

III. GEVOLGEN VAN WATEROVERLAST IN DE MODERNE LANDBOUW

G. P. WIND

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding

SUMMARY

HIGH SOIL MOISTURE CONTENTS AND MODERN FARMING

In this country the depth of the groundwater table has of old been chosen in such a way that crop growth is optimal (see fig. 1). Because of mechanization of agriculture (table 1) the moisture condition of the soil has become very important not only for crop growth but also for the production costs. Modern agriculture, characterized by mechanization and a scarcity of labour, needs a drainage which takes the production circumstances in consideration. Generally speaking the land must now be drier than was formerly required. In many cases this drier situation can be obtained by deeper drainage. This is illustrated with three examples.

Trampling of grassland occurs when the soil is too wet (see fig. 3, 4 and table 2). In order to avoid trampling the farmer takes his cows from the pasture. For feeding cattle in this unseasonable stable period, formerly grass was mown on the too wet pastures. Nowadays, because labour is scarce, this is no longer possible. The damage of trampling amounts to about 15 to 20% of the net production of grassland on peaty and humous soils. Deeper drainage gives the soil more bearing capacity but also makes it more susceptible to irreversibly drying.

Early sowing does not only increase crop yields but also gives a better distribution of labour over the year. On clay soils early sowing is only possible with a very deep drainage, deeper than the optimal depth for crop yield (see fig. 6, 7, 8, eq. 3 and table 3).

Very little is known about off-the-road locomotion. It is obvious that tractors and machines run better on dry soil than on wet soil. The soil is moreover badly damaged, when driving over it in wet condition, soil structure may be destroyed and the permeability will heavily decrease (see fig. 9 and 10).

How dry the soil must be cannot yet be calculated. If mechanical harvesting of sugar beets and potatoes is not possible, as it was for example in 1960, the damage is enormous since the labour force on farms is no longer large enough for manual work.

1. INLEIDING

Bij het woord wateroverlast denkt men vanzelfsprekend aan grotere of kleinere overstromingen. Een toestand dus waarbij water op de grond staat. In de landbouw kan echter al sprake van wateroverlast zijn, wanneer het water nog niet zichtbaar is. Al zijn zichtbare overstromingen volstrekt niet zeldzaam, de schade is doorgaans reeds groot voordat water op het land verschijnt.

Vergelijkt men de landbouw met de industrie, dan neemt de bodem in de landbouw dezelfde plaats in als de fabriek in de industrie. We wachten niet met het spreken van wateroverlast tot de fabriek helemaal onder water staat. Zo ook in de landbouw; als het produktie-apparaat gedeeltelijk onder water staat, is er reeds wateroverlast.

Merkwaardig is dat we het water ook weer niet te ver weg willen hebben, al zijn we vlug met het spreken van wateroverlast. Water is niet alleen een belager van de landbouw, maar ook een produktiemiddel en grondstof. In navolging van VISSER (1958) is men in de landbouw gewend de invloed van het grondwater weer te geven in grondwaterdiepte — opbrengstkrommen. Een voorbeeld hiervan geeft figuur 1. Deze geven het verband tussen gewasopbrengsten en de diepte van het grondwater. Hoewel de curven verschillend zijn, al naar de aard van het gewas en de grond waarop ze betrekking hebben, zijn ze toch algemeen van dezelfde vorm. Het zijn alle optimum krommen, met een stijgende natte tak en een dalende droge tak. Slechts bij de diep bewortelbare, opdrachtige gronden (zie WIND, 1960) ontbreekt de droge tak. De lage opbrengsten in het natte gebied worden veroorzaakt door luchtgebrek; die in het droge door vochtgebrek.

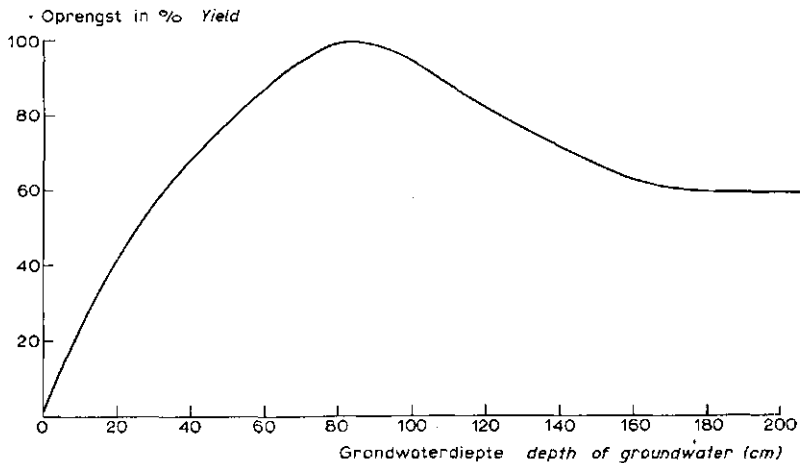


FIG. 1. Voorbeeld van een grondwaterdiepte-opbrengstkromme (naar VISSER, 1958)

FIG. 1. Example of the relation between yield and groundwater depth (after VISSER, 1958)

Hoewel de droge tak tot lang niet zulke lage opbrengsten komt als de natte is juist aan deze droge kant veel meer aandacht besteed dan aan de natte. In de laatste 10 jaargangen van het *Landbouwkundig Tijdschrift* en het *Netherlands Journal of Agricultural Science* kwamen 35 artikelen voor die handelden over de invloed of de bestrijding van droogte. Slechts 16 artikelen behandelden onderwerpen van de natte kant. Ook op de Technische Bijeenkomsten van de Hydrologische Commissie T.N.O. werd veel meer aandacht besteed aan de aanvoer van water dan aan de afvoer.

In de laatste jaren is er echter een economische ontwikkeling geweest, die de natte kant een nog groter belang heeft gegeven dan ze al had. Door de sterk gestegen lonen is de arbeid in de landbouw in hoge mate gemechaniseerd. Door deze mechanisatie zijn er meer machines op het land en minder arbeiders. Deze beide consequenties van de mechanisatie vragen drogere omstandigheden dan het ouderwetse landbouwbedrijf.

Handwerk en paardentractie zijn onder natte omstandigheden wel moeilijker dan wanneer het land droog is; zeer natte omstandigheden doen volgens SNIJDERS (1958) de arbeidsbehoefte met 50% toenemen. Daarentegen is het werk van door trekkers aangedreven oogstwerktuigen als aardappel- en bietenrooimachines onder natte omstandigheden onmogelijk. Het moet dan worden vervangen door Handwerk. Omdat arbeid nu — in tegenstelling tot vroeger — schaars is, hebben natte omstandigheden tijdens de oogst tot gevolg dat een gedeelte van de oogst verloren gaat.

