
		begin (mm)	eind (mm)				vocht- gebruik	gewas- prod.
40 cm teelaarde op 80 cm zand op 20 cm havenslib							416	1.135
1	teelaarde	117	44	273	421	1.147		
	zeezand	124	27					
	havenslib	67	89					
2	teelaarde	117	45	273	408	1.174		
	zeezand	124	26					
	havenslib	67	102					
3	teelaarde	117	42	273	419	1.084		
	zeezand	124	26					
	havenslib	67	94					
80 cm teelaarde op 40 cm zand (rel. los) op 20 cm havenslib							408	1.399
4	teelaarde	233	93	249	407	1.396		
	zeezand	62	20					
	havenslib	67	91					
5	teelaarde	233	91	249	412	1.435		
	zeezand	66	22					
	havenslib	67	90					
6	teelaarde	233	92	249	406	1.365		
	zeezand	62	25					
	havenslib	67	88					
80 cm teelaarde op 40 cm zand (rel. dicht) op 20 cm havenslib							409	1.366
7	teelaarde	233	91	249	408	1.339		
	zeezand	70	30					
	havenslib	67	90					
8	teelaarde	233	90	249	407	1.363		
	zeezand	75	34					
	havenslib	67	93					
9	teelaarde	233	89	249	411	1.397		
	zeezand	70	30					
	havenslib	67	89					
100 cm teelaarde op 0 cm zand op 20 cm havenslib							469	1.903
10	teelaarde	309	128	249	469	1.982		
	zeezand	0	0					
	havenslib	67	27					
11	teelaarde	309	129	249	463	1.760		
	zeezand	0	0					
	havenslib	67	32					
12	teelaarde	309	122	249	474	1.968		
	zeezand	0	0					
	havenslib	67	28					

deficiëntie, maar is mogelijk veroorzaakt doordat de vochtstressduur hier wat langer is geweest dan in de overige kolommen. De assimilatie wordt gereduceerd onder invloed van ernstige vochttekorten. Soms kan dit zelfs leiden tot het afsterven van wortels en wortelharen. Wordt na een periode van vochttekort weer water toegediend, dan worden nieuwe wortels en wortelharen gegenereerd. Dit gaat echter ten koste van de produktie van de bovengrondse delen. De extra gewas produktie op de kolommen 10 tot en met 12 moet zeer waarschijnlijk worden toegeschreven aan een nog kortere duur van vochttekort.

De vochttoestand van de verschillende lagen aan het begin van het experiment, wijkt niet veel af van de veldcapaciteit. Aan het eind van het experiment zijn de lagen in de wortelzone nagenoeg op het verwelkingspunt. De voor de planten beschikbare hoeveelheid vocht per bodemlaag kan gelijk worden gesteld aan het verschil tussen de vochtinhoud aan het begin en het eind van het experiment.

### 3.5. BROMIDEVERPLAATSING VANUIT HAVENSLIB

De kans dat opgeloste verontreiniging door het gewas wordt opgenomen is gelijk aan de kans dat er opgeloste verontreiniging tot in de wortelzone wordt gevoerd, dan wel dat de wortels doordringen tot in de verontreinigde laag. Zonder verdere vaststelling van de bromideconcentraties in de verschillende bodemlagen in de kolommen 10 tot en met 12, kan uit de bewortelingswaarnemingen worden afgeleid, dat het gewas potentieel verontreinigingen kan opnemen op bodemprofielen met een opbouw analoog aan die in de voornoemde kolommen. De bromidegehalten in de verschillende bodemlagen zijn bepaald als een hoeveelheid bromide per 1000 gram droge grond. Van het uitgangsmateriaal is het "natuurlijke" gehalte bepaald. Wanneer de gehalten in de bodemlagen na het experiment significant groter zijn dan ervoor, mag aanvoer van buiten de bedoelde laag worden aangenomen.

Tabel 6 laat de resultaten van de bromide analyses zien.

