303 C 50

BODEMBEHANDELING IN DE FRUITTEELT

DEEL 1

J. BUTIJN

NN08201.296

AN ENGLISH SUMMARY
WILL BE FOUND IN VOLUME 3
PAGE 383 ETC.

Dit proefschrift met stellingen van
JOHANNIS BUTIJN
landbouwkundig ingenieur,
geboren te Halsteren, 3 augustus 1923,
is goedgekeurd door de promotoren
IR. F. HELLINGA,
Hoogleraar in de Cultuurtechniek en
DR. A. C. SCHUFFELEN
Hoogleraar in de Landbouwscheikunde

De Rector Magnificus
der Landbouwhogeschool
W. F. EIJSVOOGEL

Wageningen, 1 december 1960

BODEMBEHANDELING IN DE FRUITTEELT

SOIL MANAGEMENT IN FRUIT CULTURE

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DE GRAAD
VAN DOCTOR IN DE LANDBOUWKUNDE
OP GEZAG VAN DE RECTOR MAGNIFICUS, IR. W. F. EIJSVOOGEL,
HOOGLERAAR IN DE HYDRAULICA, DE BEVLOEIING,
DE WEG- EN WATERBOUWKUNDE EN DE BOSBOUWARCHITECTUUR,
TE VERDEDIGEN TEGEN DE BEDENKINGEN
VAN EEN COMMISSIE UIT DE SENAAT
DER LANDBOUWHOGESCHOOL TE WAGENINGEN
OP VRIJDAG, 20 JANUARI 1961 TE 16 UUR

DOOR

J. BUTIJN

DEEL I

CENTRUM VOOR
LANDBOUWPUBLIKATIES EN pudoc LANDBOUWDOCUMENTATIE
WAGENINGEN - 1961

STELLINGEN

I

Het effect van het „meiregentje" moet toegeschreven worden aan zijn gunstige invloed op de stikstofvoeding van de gewassen.

II

Het calcium-kalium antagonisme beschreven door LUNDEGÅRDH kan ook opgevat worden als een magnesium-kalium antagonisme.
LUNDEGÅRDH H. *Die Blattanalyse* 1945

III

Het is beter te spreken over de exploitatie-rekening van een bepaalde meststof in de bodem, dan over een meststofbalans.

IV

Het is voor de regeling van de vochttoestand van de bodem in de Nederlandse land- en tuinbouw van groot belang indien per week (of per decade) regionaal neerslag en verdamping (van een vrij wateroppervlak) worden bepaald en terstond worden bekend gemaakt.

V

De bepaling van de „mean integrated soil moisture stress" volgens STERLING TAYLOR – de gemiddelde bodemvochtspanning over een bepaald deel van het doorwortelde profiel en over een bepaalde periode – heeft voor Nederland weinig zin.
STERLING TAYLOR, *Soil Science* 73 (1952) 331–340

VI

Er bestaat behoefte aan een snellere overdracht naar de voorlichtingsdienst van de inzichten die verkregen zijn door het recente onderzoek aangaande de regeling van de waterhuishouding voor tuinbouwgewassen.

VII

Microbiologisch onderzoek inzake het optreden van voedingsziekten in de fruitteelt zal leiden tot een verbeterd inzicht in de oorzaken van deze deficienties.
MARTIN, J. P. L. c.s., *Soil Sci.* 81 (1956) 259–268
HOAGLAND, D. R. c.s., *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 34 (1936) 213–215

VIII

Bij een voortgaande stijging van het inkomen per hoofd zal in West-Europa de verhouding van het appel- ten opzichte van het sinaasappelverbruik per hoofd afnemen, maar deze verhouding zal ook bij eenzelfde welvaartspeil aanmerkelijk hoger zijn dan in de Verenigde Staten.

IX

Met het oog op de nieuwste mogelijkheden voor diepe grondbewerking en met het oog op de aanleg van drainage is het noodzakelijk dat de bodemkartering rekening houdt met een dikker pakket grondlagen dan tot nu toe.

X

Naarmate een tak van tuinbouw intensiever wordt gedreven is het minder noodzakelijk deze te vestigen op de beste bodemprofielen.
EDELMAN, C. H. *Sociale en Economische Bodemkunde* (1949)

XI

De aanduiding van onderdelen uit een publikatie, die is ingedeeld volgens een ver doorgevoerd decimaal-systeem, levert in het gebruik moeilijkheden op.

XII

Correcties in de grootte van proefbomen laten zich voorshands het meest doeltreffend uitvoeren aan de hand van de lengte van de vruchtdragende takken.
BUTIJN, J. en J. V. D. BOON, *Meded. Dir. Tuinb.* 20 (1957) 40–45

XIII

Het is noodzakelijk in het middelbaar en hoger landbouwonderwijs meer aandacht te schenken aan de „eerste hulp bij ongelukken", waarin begrepen onderricht over vergiftigingen.

XIV

De motivering van de uitvoering van een ruilverkaveling zou meer gebaseerd moeten worden op de bereidheid en het vermogen van de betrokken grondgebruikers tot het ten volle benutten van de nieuwe produktie-omstandigheden.
Meerjarenplan voor Ruilverkaveling en andere Cultuurtechnische Werken in Nederland. Centr. Cultuurtechnische Comm. (1958)

OVERZICHT VAN DE INHOUD

DEEL 1

		blz.
HOOFDSTUK 1	INLEIDING	1
HOOFDSTUK 2	DE INVLOED VAN FYSISCHE EIGENSCHAPPEN VAN DE GROND OP HET GEWAS (met grafieken en figuren)	8
SAMENVATTINGEN HOOFDSTUK 1 EN 2.		156
LITERATUUR BIJ HOOFDSTUK 1 EN 2		166

DEEL 2

HOOFDSTUK 3	DE INVLOED VAN CHEMISCHE EIGENSCHAPPEN VAN DE GROND OP HET GEWAS (met grafieken en figuren).	181
HOOFDSTUK 4	DE PRAKTIJK VAN DE BODEMBEHANDELING IN DE FRUITTEELT	248
SAMENVATTINGEN HOOFDSTUK 3 EN 4		273
LITERATUUR BIJ HOOFDSTUK 3 EN 4		281

DEEL 3

FIGUREN I-XV, TI-T4, ALLE TABELLEN EN SAMENVATTING IN DE ENGELSE TAAL

AANWIJZINGEN VOOR DE LEZER

De indeling van deze verhandeling is tot in de 4e graad uitgevoerd volgens het decimale systeem. Verdergaande indelingen zijn alleen aangegeven met de kapittel-nummers in de marge vooraan de tekst. De volledige indeling van de tekst is te vinden in de inhoud van deel 1 en deel 2.
Het merendeel van de basis-gegevens uit het onderzoek is niet opgenomen. Afschriften daarvan zijn gedeponeerd op de Afdelingen Landbouwscheikunde en Cultuurtechniek der Landbouwhogeschool en op het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, alle te Wageningen.
De figuren 56 tot 60 zijn gemaakt naar foto's van het Ministerie van Landbouw en Visserij. De overige foto's zijn door de schrijver genomen.

Dit proefschrift verschijnt tevens als Nr. 66.7 in de reeks Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen.

WOORD VOORAF

Dit proefschrift behandelt een groot deel van een onderzoek, dat in het laatste tiental jaren werd verricht, om te komen tot een betere bodembehandeling in de fruitteelt. Een dergelijk onderzoek bestaat uit een mengeling van sterk op de praktijk gerichte activiteiten, maar somtijds ook een diep gaander research.

Het is mij een behoefte de vele personen, die hebben bijgedragen tot het tot stand komen van deze verhandeling, van harte te danken.

Hooggeachte Promotoren, U Hooggeleerde HELLINGA en U Hooggeleerde SCHUFFELEN, dank ik van harte voor de leiding, die ik van U bij mijn werk mocht ontvangen. Ik prijs mij gelukkig een groot deel van dit onderzoek onder Uw supervisie in een proefschrift te hebben kunnen neerleggen. Ook Uw zorgen voor mij persoonlijk heb ik zeer op prijs gesteld.

Hooggeleerde EDELMAN, U ben ik veel dank verschuldigd voor de wijze waarop U mijn belangstelling voor de bodemkunde hebt gewekt en aangewakkerd.

Alle Hoogleraren en Lectoren van de Landbouwhogeschool, die tot mijn wetenschappelijke vorming hebben willen bijdragen, dank ik van harte voor hun onderricht.

Hoogedelgestrenge DE BAKKER, ik ben U erkentelijk, dat U mij voor deze taak hebt aangezocht en voor Uw belangstelling en adviezen, die de ontwikkeling van dit onderzoek zeer hebben bevorderd.

Hooggeachte VAN DEN BERG, U hebt, aanvankelijk op een afstand, later meer direct als mijn directeur een belangrijke steun verleend bij de opzet en de voltooiing van dit proefschrift. Ik ben U daar veel dank voor verschuldigd.

Het Bestuur van het Proefstation voor de Fruitteelt in de Volle Grond voorheen van Zeelands Proeftuin, met name U, hooggeachte VAN SOEST en VAN HENNIK, dank ik zeer voor Uw leiding bij mijn werk, in het bijzonder voor het vertrouwen in mijn persoon en het geduld dat U hebt willen oefenen, alvorens dit proefschrift tot stand kwam.

De collegiale contacten en discussies, die ik mocht hebben in de kring van de verschillende werkgroepen voor het tuinbouw-bodemonderzoek, het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, de Stichting voor Bodemkartering, het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid en het Agro-hydrologisch Colloquium, droegen eveneens veel bij tot mijn wetenschappelijke vorming en tot het verschijnen van dit proefschrift. Voor de gastvrijheid en de goede leiding binnen deze groepen ben ik U, Hooggeachte BRUIN, PIJLS en VISSER, zeer dankbaar.

Waarde MULDER, het heeft mij zeer verheugd naast een zo scherp waarnemer en zulk een belangstellend collega mijn werk als onderzoeker te kunnen beginnen.

Waarde VAN DER BOON, je persoonlijke hulp is meermalen een belangrijke steun voor mij geweest. Aan onze uitgebreide discussies zal ik dankbaar blijven denken.

Zonder de toegewijde arbeid van mijn assistenten zou het gereed komen van dit werk niet denkbaar zijn. Mijn hartelijke dank geldt allen die tot deze medewerkers hebben behoord, evenals de leden van de administratie en het tuinpersoneel van het Proefstation voor Fruitteelt in de Volle Grond. Gaarne wil ik met name bedanken mijn naaste medewerkers: Mevrouw W. F. SCHIPPER-VAN VERRE, Mej. J. C. OVAA, de heer en mevrouw BAKKER-MALJERS en de heren J. OELE, C. ZUYDWEGT en H. G. BOMHOF.

Mijn hartelijke dank geldt evenzeer IR. G. P. WIERSEMA, IR. O. TEN ZELDAM, IR. J. BUDDING, IR. A. QUAK en IR. H. JONKERS, die als student tot de oplossing van verschillende problemen bijdroegen.
Ook de goede geest en de collegiale houding van alle wetenschappelijke medewerkers en hun assistenten van het Proefstation voor de Fruitteelt in de Volle Grond houd ik dankbaar in gedachten.
Veel medewerking mocht ik ondervinden van de Rijkstuinbouwvoorlichtingsdienst; uiteraard het meest van het Rijkstuinbouwconsulentschap Zeeland. In het bijzonder dank ik de bodemkundige assistenten de heren A. OP 'T HOF en P. MEEUWSE die mij wegwijs maakten in het veld en bij het onderzoek steeds hun opbouwende kritiek hebben geleverd. Van de zijde van de fruittelers en ook door de Directie van de Koninklijke Maatschappij DE WILHELMINAPOLDER, is mij in de loop van de jaren medewerking verleend op velerlei gebied. Uit de gesprekken, die in hun boomgaarden en huizen werden gevoerd zijn verscheidene conclusies uit dit proefschrift ontsproten.
Een bijzonder woord van dank aan de heer A. POUWER en IR. N. M. DE VOS, die de inhoud van hoofdstuk 4, vooral hetgeen betrekking heeft op de toestand in het rivierkleigebied, kritisch hebben willen doornemen. Evenzeer dank ik DR. J. WESSELING, die mij hielp bij de oplossing van enkele wiskundige problemen en DRS. C. BLOKLAND, die bij de eindredactie behulpzaam was.
IR. S. H. JUSTESEN en zijn medewerkers van het Centrum voor Landbouwwiskunde ben ik dank verschuldigd voor de uitvoering en de controle van verschillende wiskundige bewerkingen.
I am very much indebted to Dr. D. W. P. GREENHAM, Head, and my dear friend Mr. J. E. GOODE, Soil Scientist, of the Fruit Nutrition Department of East Malling Research Station, England, for their generous help in the translation of the summaries and the other english texts.
Mijn hartelijke dank geldt Mej. T. KRUIZINGA, die het manuscript van deze publikatie uittypte en corrigeerde, evenals diegenen die mij bij de correctie ter zijde stonden.
Voor het vervaardigen van de figuren ben ik veel dank verschuldigd aan de heren T. KLAASSEN en J. ARIESE van de tekenkamer en de heer TH. H. VAN OSCH, van de fotokamer van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.
IR. D. J. MALTHA en de heer T. GOEDEWAAGEN van het PUDOC, dank ik voor de hulp bij het opstellen van de eindredactie, drukkerij VADA voor de vlotte wijze waarop het drukken is verzorgd.
Met dank zij vermeld, dat de verschijning van deze publikatie mogelijk is gemaakt door de opname in de reeks van de Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen en door de financiële bijdragen van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding en van het Proefstation voor de Fruitteelt in de Volle Grond. De opname van de kleurenplaten was mogelijk door de zeer gewaardeerde medewerking van de redactie van de Tuinbouwgids.
In het bijzonder dank ik mijn ouders, schoonouders en mijn vrouw, die door hun liefde en opofferingen mij in staat stelden mijn werk uit te voeren.
Bovenal past mij dank aan de SCHEPPER van al het bestaande die mij de krachten gaf om dit onderzoek te volvoeren.

INHOUD

			blz.
1.	*Inleiding*		
1.1.	Het begrip bodembehandeling	[1]*	1
1.2.	De ontwikkeling en de plaats van de bodembehandeling in de fruitteelt.	[2]	2
1.3.	Probleemstelling voor en uitwerking van het onderzoek .	[3]	5
2.	*De invloed van fysische eigenschappen van de grond op het gewas*	[4]	8
2.1.	De betekenis voor vruchtbomen van de waterhuishouding en de beworteling in de grond		9
2.1.1.	De water- en luchthuishouding van de grond boven het grondwater	[5]	9
2.1.1.1.	Maten voor de vochttoestand in de grond	[6]	9
2.1.1.2.	De grenzen aan de vochttoestand in de grond . . .	[7–8]	10
2.1.1.3.	Vochtkarakteristieken	[9]	17
2.1.1.4.	De reactie van de plantengroei op de vochttoestand van de grond	[10–21]	27
2.1.2.	De grondwaterstand		62
2.1.2.1.	Normale en lage grondwaterstanden	[22–27]	62
2.1.2.2.	Hoge grondwaterstanden	[28–31]	75
2.1.3.	Conclusies over de optimale vochttoestand in de grond voor fruit	[32]	83
2.2.	De water- en luchthuishouding in een aantal bodemprofielen in Zuidwest-Nederland	[33]	84
2.2.1.	Beschrijving van de toestand op een aantal proefplekken .	[34]	86
2.2.1.1.	Verzamelde gegevens over de beplanting	[35]	88
2.2.1.2.	Verzamelde gegevens over de meer blijvende eigenschappen van de grond der proefplekken.	[36]	90
2.2.1.3.	Verzamelde gegevens over de water- en luchthuishouding van de proefplekken	[37]	91
2.2.1.4.	Beschrijving van de toestand op een aantal proefplekken in boomgaarden	[38–43]	94
2.2.1.5.	Korte beschrijving van de toestand op een aantal proefplekken in boomgaard en in bouwland	[44]	110
2.2.2.	De invloed van de bodembehandeling op de water- en luchthuishouding van de grond	[45]	115
2.2.2.1.	Beschrijving van de toestand op een aantal proefplekken in Zeeland onder invloed van de bodembehandeling. . .	[46]	116
2.2.2.2.	De resultaten van het bodembehandelingsproefveld op het fruitteeltdemonstratiebedrijf te Hoofddorp	[47]	125
2.2.2.3.	Waarnemingen op het bodembehandelingsproefveld te Nieuwland	[48]	127

2.2.3.	Samenvatting en bespreking van de invloed van enkele systemen van bodembehandeling op de vochttoestand in de bodem en de produktie van boomgaard.		129
2.2.3.1.	Samenvattende beschrijving en bespreking van de toestand in zwartgehouden boomgaarden	[49]	129
2.2.3.2.	Samenvattende beschrijving en bespreking van de invloed die enkele systemen van bodembehandeling uitoefenen op de vochttoestand van de bodem	[50]	131
2.3.	De samenhang van bodemkundige en klimatologische factoren met de vocht- en luchttoestand van de grond in boomgaard	[51]	133
2.3.1.	Het vochtverbruik uit de grond	[52]	133
2.3.1.1.	Verdampingsmetingen en berekeningen	[53]	134
2.3.1.2.	Neerslagmetingen	[54]	136
2.3.1.3.	Vochtbalansen van boomgaard	[55]	138
2.3.1.4.	De verhouding van het vochtgebruik door boomgaard en de gemeten of berekende verdamping van een vrij wateroppervlak	[56]	142
2.3.2.	De optimale grondwaterstand	[57]	147
Samenvatting van hoofdstuk 1 en 2			156

• De cijfers tussen rechte haken zijn in de marge opgenomen om de verwijzingen in de tekst te vergemakkelijken.