Tabel 1, ontleend aan KUPERUS (1954) en BOGAARDS (1961), geeft een indruk van de arbeidsverhoudingen vroeger en nu. De arbeidskosten zijn veel minder gestegen dan de arbeidslonen. De arbeidsbezetting is dus veel geringer dan vroeger.

TABEL 1. Arbeid op akkerbouwbedrijven tussen 20 en 50 ha in het zuidwestelijk kleigebied

	1948/49	1960/61
a. Uurloon in gld/hour wage in guilders	0,96	2,23
b. Arbeidskosten in gld/ha/jaar/cost of labour in guilders/ha/year	355	539
c. Werktuigkosten id./cost of machines do.	79	210
d. Totale kosten id./Total costs do.	868	1651
e. Gewerkte uren (b/a)/Hours worked per ha and year	368	242

TABLE 1. Labour on arable farms on clay soil; farm size 20 to 50 ha

Tot welke gevolgen het voert wanneer de grond te nat is voor machinale oogst, blijkt uit de volgende cijfers ontleend aan de Landbouwgids 1961. De

bietenooft volledig gemechaniseerd, waarbij de bieten in een verzamelbak komen, kost 40 manuren per ha. In handwerk kost het bieten rooien 177 manuren per ha. Voor de aardappeloost zijn deze cijfers resp. 35 en 186 manuur per ha.

Samenvattend kan worden gezegd dat door de mechanisatie van de landbouw hogere eisen worden gesteld aan de ontwatering van de grond. In het volgende zal dit nader worden toegelicht aan de hand van drie voorbeelden.

2. VERTRAPPING VAN GRASLAND

Het meest droogtegevoelige gewas in de landbouw is gras. De oorzaken daarvan zijn de geringere bewortelingsdiepte en de hoge verdamping in het voorjaar, wanneer er weinig regen valt.

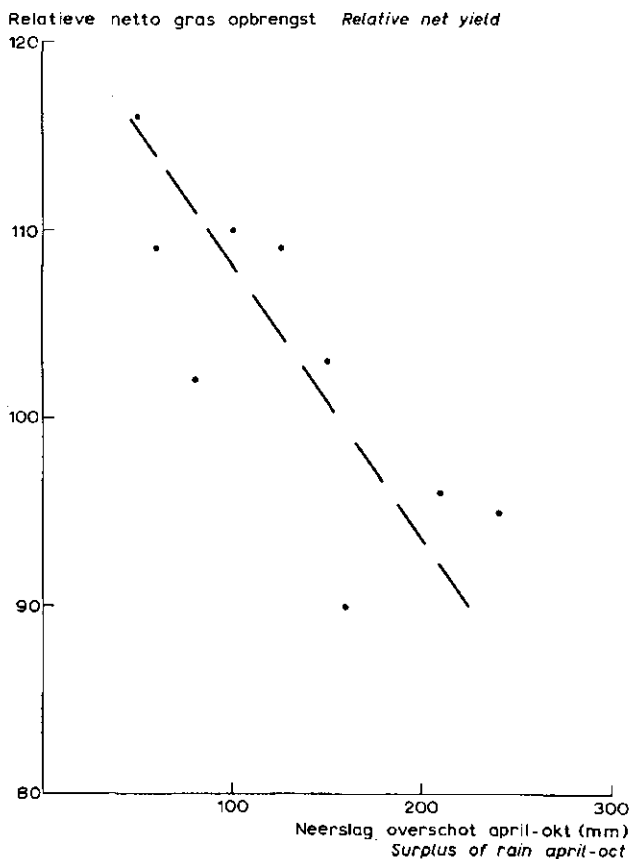


FIG. 2. Netto-opbrengst van grasland in afhankelijkheid van de regen in de zomer (naar 'T HART, 1960)

FIG. 2. *Net yield of grassland in dry and wet summers (after 'T HART, 1960)*

De grasgroei profiteert dan ook zeer van regenrijke zomers. Hoewel dergelijke zomers gepaard gaan met weinig zon en lage temperaturen is toch de grasopbrengst hoger naarmate de zomer natter is. Dit is evenwel de bruto-opbrengst. Onder de netto-opbrengst verstaan we de hoeveelheid veevoeder, die van het grasland kan worden geoogst. Deze oogst geschiedt door beweiding en door maaien voor bereiding van hooi en kuilvoer. De netto-opbrengst, uitgedrukt in kg zetmeelwaarde per ha, blijkt in het algemeen hoger te zijn naarmate de zomer droger is, zie figuur 2, overgenomen van 'T HART (1960).

Dit verschil tussen bruto- en netto-opbrengst in reactie op het weer vindt zijn oorzaak hoofdzakelijk in beweidingsmoeilijkheden. Die komen vooral tot uiting in de nazomer, wanneer de neerslag de verdamping overtreft.

Een koe blijkt op de bodem een druk uit te oefenen van ongeveer 5 kg/cm^2 . De draagkracht van de grond, die met een sonde kan worden gemeten, neemt af met het vochtgehalte. Figuur 3 geeft daarvan een voorbeeld. Wanneer de draagkracht onvoldoende is, trappen de koeien de grasmat kapot.

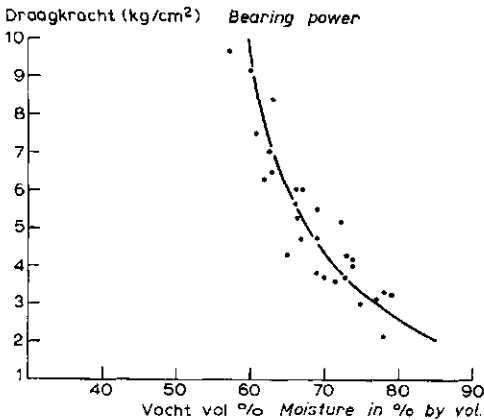


FIG. 3. De draagkracht van een perceel veengrasland in afhankelijkheid van het vochtgehalte

FIG. 3. *The relation between moisture content and bearing capacity of a peat grassland*

Hierdoor treedt een heel complex van schade-oorzaken op. In de eerste plaats daalt het beweidingsrendement. Houdt de ongunstige toestand aan, dan wordt de grasmat zodanig beschadigd dat de boer het vee liever op stal zet. Dan moet hij echter zorgen voor extra veevoer boven de normale hoeveelheid die hij in de winter gebruikt. Vroeger, in de tijd van ruim arbeidsaanbod, werd onder natte omstandigheden het vee eerder op stal gezet dan tegenwoordig. Men ging dan gras maaien met de zeis en haalde het per boot naar de schuur. Dat kost tegenwoordig teveel arbeid en wordt niet gedaan.