Uit tabel 6 blijkt, dat er in de kolommen 1 tot en met 9 bromide vanuit het havenslib naar de zeezandlaag is gestroomd. Het capillaire transport door de laag zeezand is zodanig gering geweest, dat er geen bromide tot in de wortelzone is gestroomd. De gehalten zijn daar alle lager dan de achter-

Tabel 6. Bromide hoeveelheden in bodemlagen (MgBr per 1000 gr droge grond) aan het eind van het experiment

Kolom	Havensliblaag	Zeezand		Teelaarde		
		onder	boven	onder	20 cm boven onderzijde	40 cm boven onderzijde
40 cm teelaarde op 80 cm zand op 20 cm havenslib						
1	60.9	3.6	0.0	0.0	n.v.t.	n.v.t.
2	54.6	3.9	0.0	1.5	n.v.t.	n.v.t.
3	35.3	1.7	0.6	0.0	n.v.t.	n.v.t.
80 cm teelaarde op 40 cm zand (rel. los) op 20 cm havenslib						
4	106.0	7.4	0.0	1.4	n.v.t.	n.v.t.
5	103.5	16.9	0.0	0.0	n.v.t.	n.v.t.
6	100.8	10.7	0.0	1.4	n.v.t.	n.v.t.
80 cm teelaarde op 40 cm zand (rel. dicht) op 20 cm havenslib						
7	108.7	17.7	0.7	0.7	n.v.t.	n.v.t.
8	104.7	12.8	0.0	0.0	n.v.t.	n.v.t.
9	109.3	13.3	0.0	0.0	n.v.t.	n.v.t.
100 cm teelaarde op 0 cm zand op 20 cm havenslib						
10	82.3	n.a.w.	n.a.w.	63.9	1.4	n.v.t.
11	87.1	n.a.w.	n.a.w.	49.5	n.v.t.	n.v.t.
12	85.3	n.a.w.	n.a.w.	63.3	3.4	1.6

n.v.t.: niet gemeten

n.a.w: deze laag ontbreekt

'Natuurlijke' gehalten: teelaarde ~ 1.5 MgBr/1000 gr droge grond

zand ~ 0.8 -

havenslib ~ 3.0 -

grondgehalten. In de kolommen 10 tot en met 12 daarentegen is er een significant transport van bromide vanuit de havensliblaag naar de teelaarde-laag opgetreden.

De relatief geringe hoeveelheid bromide in de laag havenslib in de kolommen 1 tot en met 3 lijken te laag. Verwacht werden hoeveelheden, die groter zijn dan die in de kolommen 4 tot en met 9 in de overeenkomstige laag, gelet op het geringer opwaarts capillair transport naar de zeezandlaag. Er is helaas geen afdoende verklaring voor deze afwijking gevonden.



#### 4. CONCLUSIES

Uit de resultaten kunnen een aantal conclusies worden getrokken:

a. betreffende de kans op opname van verontreinigingen door een gewas.

In het kolom experiment is een extreme situatie nagebootst met grote dagelijkse verdamping. Dit heeft geresulteerd in aanzienlijke capillaire fluxen vanuit de ondergrond. Onder normale condities zullen deze in veel beperktere mate voorkomen. Uit het kolommen experiment is gebleken, dat de laag teelaarde volledig bewortelbaar is. Dit geldt ook voor een laagdikte tot 1.0 m. Eveneens blijkt, dat de laag havenslib bij afwezigheid van een wortelremmende tussenlaag bewortelbaar is. Bij grote vochtonttrekking door het gewas is gebleken, dat er in alle gevallen transport van vocht en dus ook opgeloste verontreinigingen, optreedt vanuit de havensliblaag naar de bovenliggende bodemlaag. Is echter de wortelzone gescheiden van de havensliblaag met een zeezand tussenlaag van 0.4 m, dan blijft het front van het verontreinigd grondwater beneden de wortelzone. In dat geval is de kans op opname van verontreiniging door het gewas verwaarloosbaar.

Uit het experiment is gebleken dat een niet-verdichte laag zeezand wordt beworteld bij een teelaardelaag van 0,40 m.

De bewortelingsdiepte van de 0,8 m dikke laag zeezand gaat echter niet verder dan 0,4 m. Bij een laag teelaarde van 0,8 m dringen de wortels slechts enkele centimeters door in de niet-verdichte zeezandlaag.

Dit verschijnsel laat zich niet goed verklaren. Daardoor kan niet worden geconcludeerd, dat de laag zeezand moet worden verdicht. Het tegendeel kan echter evenmin worden geconcludeerd.

b. betreffende de hoeveelheid beschikbaar vocht.

