

NN31545.0703

NOTA 703

17 oktober 1972

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding  
Wageningen

**BIBLIOTHEEK DE HAAFF**

Droevendaalsesteeg 3a  
Postbus 241  
6700 AE Wageningen

HET DIEPE DRAINAGE PROEFVELD TE HORNHUIZEN

Ir. D. Boels en R. Wiebing

BIBLIOTHEEK  
STARINGENBOUW

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemid-  
delen, 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.



CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS

0000 0672 7834

1708874

## VOORWOORD

Het diepe drainage proefveld te Hornhuizen is op initiatief van ir. G.P. Wind tot stand gekomen. De bedoeling ervan was de mogelijkheden van een diepe drainage als hulpmiddel bij de best rijding van verslemping te bestuderen. Daarvoor was inzicht nodig in het functioneren van de diepe drainage.

De proefboerderij Tammingaheerd stelde een perceel ter beschikking voor de aanleg van het proefveld. De Cultuurtechnische Dienst heeft de werkzaamheden in november 1968 laten uitvoeren door de Kon. Ned. Heidemaatschappij.

## I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
1.1. Beschrijving van het proefveld	3
1.2. Het meetprogramma	4
2. DE MEETRESULTATEN	4
2.1. De werking van de drains	4
2.2. Analyse van waarnemingen op het diepe drainage object	6
2.2.1. Keuze van de gegevens en van de periode	6
2.2.2. Berekening van $K_d$ , intree weerstand en totale drainage weerstand	7
2.2.3. Berekening van de bergingscoëfficiënt	10
2.3. Analyse van waarnemingen op het ondiep gedraineerd object	14
3. GEWASREACTIE	15
4. BENADERING VAN DE OPTIMALE DRAINAFSTAND	18
5. SAMENSTELLING EN KONKLUSIES	24
6. LITERATUUR	28

## LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN

K	verzadigde doorlatendheid	$m \text{ etm}^{-1}$
d	dikte equivalente laag	m
L	drainafstand	m
l	lengte drainreeks	m
Q	drainafvoer	$m^3 \text{ etm}^{-1}$
q	drainafvoer	$m \text{ etm}^{-1}$
$M_o$	opbolling grondwaterspiegel tussen twee drains	m
H(11)	grondwaterstand t.o.v. NAP, gemeten in buis 11	m
$\Delta h$	verschil in stijghoogte	m
$\alpha$	drainage intensiteit	$\text{etm}^{-1}$
$R_d$	totale drainage weerstand	etm
W	intree weerstand	$\text{etm m}^{-1}$
C	weerstand van het watervoerend pakket	etm
h	grondwaterstand t.o.v. drainniveau	m
D	diepte grondwater t.o.v. maaiveld	m
V	stroomsnelheid	$m \text{ sec}^{-1}$
v	kinematische viscositeit	$m^2 \text{ sec}^{-1}$
Re	getal van Reynolds	-
$\lambda$	wandruwheid	-
$\theta$	vochtgehalte	-
$\mu$	bergingscoëfficiënt	-
R	straal van de drain	m
u	natte omtrek	m
g	versnelling van de zwaartekracht	$m \text{ sec}^{-2}$
p	neerslag	$m \text{ etm}^{-1}$
t	tijd	etm
r	correlatie coëfficiënt	-

## INLEIDING

In sommige gebieden in het noorden van Groningen en Friesland stuit de kavelinrichting op een aantal problemen. Deze gebieden worden gekenmerkt door een mozaikverkaveling. Kruinige percelen (percelen waarvan de randen lager liggen dan het midden, de kruin) komen er overwegend voor. Perceelsvergroting en -aansluiting door slootdemping alleen, geeft grote percelen met laagten en ingesloten laagten. Op die percelen, waar ten gevolge van verslemping een deel van de neerslag oppervlakkig tot afstroming komt, bestaat de kans dat de laagten als vergaarbakken gaan fungeren. Daar de indringingssnelheid van water in een verslempte grond gering is zullen de laagten langdurig nat zijn. Vertraging in de voorjaarswerkzaamheden en uitwinteren van wintergranen zijn daarvan het gevolg.

Om de voordelen van perceelsvergroting niet door de nadelen verloren te doen gaan, moet getracht worden te voorkomen dat de laagten regelmatig onder water staan. Twee oplossingen van dit probleem zijn mogelijk. Een mogelijkheid is om het water in de laagten naar een put te laten stromen, van waaruit het naar een sloot wordt afgevoerd. Een andere oplossing is er voor te zorgen dat er geen neerslag over het oppervlak naar de laagten stroomt. De indringingssnelheid moet dan voldoende groot blijven. Dit is te bereiken door de verslemping te beteugelen.

Verslemping is het proces waarbij aggregaten stukgeslagen worden door regendruppels, waarna sedimentatie van het losgeslagen materiaal optreedt. Daardoor ontstaat een slecht doorlatende laag. EDWARDS en LARSON (1969) hebben aangetoond, dat vooral deze laag een afname van de oorspronkelijke indringingssnelheid bewerkstelligt. Uit een proefplekken onderzoek concludeert BOEKEL dat verslemping slechts in geringe mate optreedt wanneer de grondwaterstand dieper is dan 1 m be-

neden maaiveld. De kans op oppervlakte-afvoer zal derhalve verkleind worden, indien de grondwaterstanden beneden 1 m -m.v. blijven. Daar de bergingscoëfficiënt van de zavelgronden nogal klein is, zullen de schommelingen in de grondwaterstand nogal groot zijn. Een diepe ontwateringsbasis is dus nodig om die grondwaterstanden te verkrijgen. In een proef met diepe drainage is getracht inzicht te krijgen in de werking van de diepe drainage.

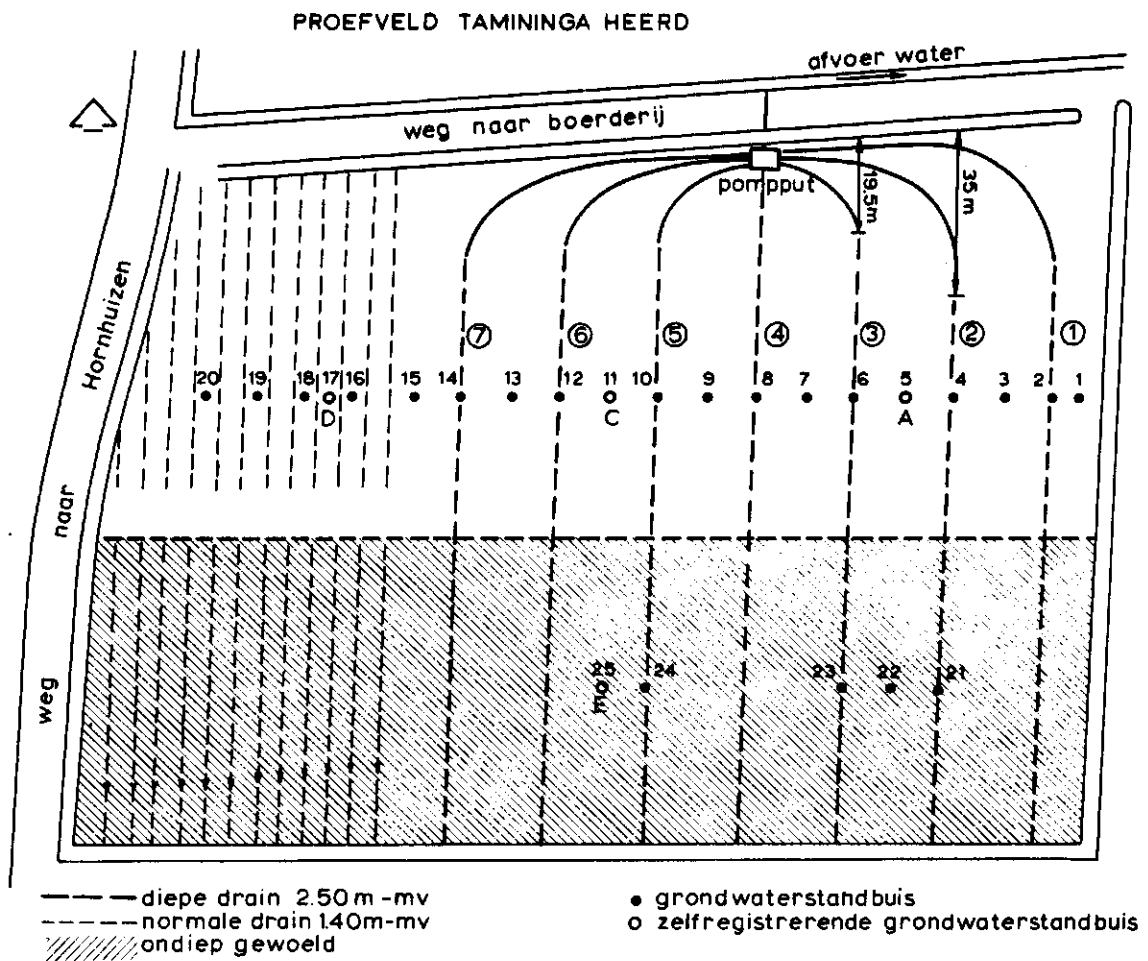


Fig. 1. Situatieschets proefveld

### 1.1. Beschrijving van het proefveld

Het proefveld dat ter beschikking gesteld werd door de proefboerderij Tammingaheerd, is ca. 3.9 ha groot. Ongeveer 2/3 van het oppervlak werd gedraineerd met een plastic ribbel buis, voorzien van een omhulling met nylondoek. De gebruikte diameter van de buis was 8 cm. In totaal werden hiervan zeven reeksen gelegd op een diepte van 2.5 m, en een onderlinge afstand van 20 m. Deze reeksen monden alle uit in een put, van waaruit het drainwater in een nabij gelegen sloot gepompt wordt.