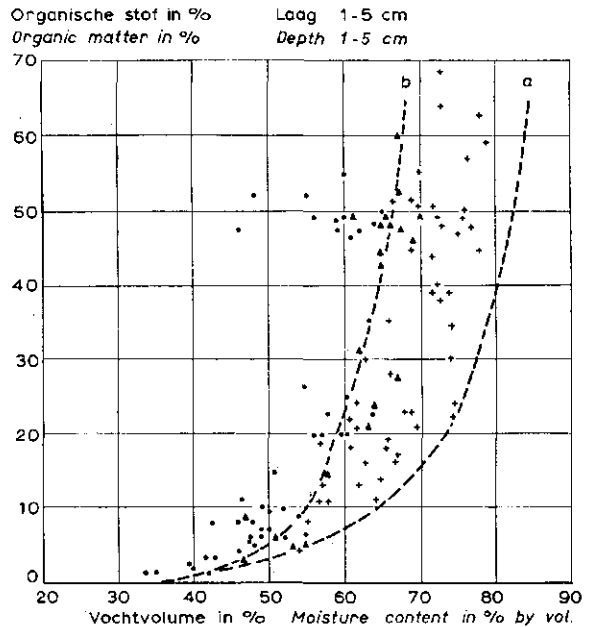
De ontstane schade is moeilijk te begroten. SCHOTHORST (1963) vergeleek de

beweidingsrendementen op middelhoge en lage zandgronden en op veen. Hij vond voor middelhoge zandgrond gemiddeld 66% rendement en voor lage zandgrond en veen 56%. Een verschil dus van 10% van de brutoproduktie, overeenkomend met bijna 20% van de nettoproduktie. Dit moet geheel worden toegeschreven aan de geringere draagkracht van de lage zandgronden en van veen.

FIG. 4. Relatie tussen vochtgehalte, organische stof en draagkracht van grasland. Lijn b is de 'vertrappingsgrens'. Grasland links van deze lijn is stevig, rechts onvoldoende draagkrachtig. Lijn a is het gemiddelde poriënvolume (naar SCHOTHORST, 1963)

FIG. 4. The relation between organic matter, moisture content and bearing capacity of grassland. Points to the left of line b represent grasslands with sufficient bearing capacity. To the right of line b the grassland is susceptible to trampling. Line a gives the mean pore volume (after SCHOTHORST, 1963)

- voldoende draagkrachtig/sufficient bearing capacity $> 7 \text{ kg/cm}^2$
- ▲ licht gevoelig voor vertrapping/slightly susceptible to trampling $5-7 \text{ kg/cm}^2$
- + te slap/too loose $< 5 \text{ kg/cm}^2$



Hoewel het niet bepaald eenvoudig is de schade van geringe draagkracht exact te bepalen, is het voor de practici duidelijk dat deze vrij groot is. Het is dan ook de moeite waard na te gaan waardoor de draagkracht wordt beïnvloed. Figuur 4 geeft het verband dat in het veld werd gevonden tussen de draagkracht, het vochtgehalte en het organische stofgehalte. Het draagvermogen van 5 tot 7 kg/cm^2 kan de vertrappingsgrens worden genoemd. Hoe veniger de grond is, des te hoger ligt het toelaatbare vochtgehalte. Op zichzelf lijkt dit merkwaardig; men bedenke echter dat het vochtgehalte geen goede maat is voor de natheid van de grond. Wel een goede maat is de vochtspanning of de pF. De pF van de vertrappingsgrens ligt voor weinig humeuze zandgronden zeer laag; zelfs bij zeer hoge grondwaterstanden blijven deze

gronden draagkrachtig. Echte veengronden moeten diep worden ontwaterd om draagkrachtig te zijn (zie tabel 2).

TABEL 2. Vochtgehalte, pF en ontwateringsdiepte behorende bij de vertrappingsgrens

Grondsoort	Org. stof (%)	Vochtgehalte (vol. %)	pF	Ontw. diepte (cm)
Zand/Sand	2—3	43	0,0	1
Sterk humeus zand/ Sand with much organic matter	10—17	57	2,0	100
Veen/Peat	40—50	66	2,1	130
Soil type	Org. matter (%)	Moisture content (vol. %)	pF	Drainage depth (cm)

TABLE 2. Moisture content, pF and drainage depth of grassland which is near the bearing capacity limit for trampling

Een dergelijke diepe ontwatering is in Nederland op veengrond onbekend en in natte zomers komt dan ook regelmatig vertrappings schade voor. Deze diepe ontwatering zou echter ongewenst zijn, in verband met het gevaar voor irreversibele indroging (HOOGHOUDT e.a., 1961). Tenslotte is zo'n diepe ontwatering ook niet nodig. Op een grondwaterstandsproefveld in Zegveld bleek dat de veldjes met een ontwateringsdiepte van ongeveer 60 cm steeds draagkrachtig waren. De vochtgehalten bleken ongeveer 10 vol. % lager te liggen dan van de veldjes met meer normale ontwateringsdiepten van ongeveer 30 cm. Door de diepere ontwatering is de grond dus veranderd. De grond is enigszins irreversibel ingedroogd, zonder dat daardoor tot dusver schade is ontstaan. Ook in het droge jaar 1959 had de waterstand van 60 cm onder maaiveld geen nadelig effect.

Irreversibele indroging, hoewel in sterke mate uiterst schadelijk, zou dus bij voorkomen in lichte mate, gunstig zijn door verhoging van de draagkracht. Reeds bij een ontwatering van 60 cm bleek die verhoging gerealiseerd te kunnen worden. De normale slootwaterstanden in de veengebieden zijn echter ongeveer 30 cm, terwijl de grondwaterstanden in de herfst vaak in de buurt van 0 tot 10 cm liggen.