Bij de berekening van de hoeveelheid beschikbaar vocht voor het gewas, mag in de teelaarde laag een volledige effectieve beworteling worden verondersteld. Er wordt aangenomen, dat in het experiment aan de laag teelaarde zoveel vocht is onttrokken, dat deze zich aan het einde van het experiment op het verwelkingspunt bevindt. Het verschil in vochtinhoud voor en na het experiment is minstens de hoeveelheid beschikbaar water. Voor de laag teelaarde is dit minstens 18%, oftewel 18 mm per

laag van 0,10 m. Voor zeezand is deze hoeveelheid minstens 10%, oftewel 10 mm per laag van 0,10 m. Voor deze laag moet een geringere hoeveelheid worden aangehouden indien de voorjaarsgrondwaterstanden beduidend dieper zijn dan ~ 1,30 m. In die gevallen lijkt het raadzaam te rekenen met 5 mm per 0,10 m bodemlaag.

Een bodemprofiel met weinig verdrogings risico's moet ca. 150 mm water kunnen leveren.

Het zeezand kan bij een relatief dikke laag teelaarde slechts een geringe hoeveelheid vocht leveren. Bovendien is de laagdikte beperkt van waaruit kan worden geleverd. Het lijkt dan ook raadzaam in dit geval de bijdrage van het zeezand aan de beschikbare hoeveelheid vocht te verwaarlozen. Het een en ander houdt in, dat de laag teelaarde minstens een dikte zou moeten hebben van 0,8 - 0,85 m. Indien de vochtvoorziening in een extreem droog jaar ook toereikend moet zijn, terwijl de capillaire aanvoer naar de wortelzone zeer beperkt blijft, zou een teelaarde laag van omstreeks 1,0 m overwogen kunnen worden.

- c. betreffende de representativiteit van het experiment. In het experiment is een droge periode gesimuleerd, die extremer lijkt dan het jaar 1976. Het capillair transport vanuit het havenslib zal onder gemiddelde omstandigheden veel geringer zijn. Op gemerkt zij, dat er helemaal geen capillair transport plaats vindt naar de zeezandlaag, indien er zich grondwater boven de laag havenslib zou bevinden.

Het bodem materiaal in het experiment is gehomogeniseerd zoveel als nodig is om aan schaalessen te voldoen. In werkelijkheid zal die mate van homogeniteit niet worden gerealiseerd. Uit het grondverbeteringsonderzoek op het ICW, waar effecten van het mengen van bodemlagen van verschillende samenstelling is onderzocht, blijkt dat indien alle componenten in het mengsel bewortelbaar zijn, de homogeniteit geen aantoonbare invloed heeft op het vochtleverend vermogen van de grond. De componenten van de teelaarde laag zijn bewortelbaar. Dit betekent, dat de resultaten van het experiment representatief zijn voor de praktijksituatie (zomer situatie).

- d. betreffende gewas reacties.

In het algemeen, waar de groeiomstandigheden niet veel verschillen is de opbrengst, bij een voldoende bemestingsniveau, binnen zekere grenzen lineair afhankelijk van de grootte van de verdamping. In het experiment

is de droge stofproductie deels beïnvloed door de plaats waar de kolommen in de kas hebben gestaan (lokale temperatuurs- en luchtvochtigheidsverschillen). Duidelijk blijkt, dat de droge stofproductie van de bovengrondse delen op de kolommen met een teelaarde laag van 1,0 m ca 38% meer dan is geweest dan op de kolommen met een teelaarde laag van 0,8 m. De verdamping daarentegen is slechts ca 15% meer geweest dan van de overige kolommen. Hieruit blijkt, dat ook de reeds eerder genoemde vochtstress een groter effect heeft op de opbrengst dan uit de verschillen in totale verdamping zou worden verwacht. Bij de keuze van de dikte van de aan te brengen laag teelaarde zou dit effect in de afweging betrokken moeten worden.

**LITERATUUR**

- BOELS, D., J.B.H.M VAN GILS, G.J. VEERMAN and K.E. WIT, 1987. Theory and system of automatic determination of soil moisture characteristics and unsaturated hydraulic conductivities. *Soil Sc.*, 126,4: 191-199.
- , D.B. DAVIES and A.E. JOHNSTON (eds), 1982. *Soil degradation*. Balkema Rotterdam.
- BRUIN, H.A.R., 1982. The energy balance of the earth surface: vertical approach. KNMI, Wetensch. Rapport WR 82-1, De Bilt.