Het resterend oppervlak werd met gebakken buizen gedraineerd, die afgedekt werden met turfstrooisel. De draandiepte was 1.4 m en de drainafstand 5 m.

Gelijktijdig met het ploegen werd nog 1.2 ha tot een diepte van 0.55 m gewoeld (figuur 1).

De grondsoort is een lichte weinig humus houdende zavel. Van een aangrenzend perceel met eenzelfde profielopbouw als het proefveld waren de poriënvolumen, humusgehalten,  $\text{CaCO}_3$ -gehalten en de granulaire samenstelling bekend. In tabel 1 is dit weergegeven.

Tabel 1. Poriënvolume, humus- en  $\text{CaCO}_3$ -gehalte en granulaire samenstelling

Diepte cm	P.V. %	% humus	% $\text{CaCO}_3$	Granulaire samenstelling				
				<2 $\mu$	<16 $\mu$	<50 $\mu$	<105 $\mu$	<150 $\mu$
5- 10	38.4	2.9	0.25	9.3	14.6	37.0	95.6	99.8
20- 25	37.5	3.1	0.01	10.4	17.3	40.8	96.5	99.7
30- 35	41.1	2.1	0.17					
40- 45	40.2	1.8	0.19					
50- 55	40.2	2.9	0.20	14.5	21.1	49.3	96.7	99.1
60- 65	39.5	1.9	0.09					
70- 75	40.6	1.4	0.17	9.3	13.8	31.4	90.0	98.8
80- 85	38.7	pm	5.74					
90- 95	39.5	pm	6.35					
100-105	43.4	pm	9.12	17.2	28.4	58.7	97.8	99.6

Gemiddeld bevat de grond 50% van de fractie tussen 50 en 105 $\mu$  en 50% van de fractie <50 $\mu$ . Het percentage van de fractie <16 $\mu$  is boven in het profiel ongeveer 15% en op een diepte van 1 m-mv ongeveer 28%.

Het poriënvolume is tot 1 m-mv erg laag. Zeer laag is het poriënvolume in de laag 0,20-0,25 m-mv. Waarschijnlijk is een ploegzool verantwoordelijk voor deze lage waarde.

Het humusgehalte is vrij laag. Op een diepte van 0,80 m-mv is dat gehalte vrijwel 0%. Daaruit mag geconcludeerd worden dat de maximale bewortelingsdiepte 0,70-0,80 m-mv is.

## 1.2. H e t m e e t p r o g r a m m a

Het meetprogramma hield de meting van de neerslag, de grondwaterstanden, de gewasopbrengsten, de vochtgehalten van de grond en het stroomverbruik van de pomp in.

De neerslag werd continu gemeten met een zelf-registrerende regenmeter. De grondwaterstanden werden op enkele plaatsen continu gemeten en op een aantal plaatsen met tijdsintervallen van een of twee weken. De grondwaterstanden werden zowel tussen als boven de drainreeksen gemeten.

Vochtbemonsteringen werden in de periode 9/10-'69 tot 29/4-'70 verricht.

Opbrengstbepalingen werden gedaan op het gewoelde en het niet gewoelde deel van beide objecten.

## 2. DE MEETRESULTATEN

### 2.1. D e w e r k i n g v a n d e d r a i n s

De drains aan de rand van het diepe drainage object laten steeds de grootste afvoeren zien. Dit is begrijpelijk, daar de grondwaterstanden langs de rand van dit object minder diep zijn dan op het object. Twee drains, de nummers 2 en 3 (zie figuur 1) hebben steeds slecht gefunctioneerd. De drain 5 laat steeds afvoeren zien die groter waren dan die van de drains 4 en 6.



In april 1970 werden de drains doorgespoten. Daarbij bleek dat de aansluiting van enkele drains op de pompput niet geheel vlekkeloos was gebeurd. In de drains 2 en 3 bleken obstakels aanwezig te zijn. Nader onderzoek gaf te zien dat deze drains stuk getrokken waren. Dit is waarschijnlijk al gebeurd tijdens het leggen van de drains.

De drains in het minder diep gedraineerd object werken, afgaande op gemeten grondwaterstanden, goed.