1. INLEIDING

1.1. HET BEGRIP BODEMBEHANDELING

De produktie van een gewas wordt voor een groot deel bepaald door de toestand van de grond. De geschiktheid van de fysische en chemische toestand van de grond voor de plantengroei wordt veelal omschreven met de term bodemvruchtbaarheid. Deze bodemvruchtbaarheid wordt voornamelijk teweeggebracht door de bodemtemperatuur, de lucht- en waterhuishouding van de grond en de rijkdom aan plantenvoedingselementen.
In de intensief gedreven fruitteelt, waar gewerkt wordt met een meerjarig gewas, leidt een foutieve behandeling van de grond gemakkelijk tot een oogstdepressie over verscheidene jaren. De waterhuishouding en de chemische toestand van de bodem worden in belangrijke mate beïnvloed door de bodembehandeling. Daarom is bestudering van de fysische en chemische toestand van de grond hier van groot belang.

Onder bodembehandeling zullen we verstaan: alle handelingen die uitgevoerd worden om de bodemvruchtbaarheid in stand te houden of te verbeteren. Deze handelingen moeten niet alleen gericht zijn op het verkrijgen van een goede bodemvruchtbaarheid in het heden, maar ook in de toekomst.

Terwijl de term „soil management", die met onze term bodembehandeling overeenkomt, reeds geruime tijd burgerrecht heeft verkregen in de Verenigde Staten – PALMER en VAN HAARLEM 1948, BOYNTON en MAGNESS 1957 –, blijkt er in ons land geen algemeen aanvaarde uitdrukking te zijn, die de inhoud van de Amerikaanse term weergeeft. Het toenemend gebruik van de term „soil management" in de Verenigde Staten rechtvaardigt ons inziens de invoering in ons land van een begrip met dezelfde inhoud. De Nederlandse uitdrukking „bodemverzorging", die ook de maatregelen op het gebied van de bodembehandeling wil omvatten, is meer verwant aan de Duitse term „Bodenpflege" – zie KEMMER en SCHULZ 1938 –. De Franse taal kent geen staande uitdrukking voor bodembehandeling – zie bv. COUTANCEAU 1953, die het begrip omschrijft met „traveau d'entretien et fertilisation" –. Omdat de term bodembehandeling onzes inziens duidelijker aanduidt, dat het niet alleen gaat om het onderhoud, maar ook om de verbetering van de bodem, hebben we de voorkeur gegeven aan deze term boven de term bodemverzorging.

De bodembehandeling omvat aldus:
1. De *ontwatering*, in de vorm van drainage, begreppeling enz. (de afwatering valt niet onder dit begrip). In 2.1.2.2., 2.2.3.1. en 2.3.2. worden het onderzoek en de waarnemingen besproken, die voor het opstellen van ontwateringnormen in de fruitteelt zijn verricht.
2. De *wateraanvoer*, in de vorm van infiltratie, bevloeiing en besproeiing (= beregening). De normen voor en de invloed van de vochttoestand van de bodem en de waterbalans in boomgaard zijn voornamelijk behandeld in 2.1.1., 2.2., 2.3. en 3.3.
3. De *bodembegroeiing*. De veelzijdige invloed van de begroeiing wordt voornamelijk besproken in 2.1.1.4., [21], 2.2.2.1., 3.2. en 3.3. Een moderne regeling van de begroeiing is de chemische onkruidbestrijding. Hierover is door ons geen onderzoek verricht.
4. De *bodembedekking*, in de vorm van een mulch, plastic-folie etc. De invloed van de bodembedekking wordt besproken in 2.2.2.1., 3.2. en 3.3.

De bedekking heeft dus alleen betrekking op materialen, die passief de grond bedekken, zoals mulches. Een begroeiing bedekt ook de grond, maar deze wordt niet bedoeld als van een bedekking wordt gesproken.

5. De *bodembewerking*, inbegrepen de bewerking vóór de aanplant van de boomgaard. De invloed van de bewerking is niet uitvoerig onderzocht. Ze wordt wel besproken in 2.2.2.

6. De *organische en anorganische bemesting*. Onder de anorganische bemesting wordt ook begrepen de bespuiting met voedingsstoffen op de bovengrondse delen van het gewas. De invloed van de bemesting wordt voornamelijk besproken in 3.3.

7. Aan deze rij van handelingen zouden ook nog toegevoegd moeten worden de *bodemontsmetting* en de *vruchtopvolging*. De uitwerking van deze maatregelen is waarschijnlijk voor het grootste deel te danken aan hun invloed op de bodemflora en -fauna, die zo worden gewijzigd dat ze gunstiger zijn voor het geteelde gewas. Onderzoek over deze maatregelen, die slechts incidenteel in het fruitbedrijf worden uitgevoerd, is door ons niet verricht.

Deze onderscheiden maatregelen in het kader van de bodembehandeling oefenen doorgaans invloed uit op verscheidene aspecten van de bodemvruchtbaarheid. Door een enkele handeling kan de optimale bodemkundige toestand voor de plantengroei doorgaans niet verkregen worden. Met een goed uitgebalanceerd samenspel van verschillende bodembehandelingsmaatregelen kan de nagestreefde toestand nog het beste benaderd worden.

De bodembehandeling zal dan ook zoveel mogelijk als een geheel beschouwd worden. Een verhandeling over bepaalde onderdelen van de bodembehandeling blijkt minder bevredigend, omdat de wisselwerking van verschillende factoren juist van groot belang is bij de beoordeling van hun invloed op de bodemvruchtbaarheid.

[2]

1.2. DE ONTWIKKELING EN DE PLAATS VAN DE BODEMBEHANDELING IN DE FRUITTEELT

Met het toenemen van de cultuurzorgen is ook de bodembehandeling in verschillende opzichten geïntensiveerd. Vooral in de beweide grasboomgaarden, die in vroegere eeuwen het grootste fruitareaal in ons land vormden, was voorheen de zorg voor de bodembehandeling minimaal. Waar de fruitteelt gemengd was met groenteteelt, hetgeen oudtijds ook veel voorkwam – SANGERS, 1952, pag. 69 –, werd doorgaans meer aandacht aan de bodem geschonken. Jaarlijks, of met tussenpozen van enkele jaren, werden aan deze hoven flinke bemestingen met organische meststoffen verstrekt, de grond werd meer onbegroeid gehouden. De bodembehandeling vormde dus een belangrijk onderdeel van de cultuurzorgen.

In de jaren tussen 1920 en 1930 was deze toestand in hoofdzaak nog dezelfde, al begonnen nieuwere systemen van bodembehandeling naar voren te komen – CLAASSEN, HAZELOOP, SPRENGER, 1931, pag. 213–215 en 318 –.

Aan het begin van deze eeuw werd het gebruik van groeiverzwakkende onderstammen ingevoerd. De hoogstam fruitboom werd vervangen door een veel kleinere en lagere

boom in de struikvorm. Daardoor werd een vroegere produktie van de jonge bomen verkregen. Ook de uitvoering van verschillende moderne cultuurzorgen, zoals snoeien, dunnen en spuiten werd daardoor gemakkelijker en economisch aantrekkelijker. Door deze omstandigheden werd de gehele teelt dus geïntensiveerd. Dit vroeg evenwel een grote kapitaalsinvestering, hetgeen nog een extra stimulans werd, om een jonge boomgaard sneller in produktie te krijgen. Onder deze omstandigheden is de extensieve teelt van fruit in de langzaam groeiende grasboomgaarden meer en meer teruggelopen. De fruitteelt op bewerkte grond kwam daardoor hoe langer hoe meer op de voorgrond. – Bos c.s. 1948 –. Nu heeft de akkerbouw ongunstige ervaringen opgedaan met gronden, die gedurende een groot deel van het jaar onbegroeid en bewerkt blijven. De erosie- en verstuivingsgevaren, die op landbouwgronden in Indonesië en in de Verenigde Staten reeds in en voor de jaren tussen 1920 en 1930 werden onderkend, kregen ook invloed op de wijze van bodembehandeling in de fruitteelt. De blijvend zwartgehouden grond in boomgaard bleek in de Verenigde Staten op den duur geen succes, zodat naar een betere bodembehandeling werd gezocht – zie b.v. ANTHONY, 1931, BAKER, 1936 –. In ons land is o.a. door DE BAKKER, hoofdstuk II uit SPRENGER, 1948, gewezen op de nadelen van een langdurig zwartgehouden grond in de fruitteelt, o.a. in verband met het optreden van chloroses.

De intensieve fruitteelt ging ook hoe langer hoe minder een onderdeel van het landbouwbedrijf uitmaken, maar ontwikkelde zich tot een zelfstandig gespecialiseerd bedrijf. Door deze ontwikkeling van de fruitteelt en door de uitbreiding van de oppervlakte, werd het moeilijk over voldoende stalmest voor deze bedrijven te beschikken. Stalmest zou namelijk in zwartgehouden boomgaarden de ontbrekende aanvoer van organische stof, in de vorm van verterend gras, hebben kunnen vervangen.

In de vroegere grasboomgaarden was de aanvoer van organische stof steeds gewaarborgd.

Met het oog op deze ontwikkelingen heeft men in de eerste plaats gepoogd de fruitteelt in gras, maar in gewijzigde vorm, weer te herstellen. De fruitteelt in gras heeft echter bezwaren, vooral in de intensieve teelt met bomen op zwakke onderstammen. Vruchtbomen in gras moeten zwaarder met stikstof worden bemest en ook bij een zware bemesting vertonen ze niet zelden een slechtere stand dan in zwartgehouden grond. Zo heeft men ook getracht een andere blijvende begroeiing, of een bedekking i.p.v. gras te vinden, die minder schadelijk voor de bomen zou zijn.

Verschillende maatregelen kunnen nu genomen worden om een begroeiing zonder schade voor de fruitteelt te handhaven. In de Verenigde Staten wordt de begroeiing, liefst een vlinderbloemig gewas of ook het gras, bevloeid of beregend. Indien beregening niet mogelijk is, wordt de grond tot half juni bewerkt, waarna hij met een groenbemester wordt beteeld. Vaak wordt de grond onder de bomen met los organisch materiaal bedekt („gemulched") en wordt de rest van de oppervlakte bewerkt of met gras beteeld. – BOYNTON en MAGNESS, 1957, KENWORTHY, 1957 –.

Aan het Engelse fruitteeltproefstation te East Malling heeft men, vooral op initiatief van ROGERS c.s. – 1948 –, getracht om de groei van het gras zo te wijzigen, dat dit gewas minder schade aan de vruchtbomen zou toebrengen dan bij de oude cultuurwijze het geval was. Door het gras vaak te maaien, door het inzaaien van zwak groeiende

grassen e.d., heeft men getracht de grascultuur aanvaardbaar te maken. Geheel geslaagd lijken deze pogingen nog niet. Ook in de jonge bodembehandelingsproeven, die in ons land door de bodembehandelingsgroep[1] worden uitgevoerd, is gebleken dat de invloed van het gras op de vruchtbomen zeer ongunstig kan zijn. Het uitschakelen hiervan op een gedeelte van de oppervlakte die een vruchtboom beslaat, lijkt tegenwoordig de beste oplossing om een overmatige grasconcurrentie te vermijden. Dit kan bereikt worden door een strook grond aan weerszijden van de rij vruchtbomen vrij van begroeiing te houden, door bewerking, bedekking of chemische onkruidbestrijding. Aan het geheel bedekken van de grond kleven vaak nog bezwaren, maar toch staat het mulchen, vooral in de Verenigde Staten, nu reeds een halve eeuw in de belangstelling.

Volgens de laatste gepubliceerde gegevens van het Landbouw Economisch Instituut – zie het RAPPORT VAN HET L.E.I., no. 322, 1959 – vraagt de bodembehandeling in de voornaamste Nederlandse fruitteeltcentra bij groot fruit 9 à 12 % van de totale uitgaven; de totale uitgaven bedroegen, afhankelijk van de fruitsoort en de streek, van / 4200,— tot / 5500,—/ha. Ongeveer de helft van de uitgaven werd besteed aan meststoffen, de rest aan de grondbewerking, de groenbemesting of de verzorging van het gras. In de voornaamste kleinfruitcentra verschilde het percentage voor de bodembehandeling in de totale uitgaven nogal, terwijl ook het verschil van gewas tot gewas soms opvallend bleek. Dit is niet verwonderlijk omdat de totale kosten voor de zuivere kleinfruitteelt in de verschillende gebieden en bij verschillende soorten sterk uiteen liepen, namelijk van / 5000,— tot / 12000,—/ha. – RAPPORT VAN HET L.E.I., no. 278 1957 –. In totaal werd bij de teelt van kleinfruit van / 1200,— tot / 1900,—/ha, dat is 14 tot 30 % van de totale kosten, aan de bodembehandeling besteed. Voor de bemesting werd 5 tot 20 % uitgegeven. Wanneer weinig organische mest werd verstrekt, beliepen de uitgaven voor bemesting 5 tot 7 % van het totaal. Vooral een organische bemesting doet het percentage van de kosten aan bodembehandeling stijgen.
Bij deze uitgaven aan bodembehandeling zal nog een klein bedrag opgeteld moeten worden voor de afschrijving en de rente van de bodembehandeling, die vóór het inplanten van het perceel werd uitgevoerd. Dit bedrag is echter niet afzonderlijk berekend.

Fruitteeltkundig zou het economisch rendement van de verschillende systemen van bodembehandeling een aantrekkelijke probleemstelling zijn voor dit onderzoek. Hiervoor is evenwel een vrij groot aantal langjarige proefvelden nodig, waarop vele gegevens over de teelt worden verzameld. Deze proefvelden stonden ons niet ter beschikking. Een enkele uitzondering vormde het bodembehandelingsproefveld te Hoofddorp – BUTIJN en SCHUURMAN, 1957 –. Uit de proefresultaten en aanvullende gegevens is voor dit proefveld een rendementsberekening van de bodembehandeling opgezet voor de toenmalige omstandigheden. Het bleek, dat op 12-17 jarige leeftijd deze moderne goed verzorgde appelboomgaard, gelegen op goede grond, het meest rendabel gemulched kon worden met afvalstro. De teelt van groenbemesting gaf op deze

[1] Een werkgroep van onderzoekers verbonden aan het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, het Proefstation voor de Fruitteelt in de volle Grond en aan enkele Rijkstuinbouwconsulentschappen.

goede grond, volgens een voorzichtige berekening een netto winst, die honderd gulden per ha per jaar lager lag. Het zwarthouden van de grond, of een blijvende grasbegroeiing leverde, ruim tweehonderd gulden per ha minder op dan groenbemesting.