Wil het veengrasland draagkrachtig worden, dan zal er dus heel wat moeten verbeteren aan de ontwatering. Of het echter gewenst is dieper te ontwateren dan nu het geval is, blijft echter nog de vraag. Het optreden en het herstel van irreversibele indroging is waarschijnlijk een langdurige kwestie. Na één zeer droog jaar als 1959 is veengrond nog niet schadelijk ingedroogd. Daarvoor moet een aantal droge jaren niet lang na elkaar voorkomen. Evenzo herstelt

een irreversibel ingedroogde veengrond zich weer, als een opeenvolging van natte zomers voorkomt.

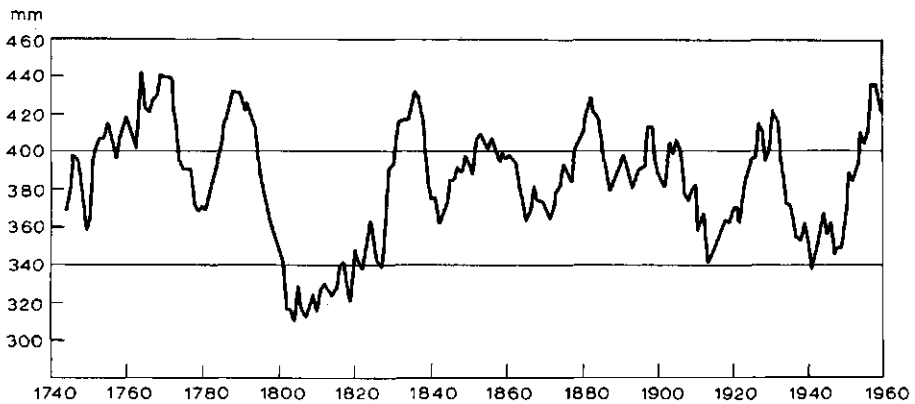


FIG. 5. Regenval in de zomer (april tot en met september) van 1734 tot heden (naar LABRIJN, 1945). De lijn geeft het voortschrijdend gemiddelde over 10 jaar. Het punt 1960 stelt de gemiddelde neerslag voor van 1951—1960

FIG. 5. *Progressive mean, over 10 years, of the rainfall in summer. Point 1960 represents the mean of 1951—1960 incl.*

In figuur 5, die het voortschrijdend gemiddelde van de zomerregenval geeft, ziet men dat we nu leven in een tijd met veel regen, zodat we ons zorgen maken over de vertrapping. Vlak na de oorlog leefden we in een periode met vrij droge zomers. Toen maakten we ons zorgen over irreversibele indroging.

De praktijk heeft zich aan deze klimaatschommelingen aangepast met de nu bestaande ontwatering. Daartegen zijn echter twee bedenkingen aan te voeren. In de eerste plaats zou die aanpassing wel wat minder star kunnen zijn. In droge perioden zou het polderpeil wat hoger kunnen liggen dan nu, en in natte wat lager.

De tweede bedenking is, dat de praktijkaanpassing van het polderpeil geldt voor de landbouw-economische omstandigheden van de afgelopen eeuwen. De tegenwoordige arbeidsschaarste eist drogere grond. Als het klimaat niet droger wordt, zal de mens het land droger moeten maken dan het vroeger was.

3. GRONDBEWERKING IN HET VOORJAAR

Met de voorjaarsgrondbewerking wordt het zaai-bed gemaakt voor de zomer-gewassen. De grondbalken, die de ploeg in de vorige herfst heeft gemaakt, worden vlak gesleept. De grond moet daarbij verkrumelen om een goede aansluiting van het zaad met de grond mogelijk te maken.

De vochttoestand van de grond bepaalt of een goede verkrumeling zal op-

trede. De grond kan daarvoor te nat zijn en ook wel te droog. Dit laatste komt weinig voor. Meer algemeen is het probleem dat men langer moet wachten dan men zou willen, voordat de grond droog genoeg is. Hoe vroeger men zaait, des te hogere opbrengst wordt verkregen en des te gunstiger wikkelt zich de arbeidsfilm in het bedrijf af.

Men kan pas met de bewerking beginnen als de grond vrij droog is. Wanneer men in het vroege voorjaar langs bouwland rijdt ziet men dat de grond die licht gekleurd is wordt bewerkt; de donkere, vochtige grond ligt nog verlaten. Bij een bezoek aan Zeeland vonden wij dat geen gronden werden bewerkt met een $pF < 3,0$. In drogere toestand was de grond steeds bewerkbaar of bijna bewerkbaar.

Het spreekt vanzelf dat gronden met wateroverlast, in de vorm van een te hoge waterstand, later bewerkbaar zijn en dus later een $pF 3,0$ bereiken dan grond met een goede ontwatering. Uit de eerste moet voor het bereiken van deze pF -waarde meer vocht verdampen dan uit de laatste. Het was tot nog toe echter moeilijk hieraan een kwantitatieve beschouwing te wijden, omdat het mechanisme van de vochtonttrekking niet exact bekend was. Nu we enig inzicht hebben in de onverzadigde stroming van vocht in grond is dat wel mogelijk (WESSELING, 1960; WIND, 1960).

Onder invloed van de verdamping droogt het bovenste laagje van de grond uit. Daardoor ontstaat een gradiënt in de vochtpotentialen tussen deze laag en een diepere, waardoor een vochtstroming naar boven ontstaat. Het gevolg daarvan is dat nu de tweede laag droger wordt en de geschiedenis herhaalt zich. Er ontstaat dus een vochtstroom door het hele profiel. Zijn debiet is ongeveer gelijk aan de verdamping. Het kan niet groter zijn, want dan zou de bovengrond natter worden ondanks de verdamping. Maar het debiet kan ook niet veel kleiner zijn, omdat in dat geval een zo groot potentiaalverval zou ontstaan dat het debiet weer toeneemt. De bovengrond droogt dus in eerste instantie zover uit dat de potentiaal-gradiënt een vochtstroom doet ontstaan, welks debiet door het hele profiel ongeveer gelijk is aan de verdamping.

De aanwezigheid van een eindige potentiaal en een gradiënt veronderstelt een potentiaal nul op zekere diepte, ter hoogte van het grondwater. Er wordt dus vocht onttrokken aan het grondwater, waardoor het freatisch vlak daalt. Daardoor neemt het potentiaalverval af en moet de vochtspanning op maai-veld-hoogte stijgen om eenzelfde debiet in stand te kunnen houden.

Dit proces gaat door totdat de bovengrond zo droog is dat de dampspanning een belemmering wordt voor de verdamping. Deze remming treedt pas op bij $pF 5$, zodat dit bij $pF 3$ nog niet speelt.