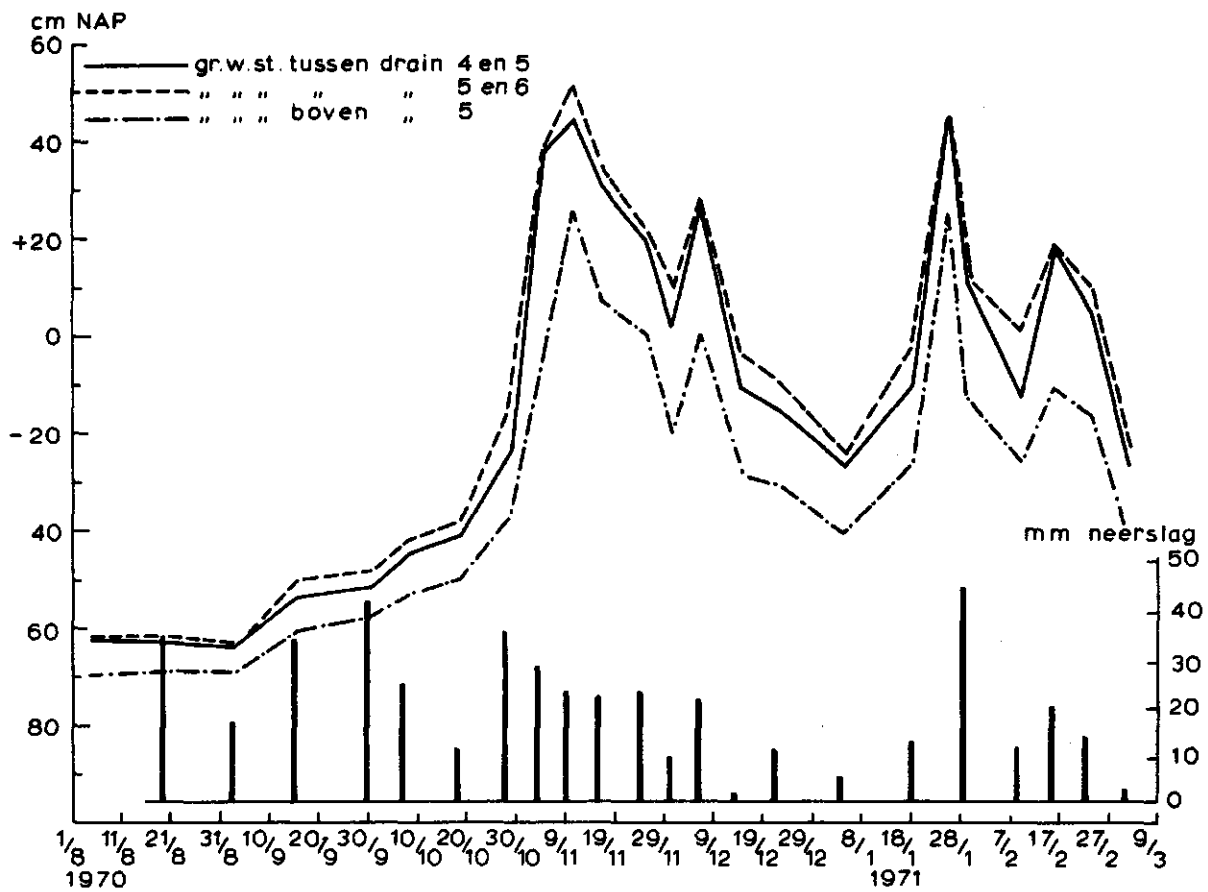


Fig. 2. Verloop grondwaterstand in buis 9, 10 en 11

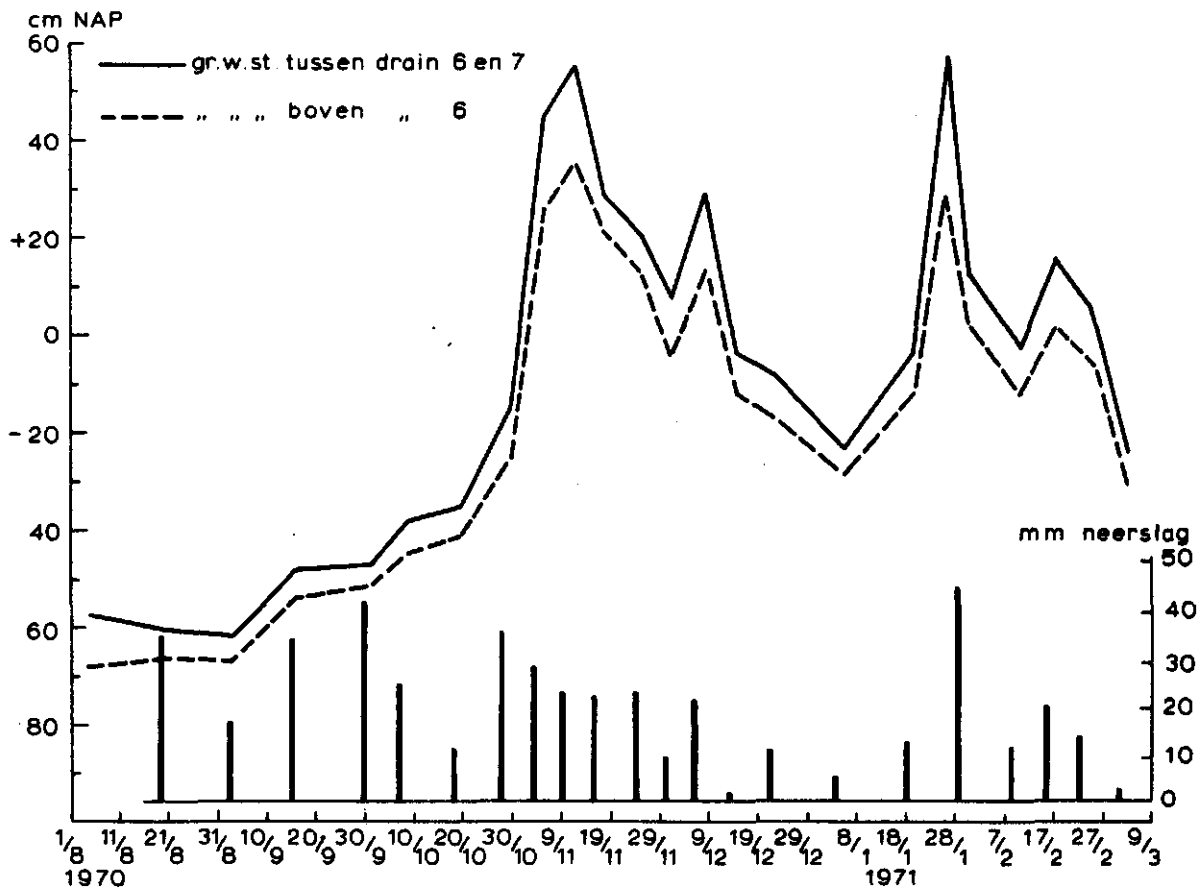


Fig. 3. Verloop grondwaterstand in buis 12 en 13

## 2.2. Analyse van de waarnemingen aan het diepe drainage object

### 2.2.1. Keuze van de gegevens en van de periode

Om tot een beoordeling van de diepe drainage te komen is gebruik gemaakt van de gegevens die betrekking hebben op de drains 5 en 6 (figuur 1) in de periode augustus 1970 t/m februari 1971. Deze drains zijn hiervoor uitgezocht omdat zij vrijwel geen gebreken vertonen die uit een nog niet geperfectioneerde techniek van het leggen voortvloeien. Daarnaast zijn de grondwaterstanden tussen de drains 5 en 6 vrijwel steeds gelijk aan de grondwaterstanden tussen drain 4 en 5 en drain 6 en 7 (figuur 2 en 3). Dit blijkt uit een

regressie en een correlatie berekening tussen de daar gemeten grondwaterstanden;  $H(9) = 0.96 H(11) - 0.04$  ( $r = 0.98$ ) en

$$H(13) = 0.98 H(11) + 0.01 \quad (r = 0.98).$$

De gemeten drainafvoeren hebben alleen betrekking op het oppervlak ter grootte van  $1.L \text{ m}^2$  in tegenstelling tot de drainafvoeren van de drains langs de rand.

De periode augustus 1970 tot maart 1971 is gekozen omdat hierin een regenrijke periode gevolgd wordt door een periode waarin betrekkelijk weinig regen gevallen is. De eerste periode leent zich goed voor de beoordeling van de drainage, de tweede leent zich goed voor de berekening van de bergingscoëfficiënt.

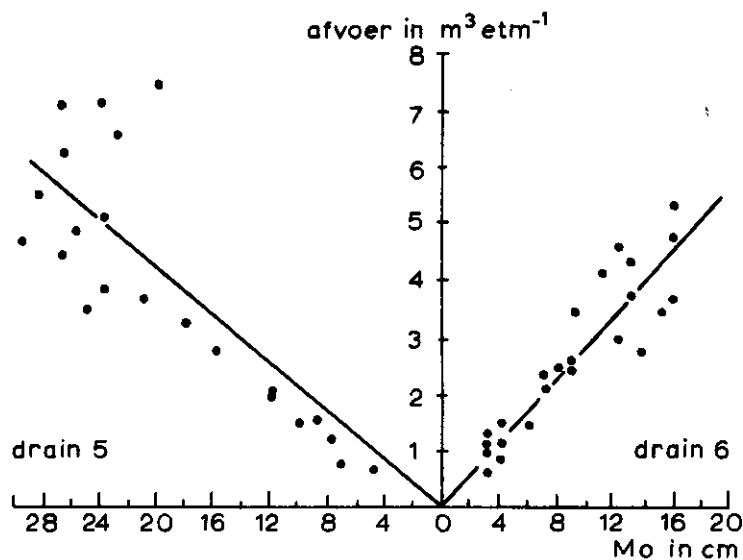


Fig. 4. Verband tussen drainafvoer en opbolling van de grondwater-spiegel midden tussen de drains

### 2.2.2. Berekening van $K_d$ , de intree weerstand en de totale drainage weerstand van de diepe drainage

a. De  $K_d$ -waarde wordt berekend met de formule:

$$K_d = \frac{L^2 \cdot q}{8 m_o} \quad (1)$$

De drainafvoeren, de grondwaterstand tussen de drains en boven de

drains zijn gemeten, zodat de verhouding  $\frac{q}{m_0}$  te berekenen is. Uit een regressie analyse blijkt dat voor drain 5 geldt:

$$q = 0.0087 m_0 \quad (r = 0.96) \text{ en voor drain 6:}$$

$$q = 0.0118 m_0 \quad (r = 0.98). \text{ (zie figuur 4)}$$

De drainafstand is 20 m, de lengte van de reeksen is  $\pm 120$  m, de Kd is  $0.44 \text{ m}^2 \text{ etm}^{-1}$  resp.  $0.59 \text{ m}^2 \text{ etm}^{-1}$ .

De dikte van de equivalente laag wordt berekend met (zie Cult. Techn. Vadem. p.135)

$$d = \frac{L}{8\{0.21 + \frac{1}{\pi} \ln 0.76\} 4R} \quad (2)$$

waarin de diepte van de ondoorlatende laag op  $1/4 L$  is aangenomen. De binnen diameter van de buis is 0,08 m, zodat  $d = 1.8$  m. De doorlatendheid van het watervoerendpakket is derhalve  $0.25 \text{ m etm}^{-1}$  resp.  $0.35 \text{ m etm}^{-1}$ .

b. De intree weerstand wordt berekend met de formule:

$$W = \frac{1}{Q} \cdot \Delta h \quad (3)$$

De vaststelling van  $\Delta h$  stuit op het bezwaar dat de grondwaterstand boven de drains is gemeten, echter de stijghoogte in de drain niet. Onder aanname dat de drainafvoer 0 is wanneer de grondwaterstand boven de drain op drainniveau is, mag  $\Delta h$  gelijk gesteld worden aan de hoogte van het grondwater boven drainniveau. De laatste bewering is juist indien de stijghoogte in de drain verwaarloosbaar is, wat het geval is indien de drain tijdens de afvoer niet geheel gevuld is. Uit het volgend rekenvoorbeeld blijkt dat de drain niet gevuld is wanneer deze boven slootpeil uitmondt. Rekenvoorbeeld: een zelden voorkomende afvoer is  $9 \text{ m}^3 \text{ etm}^{-1}$ . De diameter van de buis is 0.08 m. Het verhang van de energielijn is  $\frac{\lambda}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$  De wandruwheid is:  $\lambda = a \text{Re}^{-0.25}$ ,  $a = 0.41$  (WESSELING en HOMMA, 1967), het getal van Reynolds is:  $\text{Re} = \frac{2V \cdot R}{\nu}$  en  $\nu = 1.31 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sec}^{-1}$ . Alles ingevuld geeft een verhang:  $1, 8 \cdot 10^{-5}$ , wat veel geringer is dan dat waaronder de drains gelegd zijn:  $1 \cdot 10^{-3}$ . Het is derhalve niet waarschijnlijk dat zelfs bij hoge afvoeren de drain geheel gevuld is.