**BIJLAGEN**

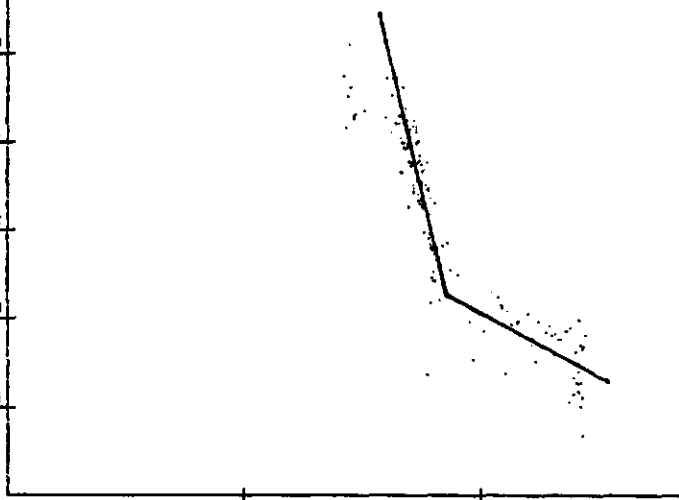
**VOCHTRETENTIECURVEN EN ONVERZADIGDE DOORLATENDHEIDSRELATIES VOOR ZEEZAND**

k (cm/day)

EXPERIMENT: 76  
ZAND VOL.GEW. 1,584

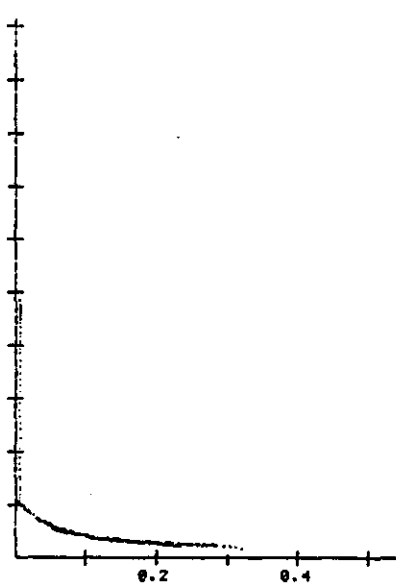
DATE: 01-NOV-88

10<sup>xx</sup> 1  
10<sup>xx</sup> 0  
10<sup>xx</sup> -1  
10<sup>xx</sup> -2  
10<sup>xx</sup> -3  
10<sup>xx</sup> -4



h (cm)

1000.  
800.  
600.  
400.  
200.



k (cm/day)

EXPERIMENT: 76  
ZAND VOL.GEW. 1,591

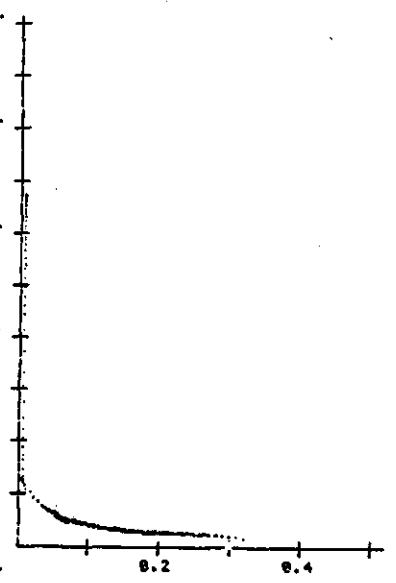
DATE: 02-NOV-88

10<sup>xx</sup> 1  
10<sup>xx</sup> 0  
10<sup>xx</sup> -1  
10<sup>xx</sup> -2  
10<sup>xx</sup> -3  
10<sup>xx</sup> -4



h (cm)

1000.  
800.  
600.  
400.  
200.

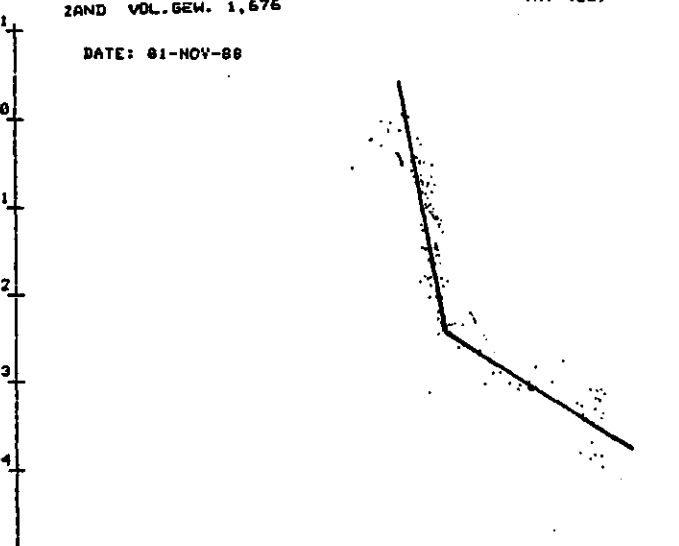


k (cm/day)