We zetten nu naast elkaar de vochtgehalten die in het profiel aanwezig zijn op het tijdstip dat de uitdroging begint en de vochtgehalten die behoren bij

een bepaald debiet van de stijgende vochtstroom, waarbij aan het maaiveld een pF 3 bestaat.

De eerste vinden we uit de voorwaarde, dat in toestand van veldcapaciteit $\Psi = h$, ofwel de vochtspanning is gelijk aan de hoogte boven het grondwater. De laatste wordt gevonden uit de stromingswet van DARCY,

$$v = k \left(\frac{d\Psi}{dh} - 1 \right) \quad (1)$$

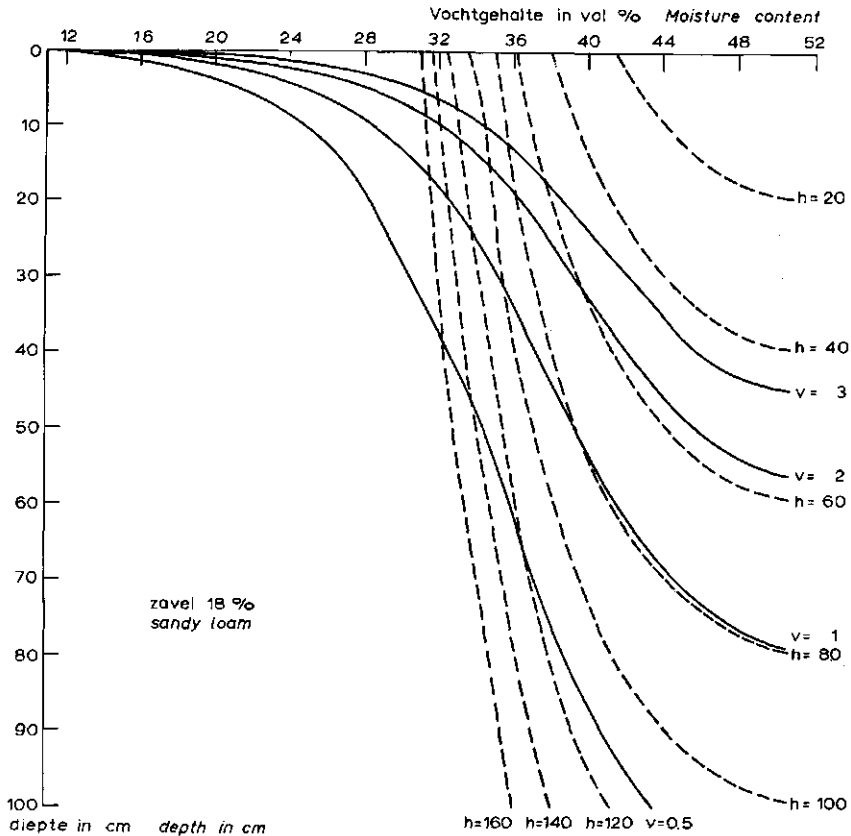


FIG. 6. Vochtverdeling in een zavelgrond bij capillaire stroming, waarbij aan het maaiveld de $pF = 3$ (getrokken lijnen). v is de stroomsnelheid in mm/dag. De onderbroken lijnen geven de vochtverdeling als regen en verdamping nihil zijn. h is de grondwaterdiepte onder maaiveld in cm

FIG. 6. The full lines give the moisture distribution in a sandy loam if different amounts of capillary flow (v in mm/day) occur. The broken lines represent the moisture distribution if rainfall and evaporation are zero. h is the groundwater depth in cm below soil surface

waarin Ψ de vochtspanning is, h de hoogte boven het grondwater, k het capillair geleidingsvermogen en v het debiet.

Het capillair geleidingsvermogen is afhankelijk van de vochtspanning volgens de formule van GARDNER (1958):

$$k = \frac{a}{\Psi^n + b} \tag{2}$$

Daarin zijn a , b en n constanten. Voor kleigronden is n ongeveer 2. Door substitutie van (2) in (1) vinden we:

$$h = \frac{a}{v} \int \frac{d\Psi}{\Psi^2 + b + \frac{a}{v}} = \frac{a}{v} \frac{1}{\sqrt{b + \frac{a}{v}}} \operatorname{arctg} \frac{\Psi}{\sqrt{b + \frac{a}{v}}} \tag{3}$$

Uit de randvoorwaarde ($\Psi = 0$; $h = 0$) blijkt de integratieconstante 0 te zijn. In figuur 6 zijn deze curven zodanig getekend dat op maaiveldshoogte pF 3 heerst. In plaats van de vochtspanning is daarin het vochtgehalte gebruikt. Bovendien staan hierop de vochtverdelingen die aan het begin van de droge periode bij verschillende grondwaterstanden voorkomen. Figuur 6 geldt voor een zavelgrond met 18% slib. Figuur 7 voor een kleigrond met 45% slib.

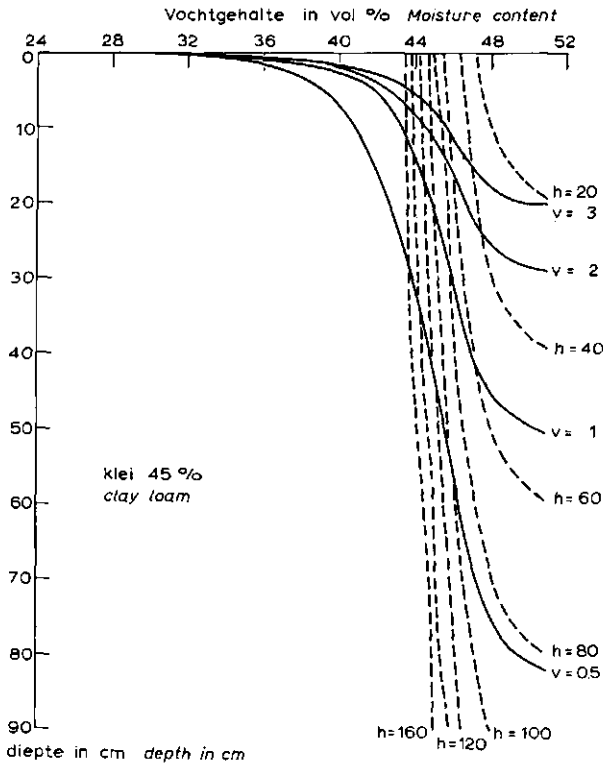


FIG. 7. Vochtverdeling in kleigrond; zie fig. 6

FIG. 7. Moisture distribution in clay loam; see fig. 6

Men vindt nu de hoeveelheid te onttrekken vocht, door de oppervlakte te bepalen, gelegen tussen de lijn van een bepaald debiet en die van een bepaalde begin-grondwaterstand. Door de vochthoeveelheden te delen door de verdamping, vindt men de tijd tussen het begin van een droge periode en het moment waarop de grond bewerkbaar is. Deze cijfers staan in tabel 3.