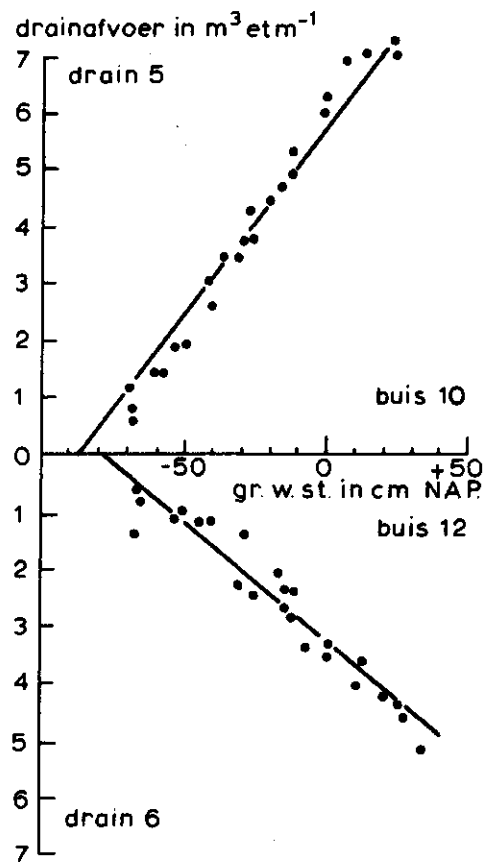


Fig. 5. Verband tussen drainafvoer en grondwaterstand in buis 10

De afvoer van drain 5:  $Q = 0.067 H (10) + 5,9$  en die van drain 6 :  $Q = 0.043 H (12) + 3.3$  (zie figuur 5). De verhouding  $\frac{Q}{\Delta h} = 6.7$  voor drain 5 en 4.3 voor drain 6. Invullen in formule 3 laat zien dat de intree weerstand van drain 5:  $18 \text{ etm}^{-1}$  en van drain 6:  $28 \text{ etm}^{-1}$  is. Deze weerstanden zijn erg groot. SEGEREN en ZUIDEMA (1966) achten intree weerstanden tot  $0.5 \text{ à } 1 \text{ etm}^{-1}$  nog net aanvaardbaar.

c. De totale drainage weerstand is de som van de weerstand van het watervoerend pakket en de intree weerstand en is gedefinieerd als:

$$R_d = \frac{h}{q}. \quad (4)$$

De afvoer van drain 5 is:  $0.0025 H (11) + 0.019$  ( $r = 0.97$ ) en die van drain 6:  $0.0015 H (11) + 0.012$  ( $r = 0.97$ ) (zie figuur 6).

De totale drainageweerstand is, berekend uit de afvoerfunctie van drain 5,  $400 \text{ etm}$  en berekend uit de afvoerfunctie van drain 6:  $660 \text{ etm}$ .

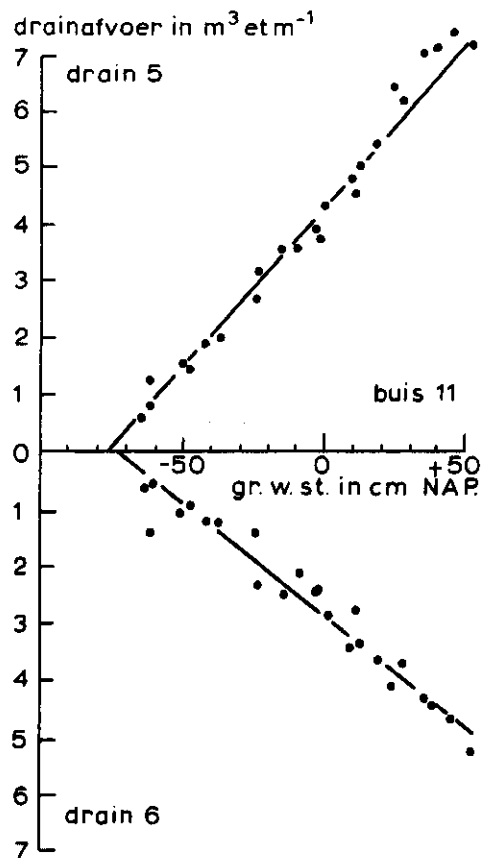


Fig. 6. Verband tussen drainafvoer en de grondwaterstand in buis 11

De horizontale weerstand van het watervoerendpakket wordt berekend met:

$$C = \frac{L^2}{8Kd} = \frac{m_0}{q} \quad (5)$$

en is 115 etm wanneer deze uit de gegevens voor drain 5 berekend wordt en 85 etm wanneer dat met die van drain 6 gedaan wordt.

Uit de berekening van de totale drainageweerstand en van de weerstand van het watervoerend pakket blijkt dat de intree weerstand voor 70% in de totale drainage weerstand bijdraagt voor drain 5 en voor 87% in die van drain 6.

### 2.2.3. Berekening van de bergingscoëfficiënt

Het verloop van de grondwaterstand onder invloed van neerslag en afvoer is te beschrijven met de formule van HELLINGA- DE ZEEUW:

$$h(t) = h(o)e^{-\alpha/\mu \cdot t} + \frac{P}{\alpha} (1 - e^{-\alpha/\mu \cdot t}). \quad (6)$$

Deze formule geldt voor situaties waarin het vochtprofiel steeds in evenwicht is met de grondwaterstand. De bergingscoëfficiënt moet echter vrijwel konstant blijven. Wordt ervan uitgegaan dat er steeds evenwicht heerst tussen het vocht profiel en de grondwaterstand, dus dat geldt  $\Psi(Z) = -Z$ , dan is de totale vochtinhoud van het profiel boven de grondwaterspiegel:

$$I = \int_0^D \theta(Z) dZ.$$

Stijgt de grondwaterstand met  $\Delta D$  cm, dan is de vochtinhoud:

$$I^1 = \theta(o) \cdot \Delta D + \int_0^{D-\Delta D} \theta(Z) dZ$$

De bergingscoëfficiënt is gedefinieerd als  $\mu = \frac{dI}{dD}$  dus:

$$\begin{aligned} \mu &= \lim_{\Delta D \rightarrow 0} \left\{ \frac{\theta(o) \cdot \Delta D + \int_0^{D-\Delta D} \theta(Z) dZ - \int_0^D \theta(Z) dZ}{\Delta D} \right\} \\ &= \theta(o) - \theta(D) \end{aligned} \quad (7)$$

Indien  $\theta(D)$  vrijwel niet verandert t.g.v. schommelende grondwaterstanden, blijft  $\mu$  dus ook vrijwel konstant.

De formule van HELLINGA- DE ZEEUW is goed bruikbaar op gronden waar het capillair geleidingsvermogen snel afneemt bij afnemende vochtspanning (grove zandgronden) en op gronden waar het capillair geleidingsvermogen slecht is, maar waar een belangrijk deel van de neerslag via scheuren naar het grondwater stroomt.

In deze situaties verandert  $\theta(D)$  slechts weinig onder invloed van schommelende grondwaterstanden. Met deze formule is de bergingscoëfficiënt te berekenen. Indien  $\alpha$  bekend is, en deze is reeds bepaald, ( $\alpha = \frac{1}{R_d}$ ), kan uit het verloop van de grondwaterstanden gedurende een periode waarin de neerslag 0 is,  $\mu$  opgelost worden:

$$\mu = \frac{\alpha}{\ln \left( \frac{h(o)}{h(t)} \right)} \cdot t = \alpha / \ln \left( \frac{h(t)}{h(t-1)} \right) \quad (8)$$

Voor een viertal perioden is de berekening uitgevoerd voor  $\alpha = 0.0025$

Tabel 2. Bergingscoëfficiënt in afhankelijkheid van grondwaterstanden.

23/11 - 29/11			8/12 - 29/12			31/12 - 7/1			11/1 - 17/1		
h	$\bar{h}$	$\mu$	h	$\bar{h}$	$\mu$	h	$\bar{h}$	$\mu$	h	$\bar{h}$	$\mu$
103			89			56			100		
97	100	0.05	84	86	0.063	53	54	0.063	86	93	0.019
96	96	0.25	78	81	0.045	52	52	0.25	75	80	0.019
85	90	0.025	74	76	0.063	51	51	0.25	70	73	0.05
80	83	0.063	71	73	0.10	50	50	0.25	68	69	0.125
80	80	-. -	68	69	0.10	48	49	0.10	65	67	0.10
78	79	0.125	63	66	0.045	46	47	0.10	63	64	0.125
			59	61	0.050	45	45	0.25			

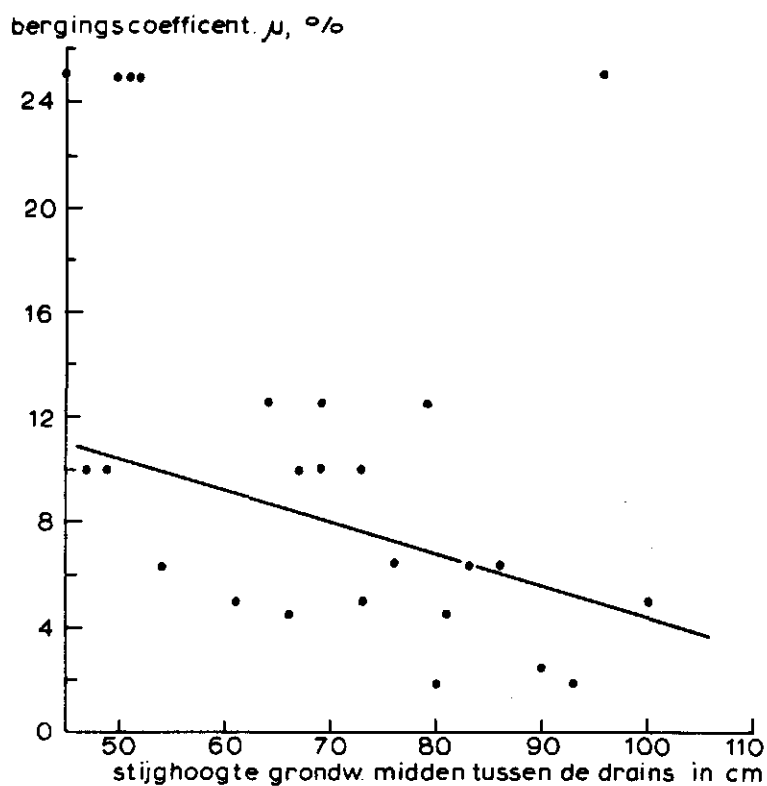


Fig. 7. Verband tussen bergingscoëfficiënt en grondwaterstand (gemeten t.o.v. drainniveau)



In figuur 7 is de berekende  $\mu$  tegen de gemiddelde grondwaterstand, gemeten t.o.v. drainniveau, uitgezet. Een regressielijn is berekend;

$$\mu = -0.0012h + 0.164 \quad (r = -0.53).$$

De correlatie is erg gering. Slechts 26% van  $\mu$  wordt door de grondwaterstand verklaard. Derhalve kan  $\mu$  een vaste waarde toegekend worden.