Nu het aanbod van fruit op de internationale markt neiging heeft toe te nemen – RAPPORT 1957, CENTRAAL BUREAU TUINBOUWVEILINGEN, zal er in de fruitteelt steeds meer aanleiding bestaan de kostprijs te verlagen. Een van de meest nagestreefde doeleinden is daarbij, het bekorten van de onproduktieve jeugdfase van een boomgaard. Uit de genoemde L.E.I.-rapporten valt af te leiden, dat voor ieder jaar dat een jonge moderne aanplant van pitvruchten langer onrendabel blijft, valt te rekenen op een verhoging van de totale uitgaven van 2 à 3%. Dit betekent echter ook een verhoging van ca 10% op de (vaste) uitgaven voor de duurzame produktiemiddelen. Deze bedragen zijn weliswaar niet hoog, maar spelen een grote psychologische rol bij de fruittelers, die aldus een groter kapitaal beschikbaar moeten hebben voor de stichting van een bedrijf. Een vroege produktie kan bereikt worden met een goede groei in de jeugd. Daarom is de bodembehandeling tegenwoordig vooral gedurende de eerste 5 à 6 jaar na het planten van grote betekenis.
Doordat het fruitsortiment tegenwoordig sneller veroudert dan vroeger, zal vaker opnieuw geplant moeten worden. Nu geeft een aanplant op verse, voorheen niet met fruit beteelde grond, doorgaans een veel betere groei. Bij de huidige regeling van de grondprijzen en pachten is het echter moeilijker op verse percelen in te planten. Daarom verdient de bodembehandeling ook van oudere aanplantingen meer aandacht: op fruitpercelen, die onder alle weersomstandigheden met zware werktuigen worden bereden, die jaren achtereen een eenzijdige begroeiing hebben gedragen en met vele giftige bespuitingen zijn behandeld, moeten weer jonge bomen groeien!
Bij deze zorg voor de huidige en de toekomstige fruitproduktie kunnen echter nieuwe bodembehandelingsmaatregelen ingevoerd worden – wij denken aan diepe grondbewerking vóór het planten, beregenen op droge percelen, strooksgewijs verwijderen van een concurrerende grasmat, de teelt van een wintergrasmat e.d. De financiële gevolgen van deze moderne maatregelen zullen nog nader bestudeerd moeten worden. Waar een beregening, een van de kostbaarste nieuwe onderdelen van de bodembehandeling, gemiddeld slechts een verhoging in de uitgaven van ƒ 150,— tot ƒ 200,—/ ha, dat is ca 5%, teweegbrengt, lijkt een verbeterde bodembehandeling met name onder matige groeiomstandigheden, doorgaans wel verantwoord.

[3]

1.3. PROBLEEMSTELLING VOOR EN UITWERKING VAN HET ONDERZOEK

Zoals is betoogd, vormden de twijfel aan de doeltreffendheid van de gebruikelijke bodembehandeling in de moderne fruitteelt en de inspiratie verkregen uit het Engels-Amerikaanse onderzoek, de aanleiding tot het onderhavige onderzoek.
De voornaamste probleemstelling voor dit werk is: het opstellen van een verantwoorde bodembehandeling voor de moderne fruitteelt. Deze behandeling moet aangepast zijn aan de bestaande omstandigheden, waaronder de toestand van de bodem

op het fruitperceel een belangrijke plaats inneemt. De grote verschillen in bodemtype, die vooral door het werk van de Stichting voor Bodemkartering zijn aangetoond, vroegen als het ware om maatregelen die de ongunstige invloeden van het bodemprofiel op de plantengroei zouden compenseren. De behandeling moet ook technisch uitvoerbaar en economisch verantwoord zijn etc.

Het onderzoek zou verschillende aspecten van de bodembehandeling moeten omvatten.
In de eerste plaats moet de plant gunstig reageren op de behandeling, door het leveren van een hogere opbrengst. De reacties van het fruitgewas zijn dan ook uitvoerig bestudeerd.
De studie van de invloed van de behandeling op verschillende bodemeigenschappen kan van belang zijn. Zoals b.v. in het werk van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Groningen vele malen naar voren kwam, kan er vaak een betrekking tussen de opbrengst van het gewas en een bepaalde bodemeigenschap aangetoond worden. Wanneer nu verscheidene bodemeigenschappen in gunstige zin veranderen door de bodembehandeling, bestaat er aanleiding een hogere fruitopbrengst te verwachten. In het bijzonder in de fruitteelt, waar de vruchtbomen vrij traag op de bodembehandeling reageren met hun opbrengst, zijn deze bodemkundige studies van belang, om de invloed van de behandeling te kunnen voorspellen. Zo is het bodemkundig onderzoek in verband met de bodembehandeling breed opgezet.
Een derde aspect van de bodembehandeling is de technische uitvoering. Hierover is geen onderzoek verricht. Meestal dienden nieuwe technische uitvoeringen van bodembehandelingsmaatregelen zich ongevraagd aan. Af en toe is echter met technici overlegd, of een bepaalde uitvoering van een gewenste bodembehandelingsmaatregel te verwezenlijken zou zijn.
Het economisch aspect van de bodembehandeling is niet nauwkeurig bestudeerd, behalve (zoals reeds is vermeld) op beperkte schaal bij het proefveld te Hoofddorp. In dit stadium van het onderzoek, waarin de uitvoering van een moderne bodembehandeling nog nauwelijks vorm had gekregen, ontmoette de opzet van een economisch onderzoek teveel bezwaren. De vraag of een bepaalde bodembehandeling economisch verantwoord is, werd meestal slechts benaderd. Als benaderingen van het rendement zijn, indien mogelijk, gekozen de kg-opbrengst per oppervlak, of de scheutgroei, of een combinatie van beide. Wanneer deze maatstaven niet gebruikt konden worden is de stand van het gewas i.c. het optreden van voedingsziekten, of de chemische bladanalyse gebruikt als benadering. Indien verschillende fruitteeltkundig verantwoorde systemen ingeburgerd raken, dan zou een uitvoerig economisch onderzoek van de bodembehandeling meer op zijn plaats zijn.

In ons onderzoek is dus vooral de invloed van de bodembehandeling op de grond en het gewas nagegaan. De beoordeling van de grond en het gewas is uitgevoerd met bepaalde maatstaven, b.v. ten aanzien van het poriënvolume, de vochtspanning en het magnesiumgehalte van de grond, de relatieve scheutgroei, de produktie per meter vruchtdragende taklengte, het stikstofgehalte van het blad e.d.
De normen waaraan de grond of het gewas moeten voldoen, konden vaak niet of be-

zwaarlijk aan bestaande kennis ontleend worden. De ontwikkeling en de toetsing van maatstaven en normen voor de beoordeling van grond en gewas, heeft daarom veel aandacht ontvangen. De opgestelde of getoetste normen betreffen vooral de gehalten aan elementen van het blad, de vochttoestand en de chemische toestand van de grond.

In het eerste deel is de invloed van enkele fysische eigenschappen van de bodem op de plant nagegaan. Uit dit onderzoek zijn normen verkregen voor de beoordeling van de vocht- en luchttoestand van de grond. De invloed van de bodembehandeling op het gewas en de fysische toestand van de bodem is in potproeven en op verscheidene proefplekken en enkele proefvelden nagegaan.

In het tweede deel is de invloed van de chemische toestand van de bodem op het gewas nagegaan, aangevuld met een studie over de invloed van de bodembehandeling op de chemische toestand van de grond en op de reactie van het gewas. Aan dit onderzoek konden ook normen ontleend worden voor de beoordeling van het gewas en de bodem. Deze normen zijn aan de hand van gegevens over enkele potproeven, vele proefplekken en verschillende proefvelden opgesteld.

Een integrale beoordeling van de invloed van moderne bodembehandelingssystemen op de vruchtbaarheid van een boomgaard op langere termijn valt nog niet te geven. Dit zal pas op grond van de proefveldresultaten over een flinke reeks van jaren mogelijk zijn. De toepassing van de bodembehandeling, die in hoofdstuk 4 van deel 2 wordt besproken, zal dan ook behandeld moeten worden op basis van de voorlopige uitkomsten van het onderzoek aan gewas en bodem.
Verschillende beoordelingsnormen behoeven nog een verbetering of ontbreken nog, b.v. die voor de bodemaeratie, de toestand van de bovengrond, de voorziening met organische stof en met sporenelementen. Het toekomstig onderzoek zal in deze actief moeten zijn.

2. DE INVLOED VAN FYSISCHE EIGENSCHAPPEN VAN DE GROND OP HET GEWAS

[4] De invloed van de bodembehandeling op het fruit komt voor een belangrijk deel tot stand door zijn werking op de vocht- en luchthuishouding van de grond. De invloed b.v. van de ontwatering, de begroeiing, een mulch e.d. kan echter niet geheel uit hun werking t.a.v. de vocht- en luchthuishouding verklaard worden. Ook hun invloed op ander gebied, b.v. op de minerale voeding van de plant, kan van groot belang zijn. Voor een juiste waardering van deze fysische toestand van de bodem is een aparte studie gemaakt van de invloed van de bodembehandeling op de water- en luchthuishouding van de grond. Een onderzoek naar de invloed van deze bodemfactoren op de groei van het fruit sluit hierbij aan.
Het laatstgenoemde onderzoek heeft des te meer zin, omdat tegenwoordig belangrijke maatregelen op het gebied van de waterhuishouding uitgevoerd worden. De wateropslag en distributie uit het IJsselmeer en het te vormen Deltameer, de herverdeling van het Rijn- en Maaswater, werpen vragen op die ook de fruitteelt aangaan. Dit onderzoek heeft dan ook verschillende raakvlakken met hetgeen uitgevoerd werd door de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland - T.N.O. die in 1948 werd ingesteld – VISSER, 1958–.

In 2.1. wordt besproken het onderzoek naar de invloed van de water- en luchthuishouding van de grond op de groei en de opbrengst van het fruit. Bij dit onderzoek zijn, naast vele literatuurgegevens, ook pot- en veldproefresultaten gebruikt. Aan de hand van de pot- en veldproeven is langs deductieve weg een beeld ontworpen van de optimale vochttoestand in de bodem.

In 2.2. wordt de vocht- en luchttoestand nagegaan op een aantal proefplekken, al of niet onder invloed van speciale bodembehandelingsmaatregelen. Voor een klein deel zijn de gegevens van de proefplekken (uit 2.2.) ook gebruikt om de (algemeen gestelde) invloed van de water- en luchthuishouding te omschrijven in het eerste stuk (in 2.1.). Omgekeerd kan met behulp van de gegevens uit het eerste deel (2.1.) de toestand op de proefplekken (2.2.) beter gewaardeerd worden. Bij de integratie van de invloed van de afzonderlijke factoren uit de vocht- en luchttoestand is de kennis van het eindresultaat (de produktie van het gewas) van het meeste belang. Daarom vormt het materiaal van de proefplekken (2.2) een gewenste aanvulling op de resultaten van pot- en veldproeven uit 2.1., ten einde de gezamenlijke acties van de gevonden invloeden uit 2.1. te kunnen nagaan. Uit de gegevens van de proefplekken zijn dus meer inductief aanwijzingen verkregen over de optimale vochttoestand van de bodem.

In 2.3. zijn een aantal betrekkingen behandeld van de vocht- en luchttoestand in de bodem met factoren die geheel of gedeeltelijk buiten de invloedssfeer van de bodembehandeling liggen, zoals het weer, het bodemprofiel, het polderpeil e.d. De kennis van deze betrekkingen is van belang bij regelingen van de wateraf- en aanvoer ten behoeve van de instelling van de juiste vochttoestand in de bodem voor het gewas.

2.1. DE BETEKENIS VOOR VRUCHTBOMEN VAN DE WATERHUISHOUDING EN DE BEWORTELING IN DE GROND

[5] ### 2.1.1. DE WATER- EN LUCHTHUISHOUDING VAN DE GROND BOVEN HET GRONDWATER

Bij de beoordeling van de vochttoestand in de grond zal ook de luchttoestand beschouwd moeten worden. Wegens de beperkte ruimte in de bodem voor water en lucht gezamenlijk, heeft iedere maatregel die bij de waterhuishouding van invloed is, ook betekenis voor de luchthuishouding. De kwaliteit van de bodemlucht, met name het koolzuurgehalte, is nader besproken in 3.2.2.2. en 3.3.1.2. [88]. Aan de invloed van een hoog koolzuurgehalte op de ijzerchlorose bij vruchtbomen wordt hier voorbij gegaan.

[6] #### 2.1.1.1. *Maten voor de vochttoestand in de grond*

De beoordeling van de bodemvochtigheid vergt één of meer eenheden, waarin de hoeveelheid of de kwaliteit van het vocht worden uitgedrukt. De hoeveelheid vocht in de grond wordt vaak uitgedrukt in procenten vocht betrokken op de gedroogde grond – gedroogd bij circa 105° C –.
Overzichtelijker is de opgave van de hoeveelheid vocht in procenten per volume eenheid grond. Hieruit laat zich ook gemakkelijker berekenen met hoeveel millimeter neerslag de vochtvoorraad in een grond gelijk staat. Indien het vochtgehalte (in gewichtsprocenten), het soortelijk gewicht en het poriënvolume, of het volume-gewicht van de gedroogde grond en het soortelijk gewicht bekend zijn, kan het volume-percentage vocht berekend worden. De gegevens over het volume vocht in de grond zijn onontbeerlijk voor hydrologische studies, o.a. over de waterbalans van de grond.

Naast een maat voor de hoeveelheid vocht in de bodem, bestaat er een maat voor de energie waarmee het vocht in de grond is gebonden. Deze energiemaat blijkt van groot belang voor het onderzoek naar de plantengroei en de vochtbeweging in de grond. BUCKINGHAM, die in 1907 het begrip capillaire potentiaal invoerde, heeft nauwelijks kunnen voorzien, dat deze uitdrukking voor de vochttoestand van het bodemvocht, al is het onder een andere benaming (negatieve vochtspanning, pF e.d.), zoveel en zo dankbaar gebruikt zou worden in latere jaren.
De energie, die nodig is om het vocht uit een bepaalde grond te verwijderen, wordt doorgaans uitgedrukt in de hoogte van een denkbeeldige kolom water.
Onder de vochtspanning van een grond kan men nu verstaan de onderdruk (in cm water) die moet worden aangelegd (als zuigkracht), om juist een kleine hoeveelheid vocht uit deze grond te kunnen verwijderen. Deze zuigspanning kan ook uitgedrukt worden in cm lengte van een kwikkolom, in atmosferen, of in de logaritme van het aantal cm water. De laatstgenoemde uitdrukking, de z.g. pF = log p (p = de minimale kracht, in cm waterhoogte, nodig om vocht uit de grond te verwijderen) is ingevoerd door SCOFIELD, 1935. Wij zullen ons in de volgende tekst voornamelijk bedienen van de zuigspanning uitgedrukt in cm water en van de pF als aanduiding van de vocht-

toestand in de grond, indien de bindingsenergie in het geding is. Het is bekend, dat niet alleen het vochtgehalte van de grond, maar ook de hoeveelheid opgeloste zouten in het bodemvocht de vochtspanning mede bepalen. Daar de hoeveelheid opgeloste zouten in Nederlandse fruitgronden doorgaans laag is, zal de invloed van de zouten in de bodemoplossing onbesproken blijven.

Het is duidelijk, dat de Angelsaksische uitdrukkingen voor de bindings-energie van het bodemvocht (zie de leerboeken van KRAMER 1949, BAVER 1947, SHAW 1952, LAATSCH 1957, verder HALLAIRE 1953 e.a.) het gewonnen hebben van de oudere Duitse aanduiding van deze energie. In 1937 stelde VON NITSCH, evenals MITSCHERLICH 1950 namelijk voor, om de bindingsenergie van het bodemvocht uit te drukken in calorieën per g bodemvocht, nodig om het vocht uit de grond te verdampen. Deze uitdrukkingswijze sluit wel aan bij de bepaling van het hygroscopische punt -zie [8]-in de Duitse school. De bevochtigingswarmte wordt namelijk = O bij het hygroscopische punt.