TABEL 3. Tijdsduur in dagen tussen het begin van een droge periode en het moment waarop de grond bewerkbaar is

	Verdamping (mm/dag)	Grondwaterstand (cm)							
		160	140	120	100	80	60	40	20
Klei 45% slib/Clay	1	3	4	5	6	8	10	17	25
loam 45% < 16 μ	2	1	1	2	2	2	3	4	7
Zavel 18% slib/Silt	2	3	4	6	9	14	33	54	69
loam 18% < 16 μ	1	1	1	2	3	4	5	13	20
	Evaporation (mm/day)	Depth of groundwater (cm)							
		160	140	120	100	80	60	40	20

TABLE 3. Time in days between the beginning of a dry period and the moment the soil is tillable

Men ziet dat de invloed van het grondwater bij de zavel veel groter is dan bij de klei. Dat wordt voornamelijk veroorzaakt door verschillen in de pF-curve (fig. 8). De zavel heeft veel meer vocht tussen pF 1 en 2 dan klei.

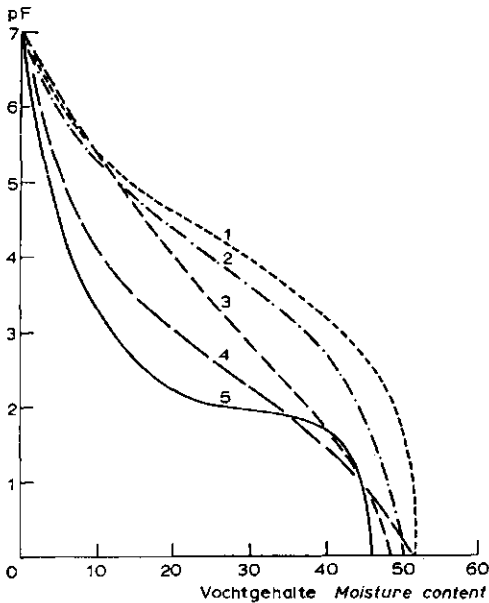


FIG. 8. Vochtkarakteristieken van verschillende gronden

FIG. 8. pF-curves of different soils

1. lichte zavel/loamy sand
9% < 16 μ
2. zavel/sandy loam 18% < 16 μ
3. zware zavel/loam 29% < 16 μ
4. zeeklei/clay loam 45% < 16 μ
5. zware zeeklei/clay 66% < 16 μ

Tabel 3 geeft nog weinig informatie, zolang we niet weten hoe groot de verdamping is; er is namelijk een enorm verschil tussen de wachttijden bij 1 en die bij 2 mm verdamping. Het zaaien en de vooraf benodigde grondbewerking vinden slechts plaats in een droge, meestal zonnige periode, waarin de verdamping hoger is dan de gemiddelde waarde. Een dergelijke periode omstreeks half februari heeft een verdamping van 1 mm/dag en omstreeks half maart 2 mm. Dit geldt voor het zuidwesten van ons land; in het noorden kan men deze waarden een halve maand later vinden.

Wanneer we in aanmerking nemen, dat droge perioden in ons land vrij zeldzaam zijn en kort duren, zien we dat vroeg zaaien alleen mogelijk is bij zeer diepe ontwatering, vooral als het zavelgronden betreft. Het voordeel van vroeg zaaien bedraagt volgens WIND (1960) $1/2$ tot 1% van de opbrengst, per dag eerder zaaien. Kan men dus door een betere ontwatering twee weken eerder zaaien dan anders, dan is het voordeel daarvan ongeveer 200 gulden per hectare.

4. OOGST

Van wateroverlast wordt vooral bij de oogst veel hinder ondervonden. Dat geldt natuurlijk in de eerste plaats voor bieten en aardappelen. De graanoogst valt in juli en augustus, wanneer de verdamping nog vrij groot is. Doorgaans bestaat dan nog een vochtdeficit in de grond. De invoering van de combine (maai-dorsmachine) voor de graanoogst gaat zeer langzaam, omdat ons klimaat weinig geschikt is om het gewas droog te krijgen. Maar in de zomer is de grond nog stevig genoeg voor zulke zware werktuigen.

Tegen eind september is gewoonlijk het vochtdeficit in de grond aangevuld met regenwater. De grondwaterstanden beginnen dan te stijgen en de draagkracht van de grond neemt af. De wielen van de werktuigen zakken zo ver in de grond tot er evenwicht bestaat tussen de druk per eenheid van dragend oppervlak en de draagkracht van de grond.

Over het rijden op grond („off-the-road locomotion”) is op het ogenblik vrij weinig fundamenteels bekend. BEKKER (1960), één van de weinige deskundigen op dit gebied, van de U.S. Army Ordnance Tank-Automotive Command, schrijft: De tegenwoordige kennis van principes van de „off-the-road locomotion” kunnen worden vergeleken met de kennis van de aeronautica omstreeks 1910. Of een vliegmachine als één- of twee-dekker moest worden uitgevoerd was toen een kwestie van gokken.

Toch is het BEKKER gelukt een bruikbare empirisch-theoretische conceptie op te stellen over het rijden op grond en sneeuw. De maximale horizontale druk, die een trekker op de grond kan uitoefenen („soil thrust”) H is:

$$H = Ac + Wtg \Phi$$

Hierin is A de oppervlakte van het contact van de trekker met de grond en W zijn gewicht; c is de cohesie (kg/cm^2) en Φ de zogenaamde wrijvingshoek. In wrijvingsloze cohesieve gronden (natte klei) is $\Phi = 0$. De trekkracht is alleen afhankelijk van de grootte van het grondcontact.