Een gemiddelde waarde van  $\mu$  is 0.07, wanneer bij de berekening van het gemiddelde de waarden 0.25 buiten beschouwing gelaten worden.

Daar, behoudens een enkele uitzondering, een zeer grote waarde voor  $\mu$  bij diepe grondwaterstanden werd gerekend, moet het niet uitgesloten geacht worden dat  $\alpha$  kleiner is bij die grondwaterstanden dan berekend is. Dit zou betekenen dat de intree weerstand bij geringe drainafvoer groter is dan bij hoge drainafvoeren.

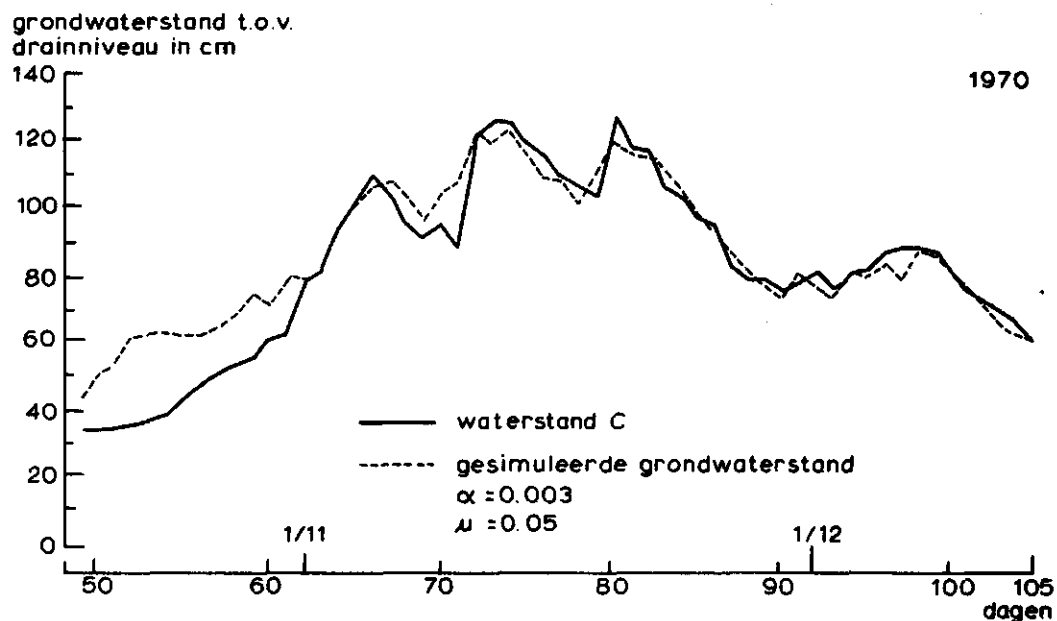


Fig. 8. Gemeten en berekend verloop van de grondwaterstanden

Simulatie van het verloop van de grondwaterstanden volgens de formule van HELLINGA- DE ZEEUW, geeft de beste aansluiting bij de gemeten grondwaterstanden wanneer voor  $\alpha$  de waarde 0.003 en voor  $\mu$  de waarde 0.05 wordt gebruikt (zie figuur 8). Dit geldt voor de periode 1 november 1970 - 1 januari 1971. Voor  $\alpha = 0.003$  werd gevonden (WIND 1970)  $\mu$  : 0.04 0.05 0.06 0.07

$r$  : 0.89 0.97 0.94 0.92

Daar de genoemde periode gekenmerkt wordt door relatief hoge grondwaterstanden, ligt het enigszins voor de hand dat  $\mu$  geringer is dan uit de daling van de grondwaterstanden berekend werd. Dat  $\alpha$  groter is dan berekend werd (0.0025 voor drain 5 en 0.0015 voor drain 6) kan een aanwijzing zijn dat  $\alpha$  iets groter wordt bij stijgende grondwaterstanden of dat de drains niet over de volle lengte gefunctioneerd hebben.

### 2.3. A n a l y s e v a n w a a r n e m i n g e n o p h e t o n d i e p g e d r a i n e e r d o b j e c t

Op het ondiep gedraineerd object werden alleen de grondwaterstanden gemeten. Uit deze gegevens en de neerslagcijfers kan de totale drainage weerstand en de intree weerstand geschat worden.

#### a. De totale drainage weerstand

Indien vlak voor een regenperiode de grondwaterstand  $H$  m N.A.P. is, terwijl na een regenperiode dezelfde grondwaterstanden gemeten wordt, kan gezegd worden dat de totale drainafvoer gelijk is geweest aan de totale neerslag. Voorwaarde hiervoor is dat er geen verandering in het vochtprofiel is opgetreden en dat er geen oppervlakte afvoer is opgetreden.

Een periode die zich voor deze berekening leent is die van 1/11 - 20/11 1970. De gemiddelde neerslag was  $0.0041 \text{ m etm}^{-1}$ , de gemiddelde grondwaterstand 0,18 m boven drainniveau. De totale drainage weerstand is dus  $\bar{h}/\bar{q} = 44 \text{ etm}$ .

#### b. Schatting van de intree weerstand

De gemiddelde grondwaterstand midden tussen de drains was 0.18 m t.o.v. drainniveau. De gemiddelde grondwaterstand boven de drains

is derhalve:

$$0.18 = m_0 \quad \text{en} \quad m_0 = \frac{L^2 \cdot \bar{q}}{8Kd}$$

Nu is  $K$  ongeveer  $0.30 \text{ m etm}^{-1}$ ,  $d = 0.46 \text{ m}$  en  $L = 5 \text{ m}$ , zodat de gemiddelde grondwaterstand boven de drains in deze periode  $0.02 \text{ m}$  was. Gemiddeld stroomde er per  $\text{m}^1$   $0.0205 \text{ m}^3 \text{ etm}^{-1}$  naar de drain. De intree weerstand is dus ongeveer  $1 \text{ etm m}^{-1}$ . Dit betekent dat de intree weerstand voor slechts 11% bijdraagt in de totale drainage weerstand.

### 3. DE GEWASREACTIE

Opbrengstbepalingen werden verricht in 1969, 1970 en 1971 op de twee objecten. Een onderscheid werd nog gemaakt tussen de gewoelde en de niet gewoelde perceelsgedeelten.

Tabel 3. Korrelopbrengst en 1000-korrelgewicht

	1969 z. tarwe kg/are 17% vocht	1970 haver kg/are 17% vocht	1000- korrel gewicht
Diepe drainage	44.3	36.0	33.2
diepe drainage+woelen	40.9	30.4	33.6
ondiepe drainage	44.0	31.0	32.8
ondiepe drainage+woelen	42.6	27.5	30.6

Zowel in 1969 (zomertarwe) als in 1970 (haver) waren de opbrengsten vrij laag. Er waren geen betrouwbare verschillen in de opbrengst tussen de objecten. In beide jaren was de stand van het gewas nogal onregelmatig en er kwam veel kweekgras voor.

De zuidkant van het perceel werd niet gewoeld. Op deze strook van  $\pm 12$  meter breedte lag tijdens het woelen in december 1968 slootspecie afkomstig uit de zuidelijke perceelssloot in depôt. Deze slootgrond werd in het voorjaar van 1969 geëgaliseerd. De groei van de gewassen was in beide jaren op deze strook aanzienlijk slecht

ter dan elders op het perceel. Na het woelen, dat gelijktijdig gebeurde met het ploegen, werd het perceel eerst na de verbouw van haver op 22 december 1970 weer geploegd. Volgens de bedrijfsboer was de ondergrond zeer dicht. Daarom werd toen extra diep (25 cm) geploegd.

Op 25 februari 1971 werden enige ringmonsters genomen uit de laag direkt onder de bouwvoor (25- tot 30 cm-mv) ter hoogte van buis no. 23. Het poriënvolume bleek, zowel op het gewoelde als op de niet gewoelde strook aan de zuidkant van het perceel zeer laag te zijn. Zo werd op het gewoelde gemiddeld 39,4% en voor het niet gewoelde gemiddeld 37.0 gevonden. Direkt onder de bouwvoor is de grond langs de slootkant iets humeuzer dan op  $\pm$  20 m afstand van de sloot. Dit blijkt ook uit het soortelijk gewicht (resp. 2.62 en 2.67).