2.1.1.2. *De grenzen aan de vochttoestand van de grond*

[7] *Bovengrenzen aan de vochttoestand*

Een absolute bovengrens aan de hoeveelheid bodemvocht wordt gegeven door het poriënvolume van de grond. In de bodemlagen boven de grondwaterspiegel komt naast water echter ook lucht in de bodemholten voor, zodat de kennis van deze bovengrens voornamelijk onder de grondwaterspiegel van belang is. Door een stijging van het grondwater kan er ook wel lucht onder de grondwaterspiegel in de bodem opgesloten worden, maar uit de gegevens van de proefplekken (zie 2.2.1.) volgt, dat deze lucht niet in grote hoeveelheid en gedurende lange tijd aanwezig zal zijn.

Van groot belang voor de kennis van de vochttoestand in de wortelzone is ook de veldcapaciteit van de grond. Deze grens komt overeen met een begrip, dat in de Verenigde Staten is ingevoerd, nl. de „field capacity". De veldcapaciteit in een bepaalde grondlaag wordt onder natuurlijke omstandigheden enkele dagen na een zware bevochtiging bereikt; het overtollige water is dan weggezakt – zie o.a. KRAMER, 1949 en SHAW, 1952, hoofdstuk 3 –. De bepaling van de veldcapaciteit te velde moet uitgevoerd worden in een tijd, waarin de verdamping vanaf de bodem en door het gewas te verwaarlozen is, dus bijvoorbeeld in het vroege voorjaar, indien er geen vorst meer in de grond voorkomt.
Waarschijnlijk is in het stamgebied van het begrip „field capacity" de invloed van het grondwater te verwaarlozen, wegens de grote diepte van de grondwaterspiegel. In ons land, waar het grondwaterniveau in het voorjaar zeker wel van invloed is, moet hiermee meestal rekening worden gehouden. Door ons is de veldcapaciteit dan ook aldus gedefinieerd:
De veldcapaciteit is het vochtgehalte van een bepaalde grondlaag onder de volgende omstandigheden: 1e. de grond bevindt zich in natuurlijke ligging, 2e. het vochtgehalte wordt bepaald twee à drie dagen na een regenval, zodat overmaat water uit de bovenliggende en de betreffende laag is weggezakt, 3e. bij weersomstandigheden met een verwaarloosbare verdamping en zonder vorst boven of in de grond, 4e. bij een ligging van de betreffende grondlaag van meer dan 50 cm boven de grondwaterspiegel. Deze afstand van 50 cm is gekozen, omdat vaak is waargenomen, dat op een grotere hoogte

boven het grondwater de vochtspanning (dus ook het bijbehorend vochtgehalte) niet verder daalt. In de tweede helft van de maand februari zijn de weersomstandigheden meestal het meest geschikt voor de bepaling van de veldcapaciteit in ons land. Dieper gelegen grondlagen, waarin de invloed van het grondwater in het voorjaar te groot is, kunnen bijvoorbeeld bemonsterd worden in het late najaar, waarin soms het grondwaterniveau nog laag is, terwijl het doorwortelde deel van het profiel reeds op veldcapaciteit is gekomen en de verdamping gering is.

Voor de plantengroei is de veldcapaciteit van groot belang. Het vochtgehalte bij veldcapaciteit is de bovengrens aan de hoeveelheid vocht, die de grond in het veld kan binden (zonder invloed van het grondwater). Het is ook een groot deel van de hoeveelheid vocht, waarmee het gewas begint in het voorjaar. Na hevige zomerregens, of beregening van de grond, zal deze niet meer vocht vasthouden dan bij veldcapaciteit. Uit de Duitse school stamt een soortgelijk begrip als de „field capacity" nl. de „Wasserkapazität". Het bedoelt ook een bovengrens te geven voor de grootste hoeveelheid vocht, die in de grond gebonden kan worden. Het begrip is niet steeds even duidelijk gedefinieerd. MITSCHERLICH, 1950 § 18, sluit zich aan bij SEKARA, 1931, die de Wasserkapazität gelijk stelt aan de hoeveelheid vocht die bij een zuigspanning van 7 cm water vastgehouden kan worden.

LAATSCH, 1957, neemt voor de Wasserkapazität de hoeveelheid vocht, die tegen de zwaartekracht in, vastgehouden kan worden. Hij definieert dit begrip echter niet scherp, doch komt waarschijnlijk dichtbij het begrip veldcapaciteit. Het begrip Wasserkapazität heeft, evenals de hoeveelheid water die maximaal in de bodemporiën kan voorkomen, weinig rechtstreekse betekenis voor de plantengroei.

In de Verenigde Staten heeft men getracht de veldcapaciteit in het laboratorium te bepalen. Volgens VEIHMEYER en HENDRICKSON, 1931, komt de „field capacity" overeen met het „moisture equivalent", het vochtgehalte, dat een grondmonster behoudt na centrifugeren met een centrifugale kracht, die overeen komt met een gemiddelde pF = 2,7 in het monster. Men kan nl. de centrifugale kracht gebruiken, om vocht uit de grond te verwijderen, om zo een hogere vochtspanning in een monster te bereiken. – zie b.v. M. B. RUSSEL, 1939, RUSSELL en RICHARDS, 1938 –. De overeenkomst van de field capacity met het z.g. moisture equivalent was niet bij alle gronden even fraai. De field capacity van zware en lichte gronden week doorgaans wat af van het moisture equivalent. Het is, achteraf gezien, niet aannemelijk, dat in de gecentrifugeerde grondmonsters een evenwicht is ontstaan tussen het overgebleven vocht en de centrifugale kracht, overeenkomende met een vochtspanning van 500 cm water = pF 2,7. Men heeft evenwel deze pF = 2,7 vele jaren gebruikt als goede aanduiding van de vochtspanning in de grond bij veldcapaciteit. COLMAN, 1947, vond voor de vochtspanning bij veldcapaciteit in het veld waarden van 4 tot 44 cm kwik; bij zwaardere gronden de lagere, bij lichte gronden de hogere vochtspanningen. Uit deze waarnemingen, die een grote spreiding vertonen, concludeert COLMAN echter tot het bestaan van een veldcapaciteit bij 330 cm waterkolom. Het is mogelijk, dat in de geroerde monsters, die hij voor de bepaling van de vochtspanning gebruikte, geen volledig evenwicht tussen zuigspanning en bodemvocht is bereikt bij de zware gronden. Het is ook mogelijk, dat de vochtspanning bij de veldcapaciteit lager lag dan bij 1/3 atm.

Reeds in 1944 gaven RICHARDS en WEAVER circa 0,1 atm. op, als de vochtspanning bij veldcapaciteit. In 1949 gaf RICHARDS waarden van 85 tot 150 cm water en een gemiddelde vochtspanning van ca. 100 cm. Deze auteur vraagt zich af, waarom men toch aan de 500 cm vochtspanning vasthield.
HANKS, HOLMES en TANNER, 1954, geven voor veldcapaciteit de formule:
veldcapaciteit = f (0,2 atm. %) + 1,2 %
f = constante; 0,2 atm. % = vochtgehalte bij een vochtspanning van 0,2 atm.
HAISE, c.s., 1955 en GOODE, 1956, geven een vochtspanning van ca 0,1 atm. bij veldcapaciteit. Ook de recente opgave van RICHARDS en WADLEIGH in SHAW, 1952, is ca 0,1 atm, pF = 2,0. In ons land is door BOEKEL en PEERLKAMP, 1957, naar veldgegevens van de Stichting voor Bodemkartering, een veldcapaciteit bij pF = 2,2 gevonden. SCHELLING, 1955, gaf een pF van 1,8 tot 2,0 en kon zich baseren op vochtspanningsbepalingen van VAN GOOR van het Bosbouw Proefstation „De Dorschkamp".
Uit onze gegevens van de proefplekken – zie 2.2.1. en 2.2.2. – volgt een pF bij veldcapaciteit van 2,0 of iets lager (zie fig. 1). Het vochtgehalte bij 2,0 is bepaald volgens de methodiek die behandeld wordt in 2.1.1.3.

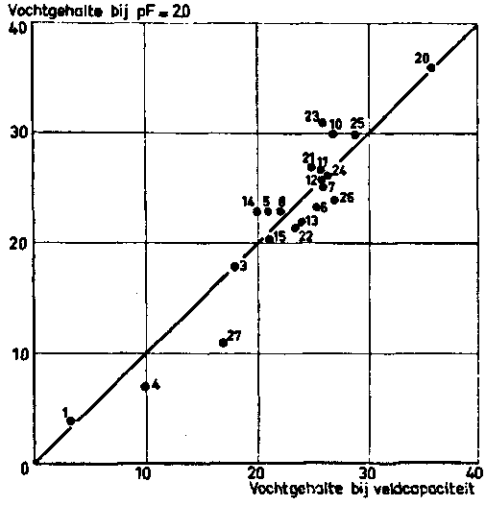


FIG. 1. De betrekking tussen het vochtgehalte van verschillende grondsoorten bij veldcapaciteit en bij pF = 2,0. N.B. De nummers bij de punten zijn dezelfde als de nummers in tabel 1.

FIG. 1. *The soil moisture content in diverse soils at field capacity (abscissa) and at pF = 2.0 (ordinate). Numbers near the points are those from table 1.*

Het heeft de aandacht getrokken dat de vochtspanning in het voorjaar op een afstand groter dan 50 cm van de grondwaterspiegel niet meer verandert met die afstand. MILLER en MAC MURDY, 1953 en YOUNGS, 1958, zoeken de verklaring voor deze constantheid van de veldcapaciteit in het verschil in de helling van de sorptie- en desorptielijnen voor de vochtkarakteristiek – zie 2.1.1.3. –.

Er bestaat een goede overeenkomst van de vochtgehalten van veldmonsters, die op veldcapaciteit verkeren met de vochtgehalten bij pF = 2,0, zoals deze worden bepaald met de apparatuur volgens DONATH. Deze goede overeenkomst wordt voldoende weergegeven door de hoge correlatiecoëfficiënt r = 0,94 (n = 22), die voor de samenhang tussen de gevonden waarden is berekend. De vochtspanning volgens de tensimeter-

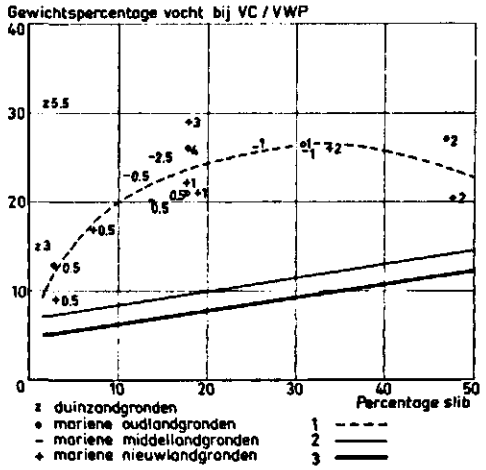


FIG. 2. De samenhang van de veldcapaciteit en het verwelkingspunt met het percentage slib in de collectie gronden uit Z.W. Nederland.

1 = veldcapaciteit
2 = verwelkingspunt van gronden met 3% humus; vgl. formule (1) uit [8]
3 = idem 2; gronden met 1% humus
N.B. De cijfers bij de punten geven het humusgehalte van de grond

FIG. 2. *Field capacity (line 1) and wilting points of soils containing 3% (line 2) or 1% of humus (line 3). N.B. Figures near the points are the humus content.*

aanwijzingen ligt bij veldcapaciteit iets lager – zie 2.2.1.3. –, bij een pF van 1,7 – 2,0, ofwel 50 – 100 cm waterkolom – zie b.v. tabel 21 –.

Een relatie van de veldcapaciteit met het humus- en slibgehalte van de gronden uit onze collectie – tabel 1 – is nauwelijks aanwezig – fig. 2 –. Bij de lichtere en humusarmere gronden is deze betrekking nog het duidelijkst. De veldcapaciteit wordt dus bepaald door andere factoren dan het slib- en humusgehalte en het ligt voor de hand hierbij aan de bodemstructuur te denken. Op het bodembehandelingsproefveld te Hoofddorp lag het vochtgehalte bij pF 2,0 duidelijk lager in de bovengrond van de zwartgehouden veldjes, dan het gehalte in proefveldjes met betere bodembehandeling – zie BUTIJN en SCHUURMAN, 1957 –. In ons land gaf PEERLKAMP hiervan verschillende voorbeelden – zie b.v. PEERLKAMP, 1948 en GOEDEWAAGEN en PEERLKAMP, 1951. Vele andere voorbeelden uit buitenlandse literatuur kunnen geciteerd worden –.

RICHARDS, 1949, veronderstelde, dat bij gronden, die in het lagere pF-traject geen scherpe daling van de capillaire geleidbaarheid – zie 2.1.2.1. – bij stijgende vochtspanning vertonen, ook een wisselend vochtgehalte bij veldcapaciteit behoort. Geheel constant is het vochtgehalte bij grond op veldcapaciteit in onze proefplekken in het voorjaar niet, maar de afwijkingen van de gemiddelden waren, òf verklaarbaar uit de voorgaande weerstoestand, òf waren niet groter dan 1 à 2 gewichtsprocenten vocht.

[8] *Ondergrenzen aan de vochttoestand*

Uit de Duitse bodemkundige school stamt de uiterst lage ondergrens aan de hoeveelheid bodem vocht, die bij de bepaling van de „Hygroskopizität" wordt gevonden. Het „hygroscopische water" is volgens MITSCHERLICH, 1950, het vocht, dat in een monster grond achterblijft, indien het met de dampdruk van een sterke (> 92%) H_2SO_4 – oplossing in evenwicht is. Bij temperatuurschommelingen bleek de Hygroskopizität niet gemakkelijk te bepalen. Door BEUTELSPACHER, 1954, en RINNO, 1954, is aangetoond, dat deze moeilijkheden bij de bepaling te vermijden zijn, indien de vochtgehalte-dampdruk-lijn van de grond geëxtrapoleerd wordt van de lagere naar de hoge damp-

drukken. Dit is mogelijk indien bij de bepaling gebruik wordt gemaakt van verzadigde zouten met een constant lage dampdruk.
Het „hygroscopische water" blijkt voor de plant onopneembaar te zijn. Zelfs vocht, dat minder vast gebonden is dan bij het „hygroscopisch punt", blijkt gedeeltelijk onopneembaar. RINNO, 1951, geeft op, dat het vochtgehalte bij het verwelkingspunt (zie volgende alinea) 2 x zo hoog ligt. Dit stemt ten naaste bij overeen met opgaven van MILLER en MAZURAK, 1955, die het „hygroscopische" watergehalte op ca 2/3 van het gehalte bij het „permanent wilting point" stelden. CZERATZKI en KORTE, 1955, nemen voor het verwelkingspercentage 2 x de waarde voor de Hygroskopizität.

Met het oog op de plantengroei kan het verwelkingspercentage een goede karakterisering van de ondergrens aan de vochttoestand van de bodem genoemd worden. Bij het „permanent wilting point", zo genoemd door BRIGGS en SHANZ, 1911, is niet voldoende vocht meer aanwezig voor een plant om de groei en het leven gaande te houden. Met uitzondering van een aantal xerophyten – zie o.a. SMITH c.s., 1931 – laten praktisch alle planten eenzelfde percentage vocht in een bepaalde grond achter bij het verwelkingspunt. Deze grens in het bodemvochtgehalte wordt dus door de fysiologie van de plant bepaald. Het verwelkingspunt komt vrijwel overeen met de Duitse „Verarmungsgrenze" – zie o.a. BAUMANN en SCHENDEL, 1951 –.
FURR en REEVE, 1945, hebben de verwelkingssymptomen van de proefplant van BRIGGS en SHANTZ, de zonnebloem (*Helianthus annuus*), nog eens nader bestudeerd. Ze kwamen tot de conclusie, dat er niet zo zeer een verwelkingspunt als wel een verwelkingstraject was. Bij de eerste symptomen van verwelken kan de proefplant zijn turgescentie terugkrijgen, indien deze in een met vocht verzadigde ruimte wordt gezet. Bij het „ultimate wilting point" worden de verwelkingssymptomen zo hevig, dat de plant zijn turgescentie niet meer terugkrijgt in een vochtige ruimte. Het vochtgehalte van de grond loopt in deze „wilting range" nog meetbaar terug. De auteurs nemen nu het permanent wilting point middenin dit traject. Het traject blijkt kort in lichte, langer in zware gronden. De vochtspanning bij het verwelkingspunt blijkt volgens RICHARDS en WEAVER, 1943, bij een onderdruk van ca 15 atm., pF = 4,2, te liggen. Zwaardere gronden houden volgens deze auteurs nog iets teveel vocht vast bij 15 atm. Dezelfde schrijvers toonden in 1944 aan, dat het vochtgehalte bij 15 atm. redelijk overeen komt met het gemiddeld vochtgehalte in het verwelkingstraject. ROBERTSON en KOHNKE, 1946, vonden voor gray brown podsolic – en prairie – gronden verwelkingspunten bij pF-waarden = 4,0 tot 4,3. MILLER en MAZURAK, 1955, namen waar, dat het vochtgehalte bij een vochtspanning van 15 atm. overeenkwam met het vochtgehalte aan het begin van het verwelkingstraject.