EXPERIMENT: 76  
ZAND VOL.GEW. 1,576

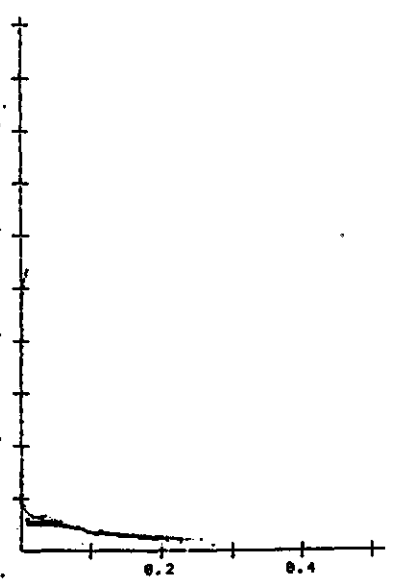
DATE: 01-NOV-88

10<sup>xx</sup> 1  
10<sup>xx</sup> 0  
10<sup>xx</sup> -1  
10<sup>xx</sup> -2  
10<sup>xx</sup> -3  
10<sup>xx</sup> -4



h (cm)

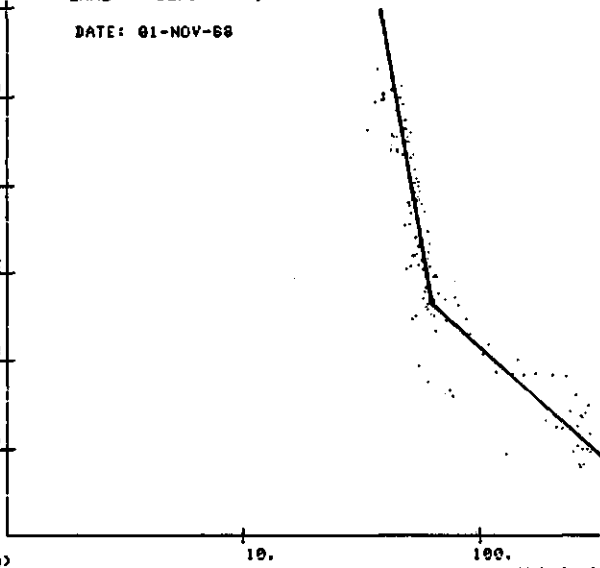
1000.  
800.  
600.  
400.  
200.



k (cm/day)

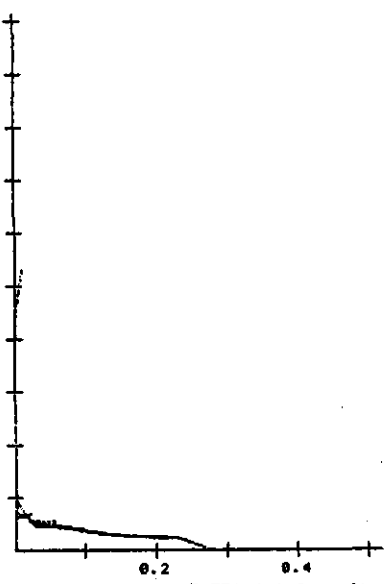
EXPERIMENT: 76  
ZAND VOL. GEW. 1,602  
DATE: 01-NOV-68

10<sup>xx</sup> 1  
10<sup>xx</sup> 0  
10<sup>xx</sup> -1  
10<sup>xx</sup> -2  
10<sup>xx</sup> -3  
10<sup>xx</sup> -4



|h| (cm)