Het wel zeer lage poriënvolume van de ondergrond langs de slootkant heeft een ondiepe beworteling tot gevolg. Hierdoor zal naast droogteschade ook schade door stikstofgebrek aan het gewas optreden. De gewassen langs de perceelskanten maken in deze gebieden dan ook vaak een schrale indruk.

Gelijk met het poriënvolume zal ook de doorlatendheid van de ondergrond langs de perceelskanten lager zijn dan elders op het perceel, waardoor de bovengrond vaak zeer nat wordt en dat ook lang blijft. Hierdoor ontstaat er ook in de bouwvoor gemakkelijk een te dichte structuur. Kort na enige regen werd herhaaldelijk waargenomen dat de bovengrond, langs de kanten van het perceel, zichtbaar natter was dan op enige afstand van de sloten.

Door regelmatig optredende verschillen in het vochtgehalte van de bovengrond tussen de perceelskanten en de rest van het perceel worden de perceelskanten vaak onder te natte omstandigheden bewerkt, hetgeen een ongunstige invloed heeft op zowel de bouwvoor als ook op de ondergrond.

Bij een bemonstering op 25-2-1971 blijkt dat het gewichtsperscentage vocht van de bouwvoor langs de zuidkant van het perceel 29.2% is terwijl dat op de rest van het perceel voor het diep gedraineerde 22.2% en voor het ondiep gedraineerde 22.4% bedraagt.

De perceelskant was zichtbaar niet bewerkbaar, de rest van het perceel wel. Tijdens het ploegen op 22 december 1970 bedroeg het ge-

wichtspercentage vocht van de bouwvoor nl. 23.7%. Dit werd gevonden voor de bouwvoor van het diep gedraineerde. De slootkant werd toen niet bemonsterd.

Ter vergelijking werd op 25 februari 1971 ook het vochtgehalte van de bouwvoor van de percelen ten noorden en ten zuiden van het proefveld bepaald. Beiden bleken iets natter te zijn (resp. 23.8% en 23.2%).

In 1971 werden pootaardappelen verbouwd. Het gewas werd met verschillende hoeveelheden stikstof bemest. Het strooien van de kunstmest was niet erg nauwkeurig gebeurd want over het gehele perceel kwamen stikstofbanen voor. Berekend kon worden dat het gewas op deze banen  $\pm$  200 kg N/ha gekregen moest hebben. Tussen deze stroken heeft het gewas  $\pm$  110 kg N/ha ontvangen. Op alle objecten werden zowel bij de hoge als bij de lagere N-gift 3 veldjes, elk bestaande uit één keer vijf meter rij, geoogst. De plant afstand was 75 bij 27 cm. De gehalten aan N, K<sub>2</sub>O en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> werden ook bepaald.

Tabel 4.

	opbr.		% N in droge stof			opbr.			
	kg N/ha	ds kg/ha	N	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	kg N	kg K <sub>2</sub> O	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ton/ha veldgew
Diep gedr.	110	6760	0.99	1.89	0.43	67.0	128.0	29.0	30.8
Diep gedr. + woelen	110	6440	0.98	2.06	0.49	63.3	133.0	31.6	27.9
Ondiep gedr.	110	7350	0.91	2.02	0.54	67.0	149.0	39.7	33.0
Ondiep gedr.+woelen	110	6680	0.91	2.09	0.56	61.0	140.0	37.4	29.3
Diep gedr.	200	6680	1.25	2.12	0.53	83.5	141.0	35.4	34.6
Diep gedr. + woelen	200	7400	1.09	2.05	0.50	80.5	152.0	37.0	35.1
Ondiep gedr.	200	6910	1.33	2.38	0.63	92.0	165.0	43.5	35.8
Ondiep gedr.+woelen	200	6560	1.26	2.40	0.64	82.5	157.0	42.0	32.3

Wanneer wordt aangenomen dat de fout in de opbrengstbepaling minstens 10% is, kan niet gekonkludeerd worden dat er sprake is van duidelijke opbrengstverschillen op de verschillende objecten.

Voorts valt op dat hogere N-giften dan 110 kg N/ha<sup>-1</sup>, niet tot opbrengstverhogingen leiden bij aardappelen.

#### 4. BENADERING VAN DE OPTIMALE DRAINAFSTAND

Wegens het ontbreken van voldoende inzicht in de relatie tussen de ontwateringsdiepte en verslemping, is het niet goed mogelijk de meest gewenste drainage diepte en afstand te bepalen. Voorlopig wordt volstaan met de volgende benadering, die geheel gebaseerd is op de schatting van het tijdstip van de grondbewerkingen in het voorjaar.

Volgens BOEKEL zijn zavelgronden bewerkbaar wanneer het vochtgehalte van de bouwvoor lager is dan 22.5% (gewichtspcenten). Uit de verzamelde gegevens van KOOPMANS werd een relatie tussen vochtgehalten en grondwaterstand afgeleid:  $\theta = -0,109D : 34.6$  ( $r = 0.75$ ). Deze relatie geldt voor het vochtgehalte van de grond, een etmaal na de laatste neerslag. De meest gewenste zaai-cq poot data zijn: haver en zomer tarwe derde decade van februari, zomergerst eerste decade van maart, suikerbieten en aardappelen derde resp. tweede decade van maart. Het zaaibed moet een week voor de zaadatum gereed gemaakt worden. Dat betekent dat de grond dan bewerkbaar moet zijn.

Voorts wordt aangenomen dat een vertraging in de zaai van haver en zomertarwe resulteert in een evengrote vertraging in de zaai van de volgende gewassen. De eventuele vertraging is gelijk aan het aantal dagen na half februari waarop het vochtgehalte groter is dan 22.5%, of te wel de grondwaterstand geringer is dan 1.15 m-mv.

Wordt verondersteld dat half januari de grondwaterstand 1 m-mv is, dan kan de grondwaterstand half februari met de formule van HELLINGA- DE ZEEUW berekend worden voor de verschillende neerslagen. Het aantal dagen na 16 februari waarna de grondwaterstand weer 1.15 m-mv is kan berekend worden met:

$$t = \frac{\mu}{\alpha} \ln \frac{h(o) - p/\alpha}{h(t) - p/\alpha} \quad (9)$$

waarin  $h(t)$  : 1.35 m boven drainniveau is en  $p$  de gemiddelde neerslag in de periode 16/1 - 16/2 (1.7 mm etm<sup>-1</sup>).

De frequentie waarmee een zekere gemiddelde neerslag  $p_i$  in de periode 16/1 - 16/2 voorkomt is  $P_i$ . De overschrijdingsduur  $t_i$  van de zaadatum is te berekenen met de zojuist genoemde formule.

De verwachte overschrijdingsduur van de zaaidata is:  $\sum_{i=1}^n P_i t_i$  dagen.

De kosten van deze overschrijding zijn te berekenen, daar voor elk gewas de opbrengst depressies per dag te laat zaaien bekend zijn (WIND 1960).

De kosten van te laat zaaien voor een bouwplan dat voor een deel  $a_j$  uit gewas  $j$  bestaat, met een maximale geldelijke opbrengst van  $Y_j$  gulden per ha en een opbrengst depressie van  $K_j\%$  van de maximale opbrengst, per dag te laat zaaien, zijn in guldens per ha:

$$\sum_{i=1}^h P_i t_i \cdot \sum_{j=1}^m a_j K_j Y_j \quad (10)$$

met

$$\sum_{j=1}^m a_j = 1 \quad (11)$$

De verwachte kosten van overschrijding van de zaaidata zijn berekend voor verschillende drainafstanden bij zowel de diepe als de ondiepe drainage. Daarbij is rekening gehouden met de waargenomen intree weerstanden.

De kosten van overschrijding worden gekapitaliseerd tegen een rentevoet van 7%. De investering in de drainage is berekend per  $m^2$ , gebaseerd op een prijs voor het leggen van  $f 4,-$  per  $m^1$  voor de diepe drainage en  $f 3,-$  per  $m^1$  voor de ondiepe drainage.

Het gemiddelde bouwplan bestaat uit:

Tabel 5.

gewas, j.	$a_j$	opbr. kg/ha	prijs/kg
Zomer tarwe	0.49	4000	$f$ 0.34
Haver	0.16	4500	- 0.28
Suikerbieten	0.15	45 ton	- 65.-- p. ton
Pootaardappelen	0.20	30 ton	-160.-- p. ton

In tabel 6 zijn de resultaten van de berekening samengevat. De draindiepte is 2.50 m-mv, de intree weerstand is  $15 \text{ etm m}^{-1}$ .

Tabel 6.