De gemakkelijke bepaling van het verwelkingspunt met de membraanpers van RICHARDS 1941b, heeft zeker het gebruik van het verwelkingspercentage aangemoedigd. In tegenstelling tot de veldcapaciteit is het verwelkingspunt onafhankelijk van de bodemstructuur – RICHARDS, 1949 –. Ook de snelheid van de bepaling en de betrekkelijk geringe invloed van de temperatuur – zie RICHARDS en WEAVER ,1944 – maken de bepaling van het verwelkingspunt aantrekkelijker dan een hygroscopiciteitsbepaling. Voor de methodiek van de bepaling van het verwelkingspunt, zie 2.1.1.3.

In potproeven met de zonnebloem werd de grond tot het verwelkingspunt uitgedroogd. Het bodemvochtgehalte midden in het verwelkingstraject van de proefplanten kwam redelijk overeen met het vochtgehalte na een verblijf van 3 dagen bij 16 atm. in de membraanpers – fig. 3 en 4 –.

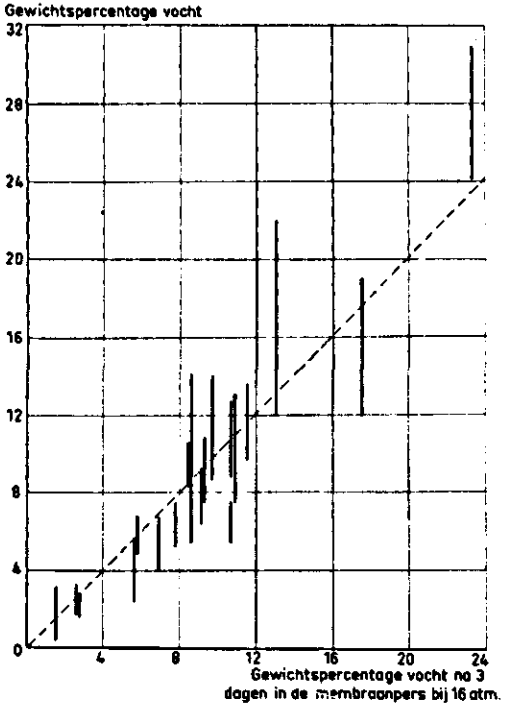


FIG. 3. De betrekking tussen het verwelkingstraject (ordinaat) en het verwelkingspunt (bepaald met de membraanpers) (abscis) 1951.

FIG. 3. *Wilting range of sunflowerplants (ordinate) and wilting point (abscissa) determined by pressure membrane of the soils described in table 1. 1951.*

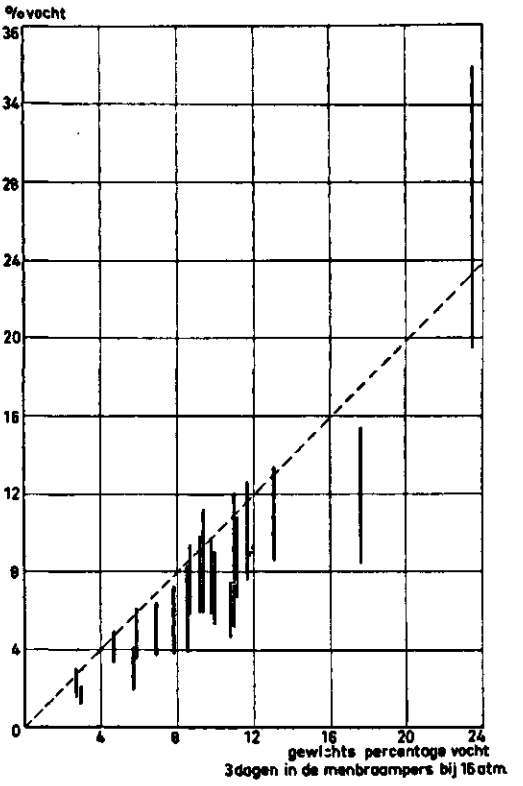


FIG. 4. De betrekking tussen het verwelkingstraject (ordinaat) en het verwelkingspunt (bepaald met de membraanpers) (abscis) 1952.

FIG. 4. *Ibidem fig. 3. 1952.*

Het weer tijdens de groeiperiode van een plant blijkt ook van invloed op de ligging van het verwelkingstraject. In onze potproef, tijdens een zonnige periode in 1952, bleek het verwelkingstraject in de grond van de zonnebloemen, die in de kas werden gekweekt, bij alle gronden naar hogere vochtgehalten verschoven te zijn ten opzichte van de trajecten in 1951, toen het weer meer gematigd was – fig. 3 en 4 –. Het blijkt duidelijk uit deze afbeelding en in overeenstemming met RICHARDS en WEAVER, 1943, dat zware gronden, die een hoger verwelkingspunt bezitten, een langer verwelkingstraject te zien geven dan lichte.

Hoewel de eerste verwelkingssymptomen bij tomateplanten minder gemakkelijk

zijn waar te nemen dan bij zonnebloem, bleek het verwelkingspunt (het gemiddelde van „first" en „ultimate wilting point") van de grond begroeid met een tomaat, toch maar weinig lager te liggen, dan in de grond waarop een zonnebloem groeide – zie tabel 1c –. Deze overeenstemming in het verwelkingspunt is voor verscheidene planten aangetoond door BRIGGS en SHANTZ, 1911.

Doordat de invloed van de structuur van de grond op het verwelkingspunt te verwaarlozen is volgens RICHARDS, 1949, lijkt het verklaarbaar, dat de relatie tussen het slib- en humusgehalte en het verwelkingspunt veel nauwer is, dan tussen de veldcapaciteit en het humus- en slibgehalte van de grond.
Voor de gronden uit onze standaardcollectie (tabel 1) geldt:

$$VWP = 0{,}15\ (\pm\ 0{,}025)s + 1{,}10(\pm 0{,}129)h + 3{,}69(\pm\ 0{,}474) \qquad (1)$$

VWP = verwelkingspercentage in gewichtsprocenten van de grond
s = gewichtspercentage afslibbare delen kleiner dan 0,016 mm
h = gewichtspercentage organische stof.

De correlatiecoëfficiënt voor de samenhang tussen de berekende en gevonden verwelkingspunten $r_1 = 0{,}84$ ($n = 27$) heeft een behoorlijk hoge waarde. De vereffeningslijn voor de gevraagde relatie loopt redelijk middendoor de gevonden waarden – zie fig. 5 –.

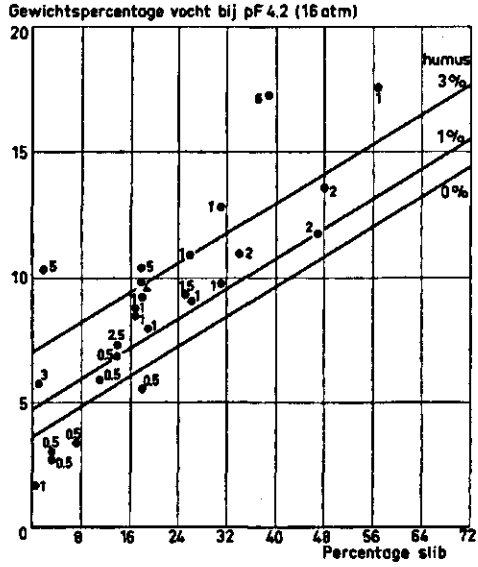


FIG. 5. De betrekking tussen het vochtgehalte bij pF = 4,2 en het percentage afslibbare delen en humus uit de grond. Collectie gronden Z.W. Nederland (tabel 1). N.B. De cijfers bij de punten geven het percentage humus aan. De getrokken lijnen zijn berekende waarden – zie 2.1.1.2. [8] –.

FIG. 5. *Relation between the soil moisture content at pF = 4.2 and the clay (< 0.016 mm) and humus content of the soils described in table 1.*

NIELSEN en SHAW, 1958, vonden een progressieve toename van het verwelkingspercentage met het gehalte aan „clay". Tot 30 % clay is de kromming van de lijn, die deze relatie beschrijft, echter zwak. Wanneer in dit traject voor de omrekening van het gehalte aan slib op clay een factor van 0,66 wordt genomen en het humusgehalte op 1/10 van het slibgehalte wordt gesteld – zie DE BAKKER, 1950, BENNEMA en v. d. MEER, 1952 en tabel 1 –, dan blijkt onze factor voor de invloed van het slibgehalte op het verwelkingspercentage met de factor voor de invloed van het „clay-gehalte" volgens de (niet wiskundig vereffende) lijn van NIELSEN en SHAW, nagenoeg overeen te stemmen. Bij de laagste slibgehalten liggen onze waarden voor het verwelkingspunt iets hoger.

Indien dezelfde silt/clay- en slib/humus-verhouding wordt aangehouden, dan leidt de formule van BRIGGS en SHANTZ, 1912, voor de invloed van silt en clay op het verwelkingspunt tot een verwelkingspercentage dat slechts een weinig lager is dan volgens formule (1).
De laatstgenoemde auteurs geven namelijk de formule:
VWP = 0,01Z + 0,12S + 0,57C.
VWP = wilting coëfficient
Z = percentage zand
S = percentage silt
C = percentage clay
De factor voor de invloed van de organische stof bleek voor onze gronden hoger te liggen dan bij SEGEBERG, 1958. Waarschijnlijk bevatten de gronden waar SEGEBERG mee experimenteerde, meer onverteerde organische stof „Rohhumus" dan onze gronden, zodat deze factor voor uiteenlopende gronden niet gelijk behoeft te zijn.

De relaties tussen het vochtgehalte en de slib- en humusgehalten van de grond blijken bij vochtspanningen lager dan bij het verwelkingspunt, minder nauw te zijn – fig. 6 –.

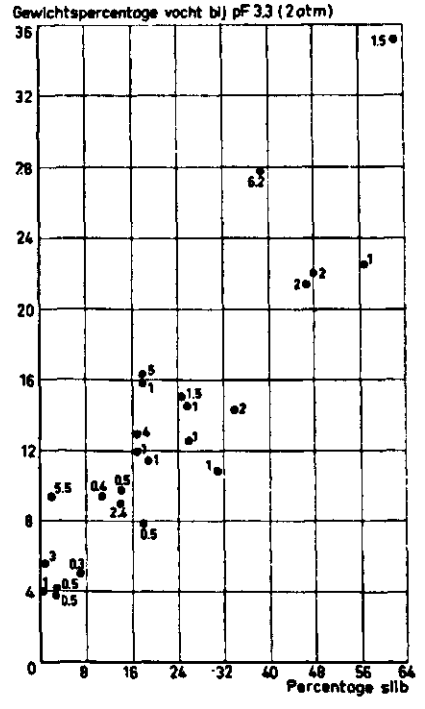


FIG. 6. De betrekking tussen het vochtgehalte bij pF = 3,3 en het percentage afslibbare delen en humus in de grond. Collectie gronden van Z.W. Nederland (tabel 1). N.B. De getallen bij de punten geven het percentage humus aan.

FIG. 6. *Ibidem fig. 5 moisture content at pF 3.3.*

De bodemstructuur krijgt blijkbaar een grotere invloed. Voor het vochtgehalte bij 2 atm. (pF = 3,3) geldt voor onze collectie gronden:
2 atm. – % = 0,35 (±0,03)s + 0,88 (± 0,17)h + 3,87 (± 0,77) (2)
De gebruikte symbolen zijn dezelfde als bij formule (1).

[9] 2.1.1.3. *Vochtkarakteristieken*

De lijn, die de betrekking tussen de vochtspanning en het vochtgehalte van een grond

weergeeft, is door CHILDS in 1940 – zie CHILDS, pag. 236 – de vochtkarakteristiek genoemd. Een aantal voorbeelden van vochtkarakteristieken uit Z.W. Nederland geeft fig 7. De bijbehorende gegevens zijn opgenomen in tabel 1.

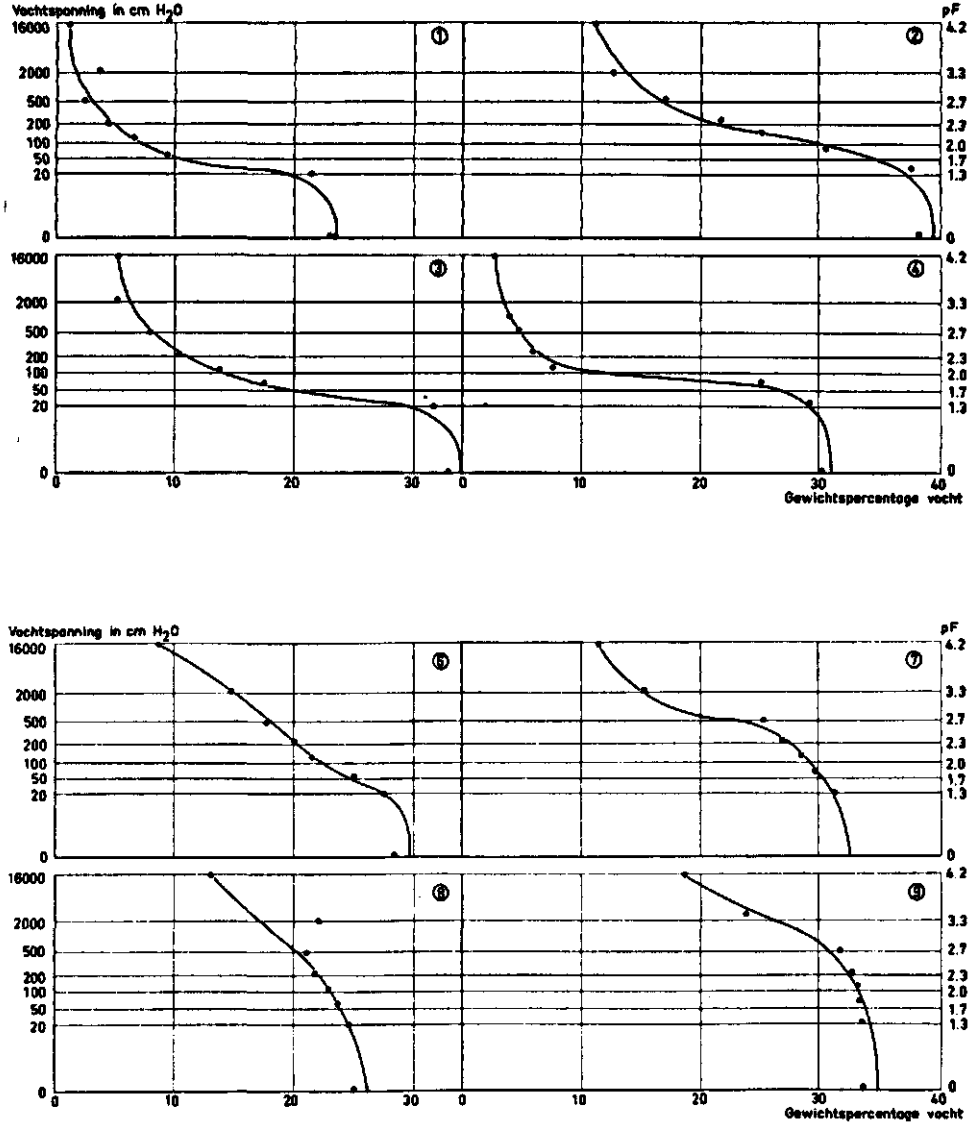
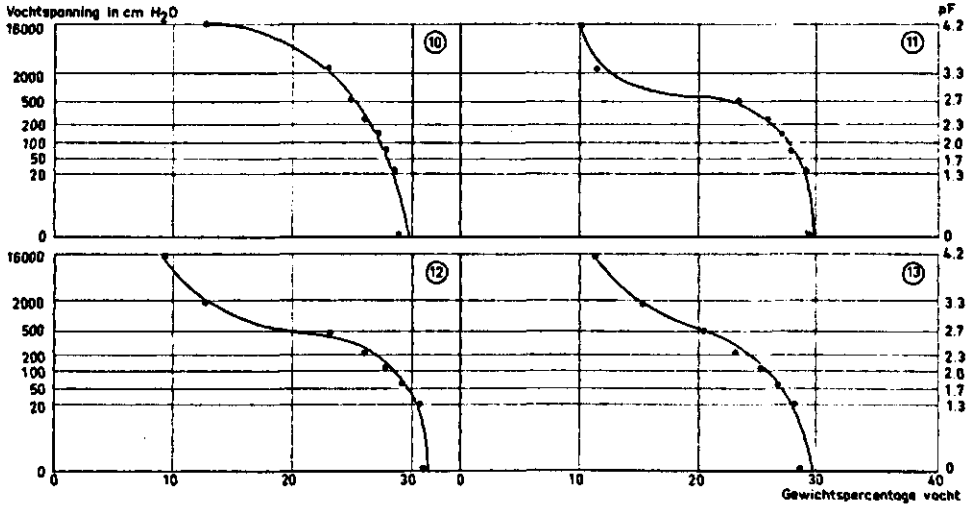
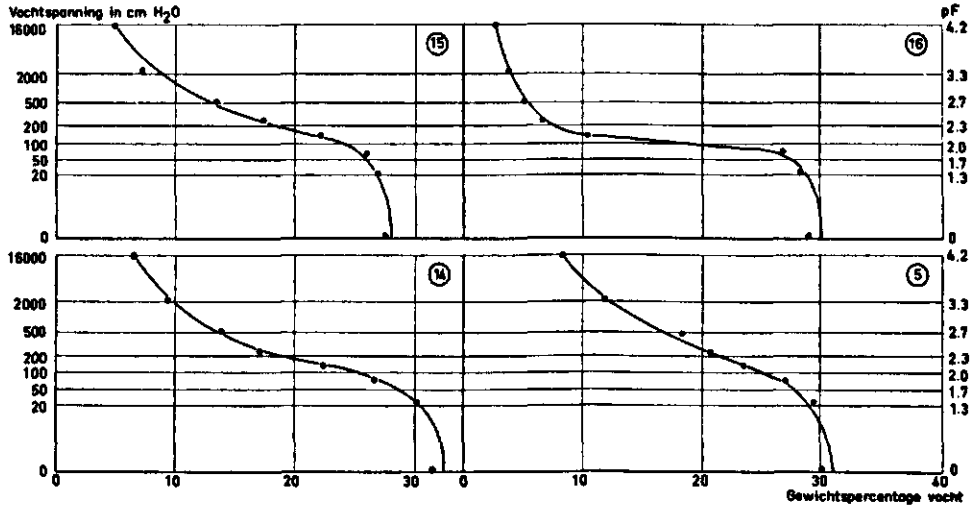