Op droog zand is $c = 0$ en de trekkracht wordt bepaald door het gewicht van het voertuig. Voor de meeste gronden geldt dat $c \neq 0$ en $\Phi \neq 0$. Daaruit volgt dat voor elke toestand van de grond een bepaalde verhouding tussen gewicht van de trekker en de oppervlakte van het grondcontact ideaal is. Het is bekend dat zowel de cohesie (c) als de wrijvingshoek (Φ) afnemen naarmate de grond natter is. De trekprestatie neemt dus af bij nattere gronden. Onvoldoende is nog bekend over de relaties tussen c en Φ met het vochtgehalte om een kwantitatieve beschouwing te kunnen geven over trekkracht en vochtgehalte. Een ding staat echter vast: *voor mechanisatie is droge grond nodig.*

Een diepe ontwatering is dus vereist. Enerzijds omdat bij een diepe grondwaterstand lage vochtgehalten in de bouwvoor passen. Anderzijds omdat men tengevolge van diepe ontwatering in de zomer een groot vochtdeficit in de grond krijgt, dat pas laat in de herfst weer is aangevuld.

Wat gebeurt er nu als de grond te vochtig is? Dat kan zelfs bij diepe ontwatering voorkomen, als er maar veel regen valt. De trekkracht wordt dan onvoldoende, er treedt slip op en de wielen gaan zich ingraven. Daardoor wordt het grondcontact groter.

De factor A in de vergelijking wordt dus groter en daarmee de maximale trekkracht. De uitwendige weerstand neemt echter ook toe. Deze bestaat volgens BEKKER uit:

- 1e. Samendrukking van de grond
- 2e. Vooruit schuiven van de grond („bulldozing”)
- 3e. Meeslepen van grond.

Bij te vochtige omstandigheden wordt de grond dus samengedrukt en heftig geroerd door het slippen, het voortduwen en het meeslepen.

Bij kortdurende belasting gaat de samendrukking door totdat de grond volledig is verzadigd. Dit wordt aangetoond in figuur 9, overgenomen van SÖHNE (1955). De oorzaak daarvan is dat de doorlatendheid voor lucht ongeveer 60 x zo groot is als die voor water. Laat de grond zich onder de wielen niet verder samendrukken, dan vloeit ze zijdelings onder de wielen weg.

Het gevolg van de belasting is een structuurbederf van de grond op twee manieren. De eerste is een direct gevolg van de samendrukking. Voor de bouwvoor is dat niet zo gevaarlijk, omdat zij naderhand toch weer wordt losgeploegd en aan de structuurverbeterende werking van vorst en dooi bloot staat. De samendrukking is gevaarlijker voor de ondergrond. Die wordt niet losgemaakt door grondbewerking en op die diepte is er geen frequente afwisseling tussen

FIG. 9. De invloed van druk op het poriënvolume van grond bij verschillende vochtgehalten (naar SÖHNE, 1955)

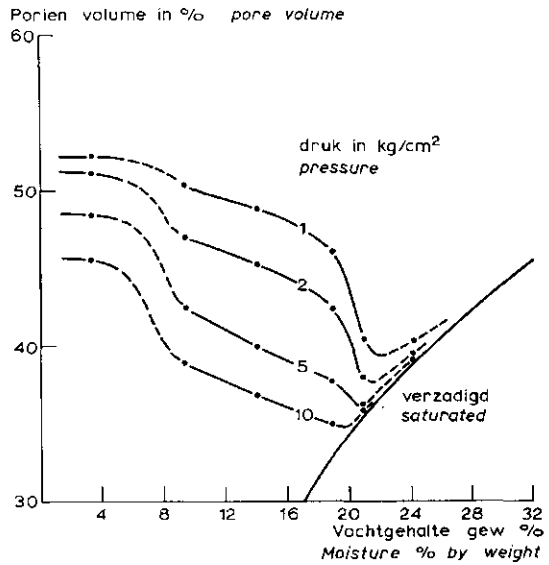


FIG. 9. Effect of pressure on the pore volume of a soil at different moisture contents (after SÖHNE, 1955)

bevriezen en ontdooien. Dat de ondergrond kan worden samengedrukt, toont figuur 10 (eveneens van SÖHNE). Samendrukking betekent verkleining van de poriën, en dus afname van de doorlaatfactor. De grond wordt dus natter door het gebruik van zware werktuigen.

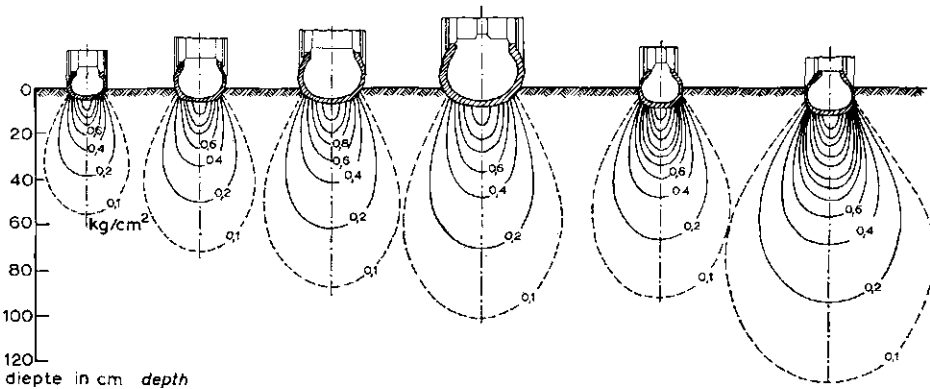


FIG. 10. Drukverdeling in grond onder tractor- en wagenbanden (naar SÖHNE, 1955)

FIG. 10. Pressure distribution in a soil under tractor- and wagontires (after SÖHNE, 1955)

De tweede vorm van structuurbederf is nog ernstiger. Wanneer de grond is samengedrukt tot alle poriën zijn gevuld met water, gaat de nu plastische grondmassa zijdelings wegstromen onder de druk van de wielen. De grond wordt ge-

kneed en vervormd. Dat gebeurt ook al door het „bulldozing” effect van de wielen.

Blijkens onderzoek van KOENIGS (1961) worden de aggregaten (structuurelementen) vernietigd, door natte grond te roeren. Een gedeelte van het materiaal peptiseert en geraakt dus in een colloïdale toestand, waarbij grote hoeveelheden water kunnen worden gebonden. KOENIGS nam vochtgehalten waar van meer dan 100 gew. % in kleien die normaal in verzadigde toestand minder dan 50% vocht bevatten.

Wat KOENIGS de grond in het laboratorium aandeed doen de werktuigen in het veld. Door bewerking onder te natte omstandigheden ontstaat een taai vloeibare grondpasta, die zeer veel water vasthoudt, maar niet doorlaat. Pas door herhaalde inwerking van droogte en vorst ontstaat een nieuwe structuur in de grond.