Drainafstand:	18	20	23	27	35m
$\alpha$	0.0027	0.0025	0.0022	0.0019	0.0014
Gem. neerslag in 16/1-16/2 waarbij geen vertraging in zaaidata optreedt	3.4	3.2	2.8	2.5	1.7 mm etm <sup>-1</sup>
Overschrijdingskans	0.02	0.05	0.15	0.25	0.53
Verwachte overschrijdingsduur	0	0	1	2	16 etm
Opbrengstdepres- z.tarwe	0	0	0.5	1.0	8.9
sie in % van haver	0	0	0.8	1.6	13.4
max. opbrengst s.bieten	0	0	0.7	1.4	3.9
pootgaard	0	0	0.1	0.2	13.3
Gekapitaliseerde op- brengstdepressie, rente- voet 7%, in gld m <sup>-2</sup>	0	0	0.015	0.025	0.26
Investing in drainage in gld m <sup>-2</sup>	0.222	0.200	0.175	0.148	0.115
Totale investering in de drainage, gld m <sup>-2</sup>	0.222	0.200	0.190	0.173	0.375

In grafiek 9 is de totale investering in de drainage tegen de drainafstand uitgezet. De minimale investering wordt gekregen bij een drainafstand van 26 m en een investering van  $f$  0.17 per m<sup>2</sup>.

In tabel 7 zijn de resultaten weergegeven voor een draandiepte van 1.40 m-mv en een intree weerstand van 1 etm m<sup>-1</sup>.



Tabel 7.

Drainafstand	5	9	13	19	26 m
$\alpha$	0.023	0.016	0.011	0.0074	0.0053
Gem. neerslag in 16/1-16/2 waarbij geen vertraging in zaaidata optreedt	5.7	4.0	2.8	1.8	1.3
Overschrijdingskans	0	0	0.13	0.50	0.63
Verwachte overschrijdings- duur	0	0	1	5	17
Gekapitaliseerde ophrengst- depressie in gld m <sup>-2</sup>	0	0	0.015	0.075	0.28
Investering drainage in gld m <sup>-2</sup>	0.60	0.33	0.23	0.157	0.115
Totale investering in gld m <sup>-2</sup>	0.60	0.33	0.245	0.232	0.395

In grafiek 9 is de totale investering uitgezet tegen de drainafstand. De optimale drainafstand blijkt 18 m te zijn en de minimale investering  $f$  0.23 m<sup>-2</sup>. De investering in de diepe drainage is dus geringer dan die in de ondiepe drainage.

Voor de diepe drainage is de optimale afstand berekend voor een intree weerstand van 15 etm m<sup>-1</sup>. Voor andere intree weerstanden volgt de optimale drainafstand uit:

$$\frac{1}{\alpha}l = W.L + \frac{L^2}{8Kd} \quad (12)$$

De waarde  $\alpha^1$  is die, die behoort bij de reeds bepaalde optimale afstand. Voor  $d$  is te schrijven:  $d = \beta L$  ( $\beta = 0.074$ ), zodat:

$$L_{\text{opt.}} = \frac{1}{\alpha^1 W + \frac{\alpha^1}{8Kd}} \quad (13)$$

Inplaats van drains zijn ook sloten toe te passen. De slootafstand is te berekenen met de formule van ERNST, die geldt voor een homogenen grond met een ondoorlatende laag beneden slootpeil.

De diepte van de ondoorlatende laag t.o.v. slootpeil is  $1/4 L$ . Gebruikt wordt de formule:

$$h = \frac{qL}{\pi K} \cdot \ln \frac{L}{4u} + \frac{qL^2}{8K(1/4 L + 0.5h)} \quad (14)$$

Voor  $L \gg h$  en  $q = \alpha h$  is:

$$\frac{I}{\alpha} = \frac{L}{\pi K} \cdot \ln \frac{L}{4u} + \frac{L}{2K}$$

Wordt aangenomen dat de natte omtrek ongeveer 1 m is, dan is L op te lossen, voor  $K = 0.3 \text{ m etm}^{-1}$ , uit:

$$L \cdot \ln \frac{1.2 L}{u} = \frac{0.94}{\alpha} \quad (15)$$

De optimale slootafstand kan nu worden bepaald. Daarbij wordt verondersteld dat de diepte van de slootbodem 2.70 m-mv is, de breedte van de slootbodem 0.60 m, het talud een helling van 1:1 heeft en de graaf- en bijkomende kosten  $f$  4,-- per  $\text{m}^3$  grond zijn. In tabel 8 is het resultaat van de berekeningen weergegeven.

Tabel 8

Slootafstand	85	90	105	135
$\alpha$	0.0025	0.0022	0.0019	0.0014
Investering in graafwerk in $\text{gld m}^{-2}$	0.42	0.40	0.34	0.27
Gekapitaliseerde opbrengst- depressie in $\text{gld m}^{-2}$	0	0.015	0.025	0.26
Totale investering per $\text{m}^2$	0.42	0.415	0.365	0.53

In figuur 9 is de relatie slootafstand-investering per  $\text{m}^2$  weergegeven. De minimale investering is  $f$  0.36 per  $\text{m}^2$  bij een slootafstand van 105 m.

Voor de verschillende drainafstanden is te bepalen met welke frequentie een grondwaterstand van 1 m-mv overschreden wordt. De door WIND (1967) ontwikkelde eenvoudige relatie tussen drainafstand, de maximaal te verwachten neerslag op een dag en de bergingscoëfficiënt wordt daartoe geschreven als:

$$\frac{L^2}{8Kd} + WL = \frac{2h^2}{c^2} \cdot \mu \quad (16)$$

hierin is  $c$  de maximaal te verwachten neerslag op een dag. Voor  $d$  wordt  $\beta L$  ingevuld, zodat de drainafstand te schrijven is als:

$$L = \frac{2h^2}{c^2 \left( \frac{1}{8KB} + W \right)} \cdot u \quad (17)$$

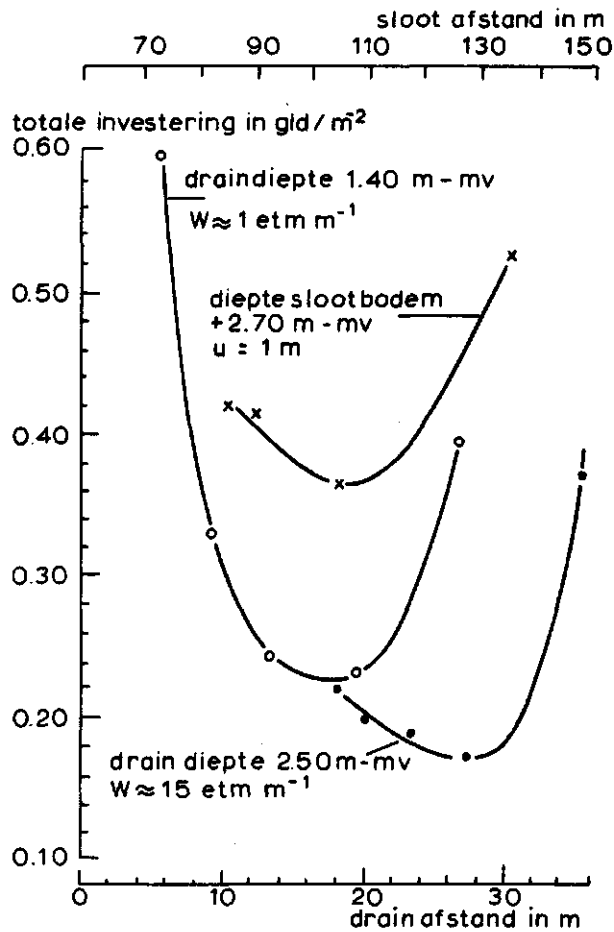


Fig. 9. Verband tussen totale investering per  $\text{m}^2$  en de drainafstand resp. slootafstand

Een grafiek die het verband legt tussen  $L$ ,  $W$  en  $h$  is samengesteld (fig. 10). Voor  $c$  bestaan tabellen waarin de herhalingstijden van bepaalde neerslagen op een dag genoemd worden. De overschrijdingsfrequentie van een bepaalde grondwaterstand kan bepaald worden door  $c$  uit 17. op te lossen en de herhalingstijd van  $c$  in de tabel af te

lezen. Bij een drainafstand van 20 m, een intree weerstand van 15  $\text{etm m}^{-1}$  en doorlatendheid van  $0.3 \text{ m etm}^{-1}$ , een draaindiepte van 2.5 m-mv  $\beta = 0.074$  en  $\mu = 0.05$ , wordt een grondwaterstand van 1 m-mv ongeveer 1 keer per jaar overschreden. Wordt de drainafstand 26 m, zoals optimaal zou zijn, dan is de overschrijdingsfrequentie ongeveer 2 keer per jaar.

Bij de ondiepe drainage is bij een drainafstand van 5 m de overschrijdingsfrequentie van een grondwaterstand van 1 m-mv ongeveer 2 keer per jaar. Bij een drainafstand van 18 m is de overschrijdingsfrequentie groter dan 5 keer per jaar.