FIG. 7. Vochtkarakteristieken van gronden uit het Z.W. zeeklei- en duinzandgebied.

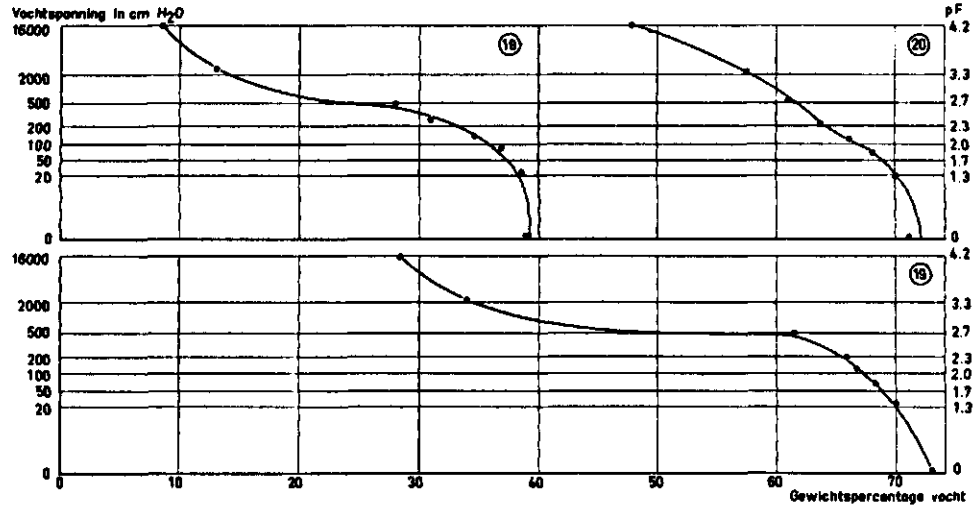
FIG. 7. *Soil moisture characteristics for soils described in table 1.*
On the abscissa moisture percentages by weight.

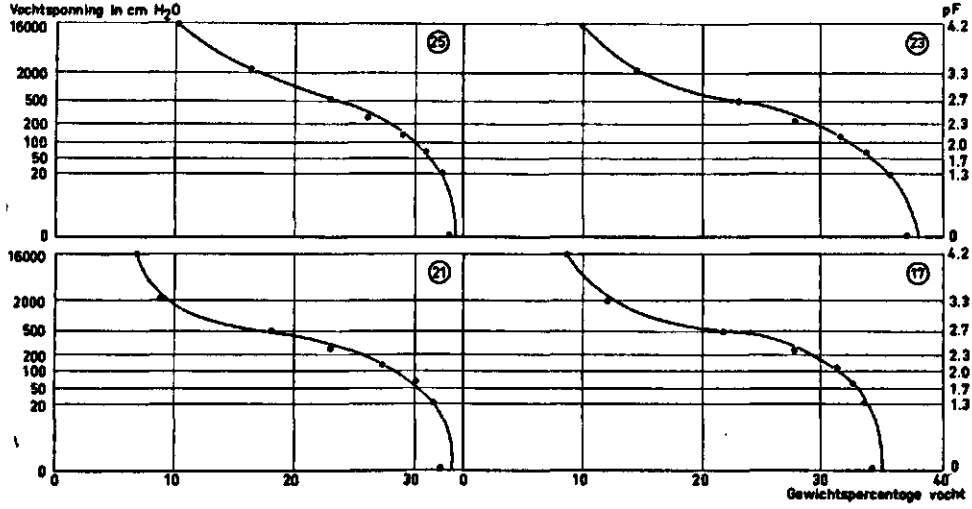




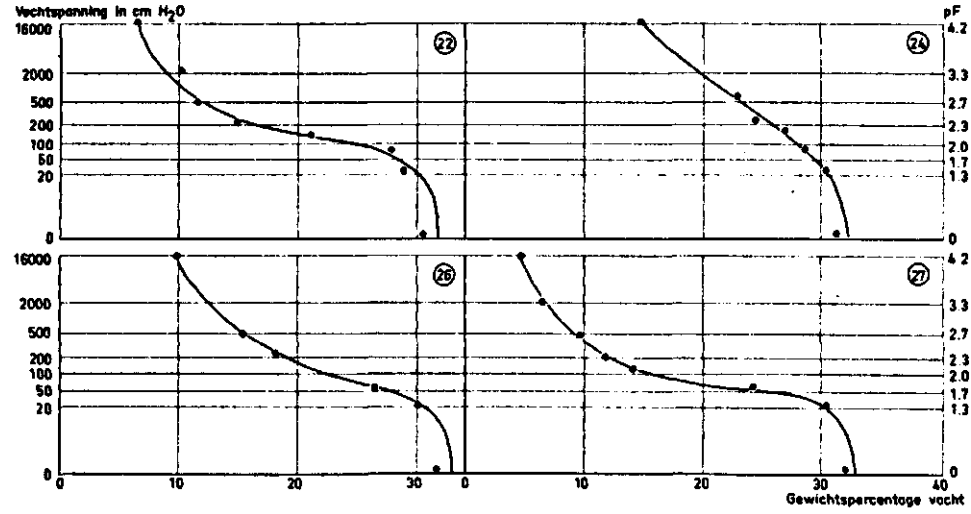
Het heeft in de loop der jaren niet aan pogingen ontbroken, om het verloop van deze lijnen in een formule uit te drukken. Een van de eerste pogingen bij grond is uitgevoerd door RUSSELL, 1939, terwijl VISSER, 1954, nog verschillende latere noemt. Een bevredigend resultaat heeft dit pogen meestal niet opgeleverd.

De vochtkarakteristieken geven verschillende aanwijzingen over de vochthuishouding van de grond. De veldcapaciteit en het verwelkingspunt zijn er o.a. uit af te lezen.
De hoeveelheid vocht, begrensd door veldcapaciteit en verwelkingspunt, noemt men het voor de plant beschikbare, of kortweg het beschikbare vocht. De hoeveelheid beschikbaar vocht kan, uitgezonderd de grote hoeveelheid in een zeer humeuze grond, als b.v. no. 19 uit fig. 7, uiteenlopen van nauwelijks 7 (volume-) procent in lichte humus-





arme gronden, tot ruim 20 % in slibrijke gronden met een goede structuur. Voor de lichtere gronden is het kenmerkend, dat zoveel van het beschikbare vocht gebonden wordt bij een lage vochtspanning – zie b.v. de nos. 1 tot 4, 16 en 27 –; de vochtkarakteristiek van deze gronden vertoont bij de lage vochtspanningen een zeer geringe helling. Zware gronden met een slechte structuur bezitten een vochtkarakteristiek die daarentegen bij de lage vochtspanningen een steile helling vertoont. Zij binden bij de lage vochtspanningen per vochtspanningseenheid weinig beschikbaar water. Gronden met een goede structuur en een redelijk slib- of humusgehalte vertonen weinig uitgesproken krommingen in de vochtkarakteristiek. Ze binden meestal meer dan 20 volume-procenten beschikbaar vocht.



In bodemlagen dichtbij het grondwater is de hoeveelheid opneembaar vocht groter dan de hoeveelheid beschikbare vocht, omdat de grond vochtiger is dan bij veldcapaciteit. Welk deel van deze hoeveelheid vocht, die gedeeltelijk met zwakkere krachten dan bij veldcapaciteit aan de grond is gebonden, voor de plant beschikbaar komt, hangt af van de capillaire geleidbaarheid, de beworteling van het gewas e.d. – zie 2.1.2. [25] tot [27] en 2.3.1. –.

Het percentage voor de plant beschikbaar vocht is ook wel direct in verband gebracht met verschillende bodemconstanten.

Indien de grondsoorten uit een beperkt agrogeologisch gebied werden onderzocht, bleek het aan BOEKEL en PEERLKAMP, 1957, dat er soms een redelijke relatie kan bestaan tussen het beschikbare vocht en enkele bodemconstanten. Voor de onderzochte zand- en leemgronden gold:

$$BV = (0{,}4 \rightarrow 0{,}9)\ s + (1{,}2 \rightarrow 1{,}4)\ h + (0{,}05 \rightarrow 0{,}12)\ U + (-5 \rightarrow 1) \qquad (3)$$

U = het U-cijfer van de grond.

De overige symbolen zijn dezelfde als in formule (2) en (1).

Uit de voorgaande paragrafen is gebleken, dat er geen nauwe samenhang verwacht kan worden tussen de hoeveelheid beschikbaar vocht en het humus- en slibgehalte van de grond, daarvoor is de betrekking van het vochtgehalte bij veldcapaciteit met het slib- en humusgehalte te zwak. Bij de slibarmere gronden valt een toename van de hoeveelheid beschikbaar vocht op te merken, wanneer het percentage slib van lage waarden tot een gehalte tussen 20 en 30 % toeneemt. Fig. 2 geeft hierover aanwijzingen. Enkele aanwijzingen over een toename met het humusgehalte valt uit deze figuren ook af te leiden. In zwaardere gronden (met meer dan 30 % slib) heeft de hoeveelheid beschikbaar vocht veeleer de neiging om af te nemen, in plaats van een verdere toename te vertonen. Het aantal waarnemingen is echter te gering, om deze betrekking in een redelijk nauwkeurige formule vast te leggen.

Het wisselend effect van de humus- en slibgehalten van de grond op de hoeveelheid beschikbaar vocht, werd door JAMISON, 1953, naar voren gebracht. Indien een van beide componenten sterk overweegt heeft de andere weinig invloed meer op het beschikbare vocht. GLIEMEROTH, 1951, wees er op, dat het losmaken van de grond het volume beschikbaar vocht slechts tot een beperkte hoeveelheid kan doen toenemen. Uit het volgende zal nog blijken, dat de plantengroei het gemakkelijkst verloopt bij de lagere vochtspanningen in de grond. De gronden, die zeer weinig vocht binden in het traject met lage vochtspanningen, kunnen dus bij voorbaat als slechte gronden voor de plantengroei aangemerkt worden. Indien weinig vocht gebonden wordt in het traject van pF = 0 tot pF = 2,0 is ook de hoeveelheid lucht bij zo'n grond op veldcapaciteit te laag voor een goede plantengroei. Aangezien in het voorjaar, aan het begin van het groeiseizoen alle grondlagen een vochtgehalte bezitten gelijk aan, of hoger dan bij veldcapaciteit, is ook om deze reden een steil verloop van de vochtkarakteristiek in het traject met lage pF-waarden, ongunstig.
Niet alleen in de Angelsaksische wereld heeft het begrip beschikbaar vocht ingang gevonden. Reeds in 1931 is door SEKARA, een onderzoeker uit de Duitse school, een verwant begrip beschreven n.l. de „Statisch Nutzbare Wasserkapazität" = „Wasserkapazität" – „Hygroskopizität". Daar de planten deze hoeveelheid niet geheel kunnen opnemen, voerde SEKARA ook het begrip „Nutzbare Wasserkapazität" in, gelijk aan 0,75 × de „Statisch Nutzbare Wasserkapazität".

De vochtkarakteristiek vertoont een opmerkelijke hysteresis. Men verstaat hieronder het verschijnsel, dat een grond die bevochtigd wordt bij eenzelfde vochtspanning een lager vochtgehalte bezit, dan wanneer deze grond uitdroogt. Er bestaan dan ook twee curven voor de vochtkarakteristiek, een „uitdrogende" en een „vochtig wordende". Vooral in het lage pF-traject kan de hysteresis opgemerkt worden. Bij de hoge pF-waarden (> 2,3 à 2,7) speelt de hysteresis geen grote rol meer. Voorbeelden van hysteresis zijn gegeven door RICHARDS, 1941a, CRONEY en COLEMAN, 1954, e.a. Op het verschijnsel is ook door CHILDS en GEORGE 1950a nadrukkelijk gewezen. Er bestaat in het traject met lagere pF-waarden een verschil in de helling van de vochtkarakteristiek behorende bij een „uitdrogende" en bij een „vochtig wordende" grond. Deze helling valt steiler uit voor hetzelfde vochtgehalte bij de „uitdrogende" tak. Bij een bepaalde afstand tot de grondwaterspiegel zal in een drogende grondlaag een hoger vochtgehalte bij eenzelfde vochtspanning bereikt worden, dan in een vochtiger wordende grondlaag, die op dezelfde hoogte, in dezelfde situatie verkeert. Bij gelijkheid van vochtspanning zal geen vochttransport meer plaatsvinden en zal dus de grond een te hoog vochtgehalte resp. te lage vochtspanning houden.

Voor de bepaling van het lagere deel van de vochtkarakteristiek is een soortgelijke apparatuur in bedrijf gesteld als DONATH, 1937, gebruikte voor het onderzoek naar de bodemstructuur – zie fig. 8 –.

Het ongeroerde grondmonster (a), gevat in een metalen ring, wordt gezet op een poreus aardewerkplaatje (b). De ruimte, waarin het monster zich bevindt, is alleen via een capillair en via een kleine opening (g) in de kurk van het buisje (k) met de buitenlucht verbonden. Om de ingestroomde lucht zoveel mogelijk met vocht te verzadigen is het buisje (k) gedeeltelijk met water gevuld.