Was de eerste conclusie uit dit hoofdstuk: *voor mechanisatie is droge grond nodig*, de tweede moet zijn: *mechanisatie maakt de grond nat*.

Uit deze twee conclusies zou moeten volgen dat de mechanisatie zichzelf onmogelijk maakt. Deze kettingreactie treedt inderdaad op wanneer de grond niet droog genoeg is. Bij voldoende droge grond gaat de samendrukking niet tot volledige verzadiging en komt dus geen structuurverval voor.

Uit figuur 9 blijkt dat de samendrukking pas ernstig wordt, wanneer een bepaald vochtgehalte wordt overschreden. Dit vochtgehalte komt natuurlijk overeen met een bepaalde vochtspanning. Deze ligt ongeveer bij 100 cm. De grondwaterstand in de herfst zal dus ook in die buurt moeten liggen, liefst nog dieper.

De mogelijkheid machinaal te kunnen oogsten is een levensbelang voor de moderne landbouw. Het onderzoek heeft tot nu toe vrij weinig aandacht besteed aan de factoren rondom die mogelijkheid. Wij weten nog maar heel weinig over de cohesie en de wrijvingshoek van grond. De structuur is nog altijd een raadselachtig fenomeen. De draagkracht en de samendrukbaarheid van grond worden in de landbouw nauwelijks bestudeerd. De invloed van samendrukking en versmering krijgt nog veel te weinig interesse. Hoe dit alles samenhangt met de textuur van de grond, met de ontwatering en met allerlei landbouwpraktijken, zoals organische bemesting, is nagenoeg onbekend.

Hier is een enorme lacune in onze kennis. Het onderzoek dat nodig is om deze op te vullen is niet alleen theoretisch zeer interessant, maar ook van een zeer groot praktisch belang.

5. SAMENVATTING

Als criterium voor de te kiezen diepte van de grondwaterstand wordt vanouds

de optimale groei van de gewassen gekozen. Door de sterke mechanisatie van de landbouw heeft de vochttoestand van de grond een zeer belangrijke invloed gekregen op de produktiekosten. In de moderne landbouw, die behalve door de mechanisatie ook wordt gekenschetst door schaarste aan arbeidskrachten, moeten voor de ontwatering andere criteria worden aangelegd dan vroeger. In het algemeen zal men drogere omstandigheden moeten hebben, die gedeeltelijk door diepere ontwatering kunnen worden verkregen. Dit wordt toegelicht met drie voorbeelden.

Vertrapping van grasland treedt op, wanneer de grond te nat is. Om dit te voorkomen zet de boer zijn koeien op stal. Vroeger ging men dan het gras met de zeis maaien. Nu de arbeid schaars is, is dat niet meer mogelijk. De schade bedraagt op vertrappingsgevoelige gronden 15 à 20% van de nettoproduktie. Een diepere ontwatering maakt de zode draagkrachtiger, maar ook meer gevoelig voor irreversibele indroging.

Vroeg zaaien resulteert niet alleen in een hogere gewasopbrengst, maar ook in een betere verdeling van de werkzaamheden over het jaar. Dat is nogal van belang bij het opeenzetten van bieten. Vroeg zaaien op kleigrond is slechts mogelijk bij zeer diepe ontwatering, dieper dan het optimum voor de opbrengst.

Over het rijden op grond is weinig bekend. Het ligt voor de hand dat het op droge grond gemakkelijker gaat dan op natte; bovendien wordt de grond ernstig beschadigd, wanneer daarover onder te natte omstandigheden wordt gereden. Structuurverval en vermindering van de doorlatendheid zijn het gevolg. Hoe droog de grond moet zijn kan nu nog niet worden gezegd. Wanneer machinaal rooien van hakvruchten niet mogelijk is, zoals bijvoorbeeld in 1960, is de schade enorm want de arbeidsbezetting van de bedrijven is niet meer aangepast aan handwerk.

LITERATUUR

- | | |
|---|--|
| BEKKER, M. G. | Off the road locomotion. Univ. Mich. Press, 1960. |
| BOGAERDS, N. | Statistisch overzicht van de uitkomsten van landbouwbedrijven. <i>Bedrijfsecon. Med. Landb. Ec. Inst.</i> no. 41, 1961. |
| GARDNER, W. R. | Some steady state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application from a watertable. <i>Soil Sci.</i> 85, pag. 228-232, 1958. |
| HART, M. L. 'T | De opbrengst van grasland op de stikstof proefbedrijven. <i>Stikstof</i> 25, pag. 21-27, 1960. |
| HOOGHOUDT, S. B.,
D. VAN DER WOERDT,
J. BENNEMA en
H. VAN DIJK | Verdrogende veengronden in West-Nederland. <i>Versl. Landbh. Onderz.</i> 66.23, 1961. |

- KOENIGS, F. F. R. The mechanical stability of clay soils as influenced by the moisture conditions and some other factors. *Versl. Landbk. Onderz.* 67.7, 1961.
- KUPERUS, J. A. Statistisch overzicht van de uitkomsten van landbouwbedrijven. *Bedrijfsecon. Med. Landb. Ec. Inst.* no. 18, 1954.
- LABRIJN, A. Het klimaat van Nederland gedurende de laatste twee en een halve eeuw. *Med. Verh. K.N.M.I.* 49, 1945.
- SCHOTHORST, C. J. De draagkracht van graslandgronden. *Tijdschr. Kon. Ned. Heidemij*, 74, pag. 104-111, 1963.
- SÖHNE, W. Die Verdichtbarkeit des Ackerbodens unter Berücksichtigung des Einflusses organischer Bestandteile. *Z. Pflz. ern., Düngung, Bodenk.* 69, pag. 116-125, 1955.
- SNIJDERS, J. H. Vochttoestand van de grond en arbeidsbehoefte. Rapport. Inst. v. Cult. en Waterh. no. 5, 1958.
- VISSER, W. C. De Landbouwwaterhuishouding van Nederland. *Comm. Ond. Landbouwwaterh. Ned. T.N.O.*, 1958.
- WESSELING, J. Principles of the unsaturated flow and their application to the penetration of moisture into the soil. *Versl. en Med. Comm. Hydrol. Ond. T.N.O.* no. 5, 1960.
- WIND, G. P. Opbrengstderving door te laat zaaien. *Landbk. Tijdschr.* 72, pag. 111-118, 1960.
- Capillary rise and some applications of the theory of moisture movement in unsaturated soils. *Versl. en Med. Comm. Hydrol. Ond. T.N.O.* no. 5, 1960.