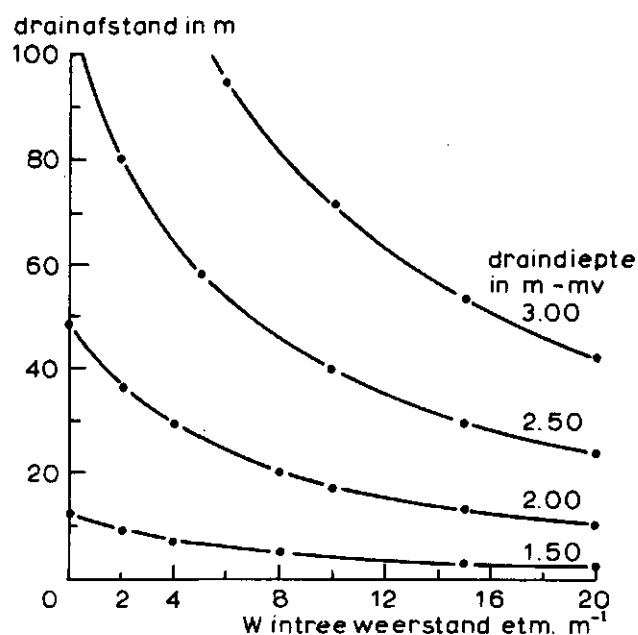


Fig. 10. Drainafstand als functie van de draaindiepte en intree weerstand onder voorwaarde dat een grondwaterstand van 1 m-mv 2x per jaar overschreden wordt

## 5. SAMENVATTING EN KONKLUSIES

Perceelsvergroting in de kruinige, zavel mozaïkgebieden kan het goedkoopste gebeuren door alleen de sloten te dempen. Deze methode

is toepasbaar wanneer de verkregen laagten en ingesloten laagten niet als vergaarbakken van oppervlakkig afstromend water fungeren. Dit is te voorkomen wanneer de indringingssnelheid van de neerslag voldoende groot blijft. De indringingssnelheid wordt geringer wanneer de toplaag verslemt. Verslemping zou niet of slechts in geringe mate optreden wanneer de grondwaterstanden beneden 1 m-mv blijven.

Met een praktijkproef is nagegaan hoe deze eis te realiseren is. Daartoe werd op een perceel van de proefboerderij 'Tammingaheerd' te Hornhuizen een zevental drains op een diepte van 2.50 m-mv en een afstand van 20 m gelegd. De drains bestaan uit plastic ribbelbuis, omhuld met nylon. Het resterend deel van het perceel werd gedraineerd met gebakken buis, afgedekt met turfstrooisel. Deze drains werden op een diepte van 1.40 m-mv en een onderlinge afstand van 5 m gelegd.

De diepe drainage funktioneerde minder goed dan de ondiepe drainage. De oorzaak ligt deels in de techniek van het leggen, deels in de aard van het omhullingsmateriaal. Intree weerstanden van gemiddeld  $23 \text{ etm m}^3$  bij de diepe drainage werden afgeleid uit de verzamelde gegevens. Bij de ondiepe drainage bedroegen deze ongeveer  $1 \text{ etm m}^{-1}$ .

De totale drainage weerstand werd voor 80% door de intree weerstand bepaald op het diep gedraineerd object. Op het ondiep gedraineerd object bedroeg de intree weerstand slechts 11% van de totale drainage weerstand.

Uit de gegevens kon afgeleid worden dat de doorlatendheid van de ondergrond  $0.3 \text{ m etm}^{-1}$  was, de bergingscoëfficiënt 0.05-0.10 en de drainage intensiteit  $0.0015-0.0025 \text{ etm}^{-1}$ . Simulatie van de grondwaterstanden met behulp van de formule van HELLINGA- DE ZEEUW, liet zien dat de beste correlatiecoëfficiënt werd gevonden wanneer voor de drainage intensiteit  $0.003 \text{ etm}^{-1}$  en voor de bergingscoëfficiënt 0.05 werd ingevuld. De correlatiecoëfficiënt was 0.97.

Daar een drainage intensiteit van  $0.0015-0.0025 \text{ etm}^{-1}$  berekend werd, moet gekonkludeerd worden dat drains waarvoor deze waarden berekend zijn slechts over een lengte van 60 resp. 110 m goed funktioneren, inplaats vanover een lengte van 120 m. Uit de grote correlatie tussen de berekende en de gemeten grondwaterstanden kan afgeleid worden dat er vrijwel geen oppervlakte afvoer heeft plaatsgevonden.

Opbrengstbepalingen werden op beide objecten verricht. Een onderscheid tussen het gewoeld en het niet gewoeld deel werd steeds gemaakt. Uit de opbrengstcijfers valt niet te konkluderen dat er significante verschillen zijn in de opbrengsten op het diep gedraineerd en het ondiep gedraineerd object. Wel bestaat er een zwakke aanwijzing dat de opbrengsten op de gewoelde perceelsgedeelten lager zijn dan op de niet gewoelde gedeelten. Het woelen was gebeurd vanuit de overweging dat de stabiliteit van de grond voldoende verhoogd zou worden door een goede ontwatering. Het woelen zou een blijvend resultaat opleveren. Deze veronderstelling wordt door de feiten niet ondersteund. Opbrengstmetingen van aardappelen laten zien dat een verhoogde N-gift (200 i.p.v. 110 kg N/ha) eerder tot een lagere dan een hogere opbrengst leidt. Het is nog niet goed mogelijk reeds nu een drainafstand in relatie te brengen met de verslempingsgraad. Daarom is voorlopig volstaan met een benadering van een optimale drainafstand. Deze benadering is gebaseerd op de schatting van de verwachte vertraging in de voorjaarswerkzaamheden. Deze vertraging leidt tot een te laat zaaien van de gewassen. Dit laatste resulteert in een opbrengstdepressie. Voor de schatting van de opbrengstdepressie is gebruik gemaakt van een eenvoudige relatie tussen het aantal dagen te laat zaaien en een opbrengstdepressie. Oorzaken die een potentiële opbrengstdepressie in een later groeistadium te niet doen, zijn wegens hun complex karakter buiten beschouwing gelaten. De opbrengstdepressie werd gekapitaliseerd tegen een rentevoet van 7%. De som van de gekapitaliseerde opbrengstdepressie en de investering in het leggen van de drainage geeft de totale investering in de drainage.

Er kon berekend worden dat de optimale drainafstand 26 m moet zijn bij een draindiepte van 2.50 m-mv en een intree weerstand van  $15 \text{ etm m}^{-1}$ .

De optimale drainafstand bij een intree weerstand van  $1 \text{ etm m}^{-1}$  is 80 m (draindiepte 2,50 m-mv).

De optimale drainafstand voor een draindiepte van 1.40 m-mv en een intree weerstand van  $1 \text{ etm m}^{-1}$  is 18 m.

Ontwatering door middel van sloten werd nader bekeken. Een optimale slootafstand is 105 m bij een slootdiepte van 2.70 m-mv.

De investering bij optimale afstand bedraagt: diepe drainage:  
 $f 0.17 \text{ m}^{-2}$ , ondiepe drainage  $f 0.23 \text{ m}^{-2}$  en sloten :  $f 0.36 \text{ m}^{-2}$ .

De diepe drainage is dus het goedkoopst. Het aantal keren per jaar dat een grondwaterstand van 1 m-mv werd overschreden werd berekend.

Bij de huidige drainage bleek dit 1 keer per jaar te zijn op het diep gedraineerde object en 2 keer per jaar op het ondiep gedraineerd object. Bij de optimale drainafstanden werden overschrijdingsfrequenties berekend van 2 keer voor een diepe drainage en meer dan 5 keer voor de ondiepe drainage. De invloed van de overschrijdingsfrequentie op de verslemping is niet bekend. Daarom moet het begrip optimale drainafstand bij de ondiepe drainage met enige voorzichtigheid gehanteerd worden.

De optimale afstand bij de diepe drainage is betrouwbaar daar de berekende overschrijdingsfrequentie van een grondwaterstand van 1 m-mv gelijk is aan die overschrijdingsfrequentie die voor het ondiep gedraineerd object berekend werd.

Voorzichtigheid is hier echter ook geboden omdat de relaties tussen bewerkbaarheid, verslemping en grondwaterstanden nog nader onderzocht dienen te worden.

Tot slot kan worden opgemerkt dat, afgaande op de praktijk ervaring, de drainage van slempgevoelige zavelgronden tot betere bewerkbaarheid leidt. Verder is de diepe drainage, ondanks enkele tekortkomingen, de goedkoopste oplossing van het ontwateringsvraagstuk.

## LITERATUUR

- BOEKEL P. Onderzoek naar de gewenste ontwateringstoestand in verband met de verslemping en bewerkbaarheid van kruinige percelen. Inst. v. Bodemvr.b.heid C 7915
- CULT. TECHN. VER. Cultuurtechnisch Vademecum
- EDWARDS W.M. en W.E. LARSON (1969). Infiltration of water into soils as influenced by surface seal development. Transactions of the ASAE 12.4
- KOOPMANS A. Enkele resultaten van begeleidend bodemfysisch onderzoek op een slootdempingsobject van de Cult. Techn. Dienst te Kloosterburen. Inst. v. Bodemvr.b.heid
- K.N.M.I. Frequenties van k-daagse neerslagsommen op Nederlandse stations no 22, Groningen 1906-1913.
- SEGEREN W.A. en ZUIDEMA F.C. (1966). Ontwikkeling in de drainage Techniek Rijksd. IJsselm. polders
- WESSELING J. en F. HOMMA (1967). Hydraulic resistance of drainpipes. Techn. Bull. 50. Inst. v. Cult. Techn. en Waterhuish.
- WIND G.P. (1960). Opbrengstderving door te laat zaaien Landbouwk. Tijdschr. 72.4 : 111-117
- WIND G.P. (1967). Een eenvoudige relatie tussen afvoer, berging en neerslag intensiteit. Landbouwk. Tijdschr. 79.4
- WIND G.P. (1970). In: Jaarverslag I.C.W. 1970 p 59