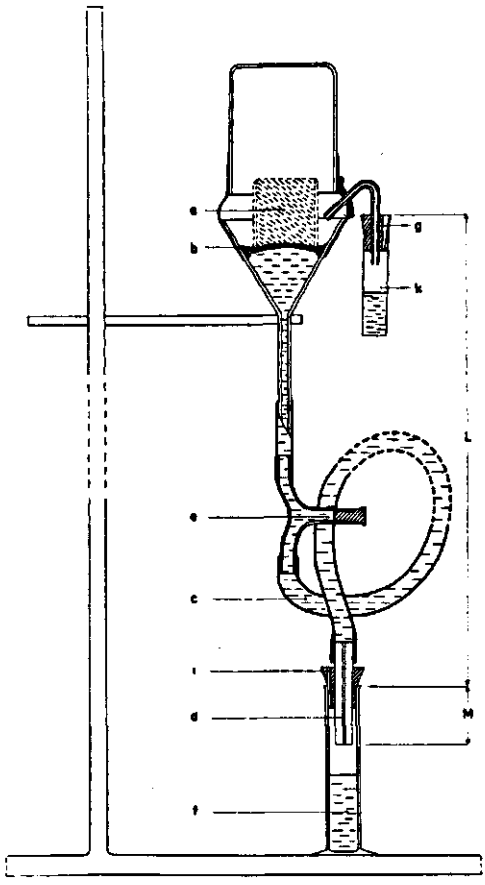


FIG. 8. Apparatuur voor de bepaling van de vochtkarakteristiek.
a. grondmonster, b. poreus aardewerk plaatje. c. waterkolom met variërende lengte. d. uitstroom capillair. e. ontluchtingsbuis met maatverdeling. f. maatcylinder. g. kleine opening voor luchttoevoer. i. kleine opening voor luchtafvoer. k. luchtbevochtigingsbuisje. L. toegepaste onderdruk. M. stijghoogte in capillaire uitstromingsbuis.

FIG. 8. *Apparatus used for determination of moisture characteristics.*
a. soil sample. b. porous plate (unglazed china). c. watercolumn with variable height. d. capillary tube. e. calibrated tube to remove entrapped air, f. calibrated cylinder. g. small entrance for air. b. small opening for escape of air. k. tube for moistening of air. L. suction applied. M. capillary rise in small tube d.

Onder het poreuze plaatje (b) bevindt zich een kolom water (c), in een oprolbare rubberslang, die een bepaalde instelbare zuigspanning (L) kan geven aan het grondmonster. Deze kolom water mondt uit in de uitstromingscapillair (d), waarin een capillaire stijghoogte (M) optreedt. Het onttrokken vocht is te meten aan de stijging van het waterniveau in het maatcylindertje (f). Door de kleine opening (i) in de kurk staat de ruimte in het maatcylindertje met de buitenlucht in verbinding. Luchtbellen ontwikkelen zich soms in de waterkolom en stijgen vaak direct op tot vlak onder plaatje(b). Het volume van deze luchtbellen moet in mindering gebracht worden op de uitgestroomde hoeveelheid vocht. Daartoe worden deze luchtbellen naar het ontluchtingsbuisje (e) gestuwd door manipulaties met de trechter, waarop zich het monster bevindt. Tijdens deze manipulaties wordt het monster stevig tegen het poreuze plaatje aangedrukt gehouden. Het volume van de luchtbel in het buisje (e) wordt gemeten, de uitstromingsopening in (d) afgesloten en vervolgens wordt de ruimte van de luchtbel vol gegoten met water. Daarna kan opnieuw verder gewerkt worden. Wanneer uitgekookt water wordt gebruikt bij het vullen van de trechter en de rubber slang, zullen zich niet veel luchtbellen vormen.

De zuigspanning L, teweeggebracht door de waterkolom onder het poreuze plaatje en de waterkolom in het monster, zal zich ook meedelen aan het grondmonster. In het monster zal alleen vocht overblijven, dat met een grotere kracht gebonden is dan L cm waterkolom. Men geeft nu aan, dat het vocht in de grond een spanning heeft van L cm

water. Indien het beginvochtgehalte van het monster bekend is, kan na het meten van de uitgestroomde hoeveelheid water, het vochtgehalte bij elke aangelegde onderdruk berekend worden. Op deze wijze is de vochtkarakteristiek bepaald.
De ongestoorde grond is gebruikt voor deze bepaling. Daardoor werd een zo nauw mogelijke aansluiting bereikt aan de vochtspanning, zoals die ook in het veld zal optreden. Afwijkingen door het werken met gestoorde grond, zoals o.a. door ELRICK en TAMM, 1955, CRONEY en COLEMAN, 1954, zijn gevonden, werden aldus vermeden.

Bij de hogere vochtspanningen, in het traject met beschikbaar vocht, is gebruik gemaakt van een membraanpers voor de bepaling van de vochtkarakteristiek. Het apparaat is een gewijzigde versie van het oorspronkelijke toestel van RICHARDS, 1941b, – zie fig. 9 –.

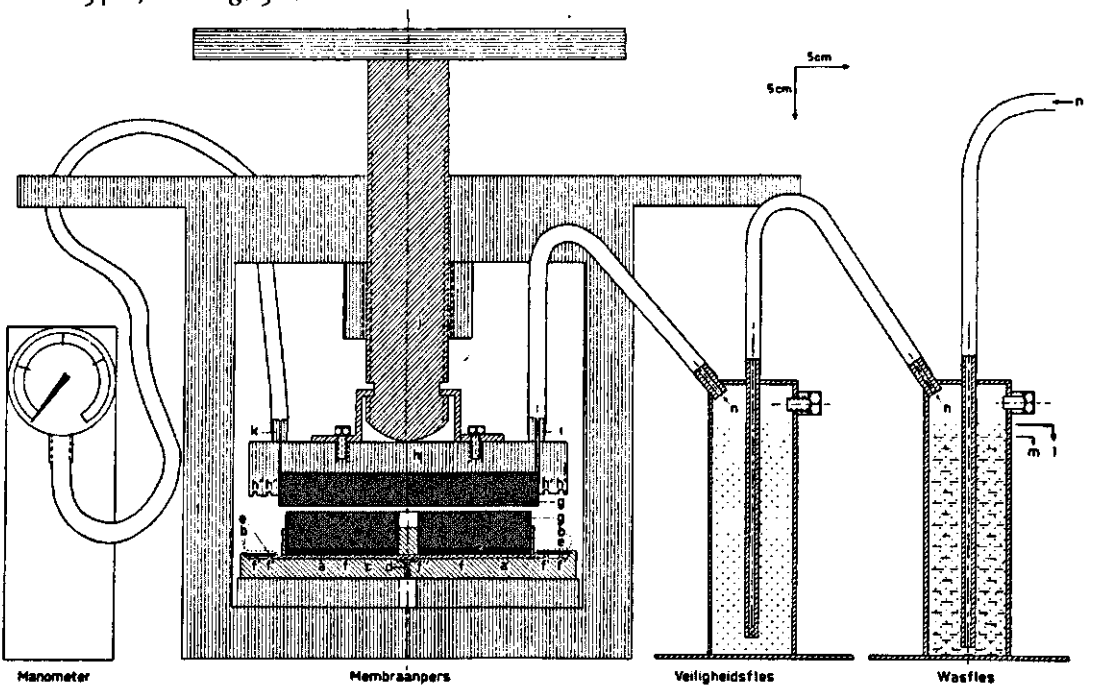


FIG. 9. Apparatuur voor de bepaling van het verwelkingspunt met behulp van een membraanpers. a. grond (onder sponsrubberkussens g.). b. cellofaan - membraan. c. koperen steungaas of nylondoek. d. afvoeropening. e. rubberring voor afdichting. f. bodemplaat met afvoeropening en f' klemribben onder de rubber afsluiting f'' afdekplaatje voor afvoeropening. g. sponsrubberkussens voor het aandrukken van de grond. h. deksel met h' afsluitgroeven boven de rubberafsluiting. i. persluchtinlaat. j. aandrukkende spil. k. afvoer lucht naar manometer. l. glaswol vulling. m. watervulling. n. perslucht aanvoer.

FIG. 9. *Pressure membrane.*
a. soil sample (under cushions of foam rubber g.). b. cellophane membrane. c. brass wire or nylon cloth for support of membrane, d. opening for drainage. e. rubber ring. f. bottom plate with opening for removal of water with ribs f' and cover plate f'' over the bottom opening .g. cushions of foamed rubber to press the soil against the membrane. h. cover with grooves h', i. entrance to compressed air, j. pressing spindle, k. connection with manometer. l. glass wool. m. water. n. entrance of compressed air.

De membraanpers is een stalen kamer, gevormd door een uitgehold deksel (h), dat rust op een bodemplaat (f). In het deksel bevinden zich de toevoeropening van de perslucht (i) en een opening (k) met een aansluiting naar een manometer. De bodemplaat is met een kleine opening (d) doorboord. Deze opening is weliswaar afgedekt met het steunplaatje (f''), maar niet hermetisch afgesloten. Op de bodemplaat bevindt zich vervolgens een steunlaag, die gevormd kan worden door fijn bronsgaas of een stevig nylondoek. Op deze steunlaag rust een vel cellofaan (b[1]). Een luchtdichte afsluiting van deze kamer kan worden bereikt door het deksel met de aandrukkende spil (j) op de bodemplaat te persen. Daartoe is ook tussen de afsluitingsranden van deksel en bodemplaat een soepel rubber vlies (e) gelegd, dat door de werking van de groeven (h') en de er in passende ringen (f'), op zijn plaats wordt gehouden. (In later gebouwde apparaten, o.a. in het gebruik bij het Laboratorium voor Landbouwscheikunde der Landbouwhogeschool en bij Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding te Wageningen, is dit rubber vlies vervangen door een in groeven opgesloten „O-ring"). De luchtdruk in de kamer kan door middel van perslucht op 16 atm. gebracht worden. De toegevoerde lucht passeert eerst een wasfles, gevuld met water en glaswol. Daarin wordt de toegevoerde lucht zo goed mogelijk met vocht verzadigd, zodat ook bij kleine luchtlekken in de membraanpers de grond in de kamer niet zal uitdrogen. Tussen de wasfles en de membraanpers is nog een veiligheidsfles geschakeld. Deze voorkomt bij een luchtlek in de membraanpers, dat het water uit de wasfles de grond in de drukkamer bereikt.

De verse grond wordt in een 3 tot 5 mm dikke laag op de cellofaan membraan op de bodemplaat van de membraanpers gespreid, vervolgens flink bevochtigd en afgedekt met de sponsrubberplaten (g). Deze sponsrubberplaten dienen alleen om de grond goed tegen het cellofaan aan te drukken. Er zijn voorzieningen getroffen, zodat het sponsrubber geen vocht kan opnemen uit de grond. Na het inbrengen wordt het deksel op de bodemplaat geklemd en wordt perslucht toegelaten, zodat de druk in de membraanpers oploopt tot de gewenste hoogte. Door gebruik van een reduceerventiel op een grote voorraadfles met samengeperste lucht, bleek het mogelijk deze druk binnen redelijke grenzen te handhaven, indien enkele malen per dag het reduceerventiel wordt bijgesteld.

Het verstoren van de structuur van de grond bij het inbrengen van het monster in de membraanpers heeft volgens RICHARDS, 1949, geen invloed op het vochtgehalte bij het verwelkingspunt.

Het bleek, dat na 5 dagen geen vocht meer werd verdreven uit grondmonsters, die onder een druk van 2 atm. werden gehouden. Na 3 dagen werd geen verandering in het vochtgehalte meer opgemerkt in de monsters, die onder een onderdruk van 16 atm. verkeerden. Laatstgenoemde tijd is een dag langer dan de termijn die RICHARDS, 1941b, daarvoor opgeeft.

Er is weinig invloed van de luchtbehandeling in de wasfles op het verwelkingspunt gevonden. Daarom is deze bij de bepaling van het verwelkingspunt doorgaans uitgeschakeld. Bij de bepaling van de pF = 3,3 (2 atm.) is de wasfles wel steeds gebruikt. Hiermee is grotendeels de kritiek van COLLIS GEORGE, 1952, ondervangen. Laatstgenoemde stelde de vraag of er werkelijk een evenwichtstoestand tussen het vochtgehalte in het grondmonster en de toegepaste onderdruk bereikt kan worden. Door de luchtstroom immers, die via het grondmonster het cellofaan passeert, zal het monster ook na het bereiken van het evenwicht tussen bodemvochtspanning en overdruk steeds verder uitdrogen. Het cellofaan is namelijk wel grotendeels luchtdicht, doch niet volledig. COLLIS GEORGE beveelt aan, om in de luchtstroom verzadigde zoutoplossingen aan te brengen, met eenzelfde dampspanning als het vochtmonster moet krijgen in de evenwichtstoestand. Wanneer water in plaats van deze verzadigde zoutoplossingen wordt gebruikt, zal het grondmonster dus iets te vochtig blijven bij de toegepaste onderdruk.

De behandeling van de grondmonsters voor de bepaling van de vochtkarakteristiek begint, heeft een niet te verwaarlozen invloed op de ligging van deze lijn bij de lagere vochtspanningen. De ring-

[1]) Een kwaliteit van het cellofaan van „50 grams" van de Cellglas Sidac Mij te Utrecht, voldeed goed, evenals iets dikkere cellofaanvliezen.

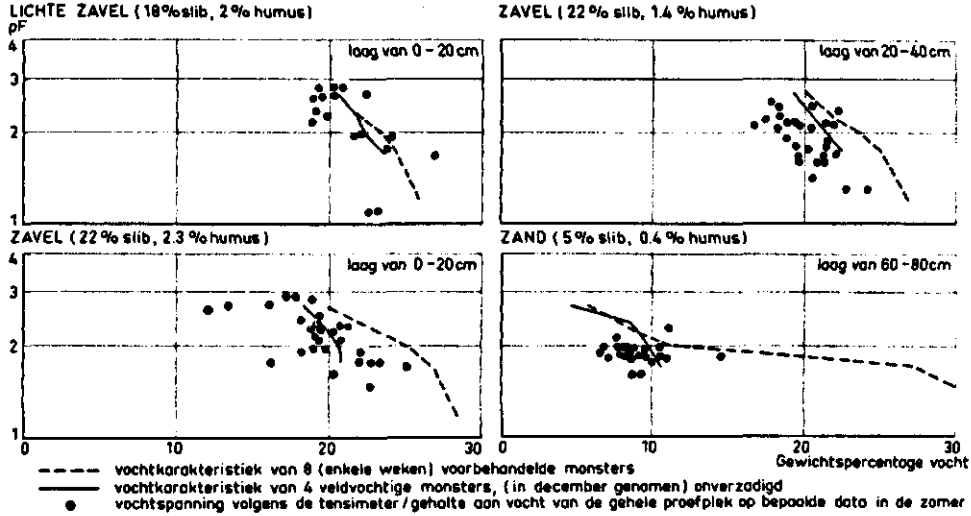


FIG. 10. Vochtkarakteristieken van zeekleigronden.