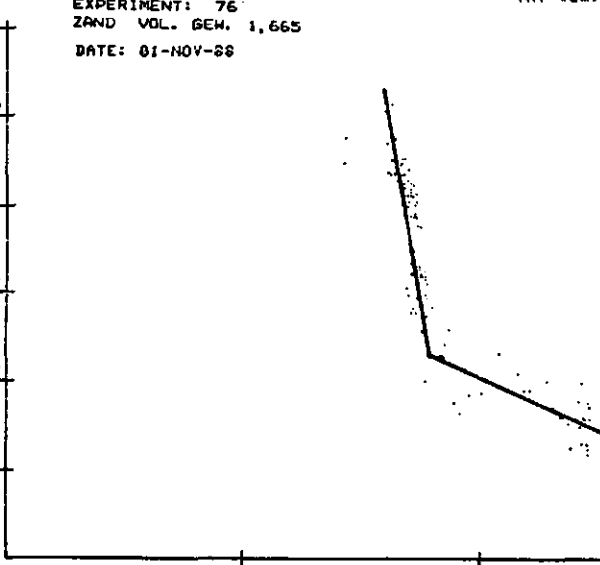
1000.  
800.  
600.  
400.  
200.



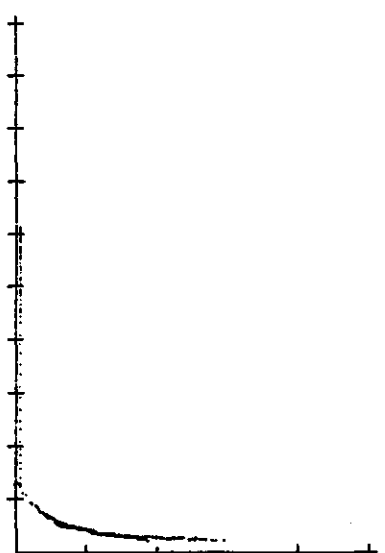
k (cm/day)

EXPERIMENT: 76  
ZAND VOL. GEW. 1,665  
DATE: 01-NOV-68

10<sup>xx</sup> 1  
10<sup>xx</sup> 0  
10<sup>xx</sup> -1  
10<sup>xx</sup> -2  
10<sup>xx</sup> -3  
10<sup>xx</sup> -4



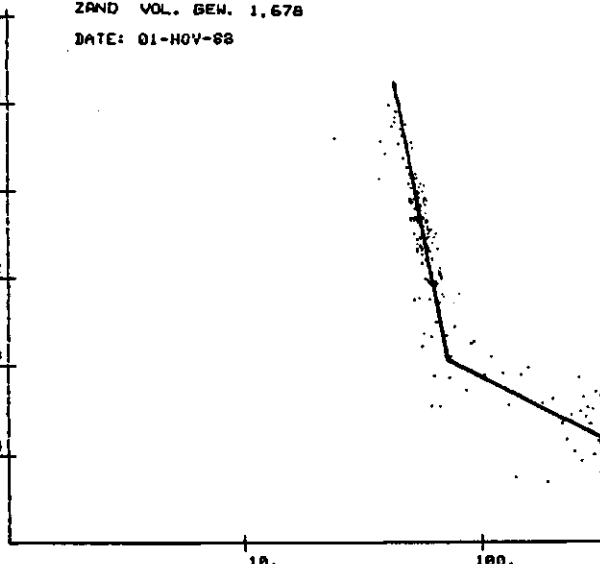
1000.  
800.  
600.  
400.  
200.



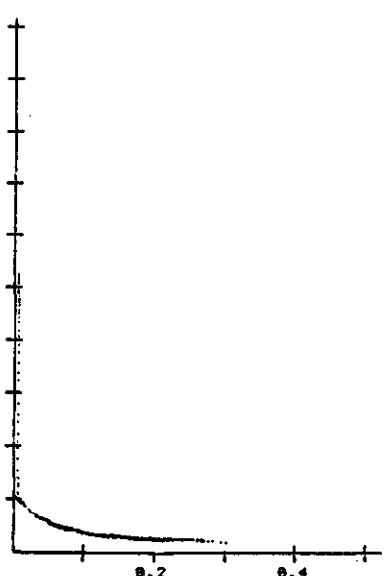
k (cm/day)

EXPERIMENT: 76  
ZAND VOL. GEW. 1,678  
DATE: 01-NOV-68

10<sup>xx</sup> 1  
10<sup>xx</sup> 0  
10<sup>xx</sup> -1  
10<sup>xx</sup> -2  
10<sup>xx</sup> -3  
10<sup>xx</sup> -4



1000.  
800.  
600.  
400.  
200.



|h| (cm)