FIG. 10. *Soil moisture characteristics of differently pretreated soils; broken line: samples stored under wet conditions for a few weeks, full line unsaturated fresh (winter) soil samples, dots: moisture tension according to tensiometers (summer data.)*

monsters, die gebruikt worden op het apparaat volgens DONATH, zijn grotendeels bewaard op nat zand. In dit zand is 20 a 30 cm onder het oppervlak een „grondwaterspiegel" gehandhaafd. De monsters konden zich meestal gedurende vele maanden instellen op een overeenkomstige lage vochtspanning. Gedurende 3 dagen voordat de monsters in het apparaat werden geplaatst, zijn ze in een vacuum-exsiccator, bij circa een halve atm. onderdruk in de bovenstaande lucht met water verzadigd. Daartoe werden ze in de exsiccator op een vilten lap geplaatst, die vrij in een waterreservoir hing. Het wateroppervlak reikte tot vlak onder het grondmonster.
De monsters, die in de membraanpers werden behandeld, waren doorgaans vers; enkele series grond zijn echter vooraf bij kamertemperatuur tot luchtdroog uitgedroogd.
De invloed van het lang verzadigen van de monsters op het natte zand uitte zich op tweeërlei wijze – zie tabel 1b en fig. 10 –.:
Vooral in het middelbare en ook in het hogere vochtspanningstraject krijgen langdurig voorverzadigde gronden een wat hoger vochtgehalte. In het lage pF-traject leidt het langdurige voorverzadigen tot lagere vochtgehalten – tabel 1b –, bij minder langdurige bewaring tot het tegendeel – fig. 10 –. Dit is waarschijnlijk te wijten aan het in elkaar zakken van het monster, dus verlies aan structuur, verlies aan grote poriën na langdurige bewaring op het natte zand.
Het toepassen van de grote onderdruk tijdens de laatste verzadiging in de exsiccator blijkt weinig verschuiving te veroorzaken. Vooraf drogen van de monsters leidt zowel bij de lage als hoge vochtspanningen tot een lager vochtgehalte, dus een verschuiving van de vochtkarakteristiek naar lagere gehalten. Zowel 3 dagen verzadigen bij een $\frac{1}{2}$ atm. onderdruk voor de bepaling van de lage pF waarden, als gedurende 2 à 3 dagen verzadigen met overmaat water zonder overdruk, voor de bepaling van de hoge pF-waarden 3,3 en 4,2, bleek niet lang genoeg om een gelijk resultaat te verkrijgen met de gedroogde en met geheel verse grond.
Door SMITH en BROWNING, 1947, is een overeenkomstige verschuiving van de vochtkarakteristiek waargenomen na een kunstmatige bevochtiging van de grondmonsters. Ook bij deze auteurs is de verschuiving groter in het lagere pF-traject. BOEKEL en PEERLKAMP, 1957 vonden iets dat in dezelfde richting wijst. Grondmonsters uit droge profielen bleken minder vocht per procent humus

of slib te binden, dan gronden uit natte profielen. De verhandeling van JAMISON, 1956, komt op hetzelfde neer. EMERSON, 1955, nam waar, dat bodemaggregaten gedurende vele dagen water blijven opnemen, indien ze dagelijks opnieuw met water worden overgoten. Tegelijkertijd nam de permeabiliteit van deze aggregaten af, grote poriën gingen dus verloren.
SMITH en BROWNING, 1947, merkten ook op, dat het vochtgehalte, dat na kunstmatige verzadiging in de grondmonsters wordt aangetroffen, bij eenzelfde pF in het veld niet aanwezig is. Eenzelfde ervaring is door ons verkregen – zie fig. 10 –.
Het feit, dat tensimeters in het veld een lagere vochtspanning aanwijzen dan met het vochtgehalte van de grond overeenkomt, zal nog besproken worden – 2.2.1.3. –.

De vochtgehalten bij dezelfde pF, in verse (veldvochtige), in lange tijd bevochtigde (voorbehandelde) en ingedroogde monsters, blijken uiteen te lopen. De vochtgehalten bij eenzelfde vochtspanning van veldvochtige en gedroogde monsters liggen op een lager niveau, de vochtgehalten van lange tijd verzadigde monsters, zoals deze doorgaans in ons laboratorium werden behandeld, lagen op een hoger peil.
Dit verschijnsel geeft aanleiding te denken aan hysteresis op lange termijn, in tegenstelling tot het hysteresis-effect, dat op kan treden na een kortdurende uitdroging of bevochtiging van de grond. Vooral humusrijke gronden lijken een groot hysteresis-effect te vertonen na een langdurige uitdroging of bevochtiging.

Tot nu toe is over het vochtgehalte van de grond zonder verdere toevoeging gesproken. Meestal is het vochtgehalte van een grond bij een bepaalde pF opgegeven in gewichtsprocenten. Dit heeft het voordeel, dat geen rekening gehouden moet worden met veranderingen in het poriënvolume. Vooral bij zwaardere gronden kan volgens HOLMES, 1955, LAURITZEN en STEWART, 1941, met het onttrekken van vocht een verlaging van het poriënvolume gepaard gaan. Uit enkele waarnemingen – zie 2.2.1.3. – blijkt, dat deze verandering van het poriënvolume in de bestudeerde gronden, in het traject met beschikbaar vocht, geen grote betekenis heeft.

De vochtkarakteristiek blijkt dus voor de karakterisering van een grond van groot belang ten aanzien van de vochthuishouding. De ligging van de vochtkarakteristiek is onderhevig aan hysteresis. Deze treedt het duidelijkst aan de dag bij lage vochtspanningen en na langdurig drogen of bevochtigen van de grond.

De standaard-afwijking van de uitkomsten bij de lage pF-waarden, 5-20 %, doorgaans 10-15 % zijn gedeeltelijk groter dan de afwijkingen die BOEKEL en PEERLKAMP, 1957, opgeven van overeenkomstige bepalingen. De fout van de vochtkarakteristiek is volgens SEKARA, 1938, duidelijk lager, de helft tot een derde van onze waarden. De wijze van het bemonsteren van een profiel en eventueel de voorbehandeling van de monsters kunnen hiervoor als oorzaak genoemd worden. Onze monsters zijn niet alle dichtbij elkaar genomen en ontvingen ten dele een verschillende voorbehandeling.

[10] 2.1.1.4. *De reactie van de plantengroei op de vochttoestand van de grond*

Wanneer de invloed van de vochttoestand in de grond op een gewas nagegaan moet worden, blijkt het gemakkelijk deze invloed afzonderlijk te beschouwen bij de groei en bij verschijnselen, die meer direct met de vruchtbaarheid in verband staan. Met de laatste zijn verschijnselen bedoeld als de aanleg van gemengde knoppen, de vruchtzetting en de vruchtgroei. De vochttoestand van de bodem moet eveneens nader omschreven worden. Deze toestand kan als een constante bestudeerd worden, of als een variabele die met de tijd en met de diepte in het profiel varieren kan. Het laatstgenoemde aspect wordt aan het slot van 2.1.1.4. in [21] behandeld.
De vruchtboomreacties bij de extreem natte toestand met wateroverlast, zijn van geheel andere aard dan bij watertekort. In 2.1.2.2. zullen deze besproken worden.

11a

11b

11c

FIG. 11a. Scheuten van de appel Cox's Orange Pippin zonder verwelkingssymptomen

FIG. 11a. *Shoots of Cox Orange Pippin without symptoms of wilting*

FIG. 11b. Scheuten van de appel Cox's Orange Pippin met matige verwelkingssymptomen.

FIG. 11b. *Shoots of Cox Orange Pippin with medium symptoms of wilting.*

FIG. 11c. Scheuten van de appel Cox's Orange Pippin met sterke verwelkingssymptomen

FIG. 11c. *Shoots of Cox Orange Pippin with symptoms of severe wilting.*

FIG. 12a. Onbeschadigde (beregende) vruchten van de appel Cox's Orange Pippin.
FIG. 12a. *Normal fruits of Cox Orange Pippin (irrigated).*

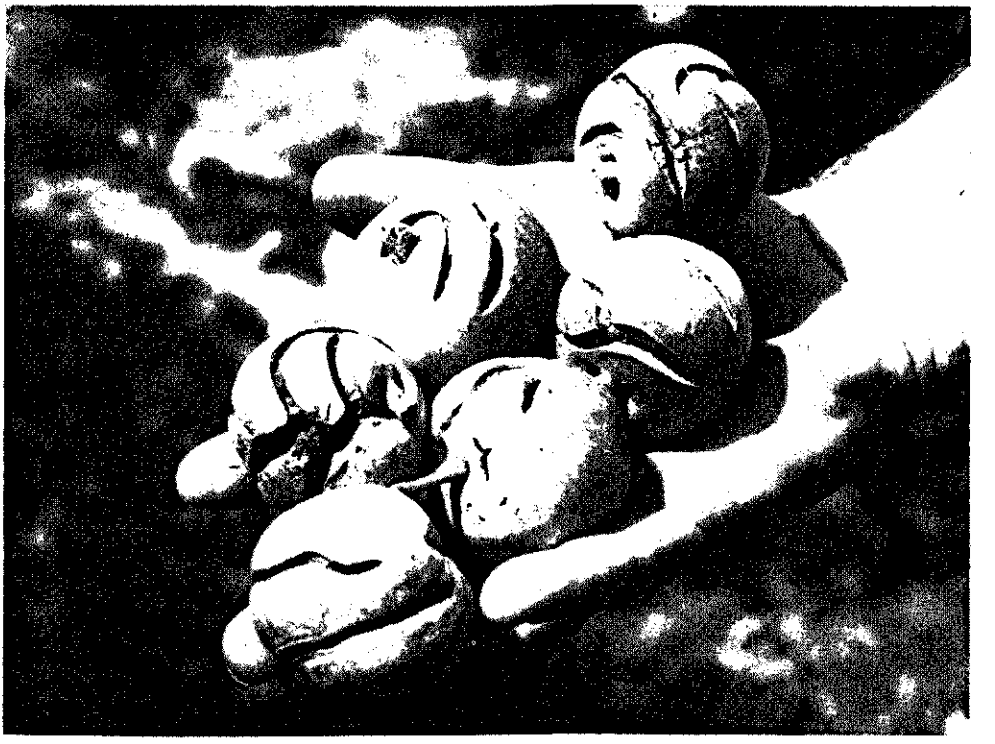


FIG. 12b. Door droogte gescheurde vruchten van de appel Cox's Orange Pippin.
FIG. 12b. *Fruits of Cox Orange Pippin cracked by drought.*

[11] *Droogteverschijnselen*

De vochttoestand van de bodem is vaak een factor met een spectaculaire invloed op de plantengroei. Ook fruitbomen ontkomen niet aan de invloed van de vochthuishouding van de grond. Een van de eerste plantenreacties, die bij droogte opgemerkt worden, is een vertraging van de scheutgroei. Volgende stadia zijn – zie fig. 11 en 12 –: flauw hangend blad, met bij de appel vaak iets naar boven gekrulde bladranden en ook bij de meeste fruitsoorten een meer dichtgevouwen blad. Daarna verwelkend, flauw hangend blad, een vergeling van de bladschijf bij appel en zwartkleuring bij de peer. In de beginstadia van de reactie op de droogte kan bij appel een matige bladval voorkomen, die binnenin de boom aan de kortloten begint. De afgestoten bladeren zijn niet geheel geel, maar vaak geel-groen gemarmerd.

Bij de peer komt in sommige rassen een symptoom voor, dat doet denken aan droogteschade als gevolg van een te droge grond. Het is echter het gevolg van sterke bestraling en van een hoge temperatuur van de atmosfeer. Wij willen dit verschijnsel liever „hitte beschadiging" noemen. Bij pererassen als William's Duchesse, Clapp's Favourite, Beurré Lebrun wordt onder deze omstandigheden het blad van bepaalde gedeelten van een boom, maar meestal niet aan de buitenzijde, over vrijwel zijn gehele oppervlakte zwart. Ook bij de appel komt een soortgelijk verschijnsel voor, maar doorgaans van minder ernstige aard. Meestal wordt het blad bij appel niet over de volle oppervlakte maar bij gedeelten bruin. Tegelijk met het verwelken van het blad stopt ook de vruchtgroei. Bij aanhoudende droogte drogen ook de vruchten in en verschrompelen min of meer. In dit stadium is bij appel het blad grotendeels gevallen en hangen er alleen nog vruchten aan de bomen. Bij de peer wordt het blad niet zo gauw afgestoten.

BREMER, 1955, die in een droog en heet gedeelte van Turkije de reactie van hard fruit goed kon bestuderen, noemt een volgorde van droogte-gevoeligheid voor verschillende fruitsoorten. Hij geeft daarvoor, van de minst naar de meest gevoelige soort: abrikoos, perzik, zure kers, peer, appel, zoete kers, pruim. Peer krijgt zijn goede plaats door een diepe beworteling in deze streek.

BREMER wijst op de betekenis van de luchtvochtigheid in het microklimaat van een boomgaard. Door een hogere luchtvochtigheid wordt waarschijnlijk hittebeschadiging voorkomen. Hij beveelt daarom een onderteelt aan, die door zijn verdamping de luchtvochtigheid verhoogt. Blijkbaar weegt deze gunstige werking van de onderteelt op tegen de vochtconcurrentie van het gewas.

LALATTA, 1956, ging de verdamping na van verschillende fruitsoorten door bladwegingen. Perzikeblad blijkt het minste, appelblad meer en pereblad het meeste per oppervlakte-eenheid te verdampen. Deze waarneming komt overeen met gegevens van BREMER. Deze nam waar dat de huidmondjes van pereblad zich veel minder sluiten bij droogte dan die van andere fruitsoorten. Wellicht is dit ook de verklaring voor het verschil in de reactie van appel en peer in ons land; de peer vertoont de ernstigste hitte-beschadiging en is zeker niet minder droogtegevoelig dan de appel. Hier te lande kan de peer waarschijnlijk minder profiteren van zijn vermogen om een dieper wortelstelsel te vormen dan de appel.

[12] *De invloed van de beworteling*

Bij de reactie van de plantengroei op de vochttoestand zal de rol van de beworteling voorlopig onbesproken blijven. De invloed van de beworteling komt later in deze paragraaf nogmaals ter sprake. Het is duidelijk, dat alleen in potproeven met een intensief doorwortelde grond de invloed van de vorm van het wortelstelsel en de intensiteit van de beworteling van geen belang zullen zijn. Uit het werk van GOEDEWAAGEN, 1942, de Stichting voor Bodemkartering e.a. is duidelijk gebleken van hoe groot belang een diepgaande beworteling is voor landbouwgewassen. Een diepgaande wortelzone verschaft een plant een groter deel van het beschikbaar vocht uit het bodemprofiel. De vochtbeweging in de grond, vooral als deze uitdroogt, blijkt te traag om aan een ondiep wortelend gewas in een droge periode een voldoende hoeveelheid vocht toe te voeren – zie 2.1.2.1.–. De plant is grotendeels aangewezen op het beschikbaar vocht in de wortelzone. (De wortelzone is het gedeelte van het bodemprofiel, dat gerekend vanaf het maaiveld 90 % van de wortels dunner dan 1 mm bevat). Bij gevolg zal ook de vochttoestand in de wortelzone van een diep doorworteld profiel stabieler zijn. Dit heeft een gunstige invloed op de plantengroei – zie [20] en [21] –. Het verschil in de bewortelingsdiepte van appel en peer blijkt niet groot te zijn. Uit de bewortelingsopnamen in onze proefplekken – zie 2.2.1. en 2.2.2. – valt af te leiden, dat de peer een iets dieper gaande beworteling bezit. Dit volgt uit de grotere bewortelingsintensiteit in de diepere bodemlagen – zie tabel 2 –.

De bewortelingsdiepte in goede profielen bleek bij appel en pruim niet veel te verschillen. De kleinfruitsoorten, rode bes, zwarte bes en de braam, kunnen eenzelfde bewortelingsdiepte bereiken als de appel in normale fruitteeltgronden in ons land. De aardbei en de framboos bezitten echter een minder diepgaand wortelstelsel. Ook in goede profielen beperkt de beworteling van deze gewassen zich vaak tot een diepte van 0,50 m.

Naast de bewortelingsdiepte is de bewortelingsintensiteit van belang. De bewortelingsintensiteit is in tabel 3 opgegeven als de „worteldichtheid". De worteldichtheid geeft het aantal dunne wortels (dunner dan 1 mm), dat gemiddeld per m^2 in een vertikale profielwand aangetroffen wordt. De diepte van deze profielwand, afgerond in dm, wordt gelijkgesteld aan de diepte van de wortelzone. De telling van de wortels wordt bij voorkeur uitgevoerd in een profielwand, die van ca 0,50 m vanaf de stam van de proefboom loopt naar het snijpunt van de diagonalen in de rechthoek, gevormd door vier aaneengrenzende bomen, met op een hoekpunt de proefboom. Worteldichtheden van 100 tot 500 blijken voor te komen bij appel en peer – zie tabel 3 –. Bij klein fruit komen ook wel grotere dichtheden voor. In ondiep doorwortelbare profielen blijkt de worteldichtheid aanmerkelijk groter te zijn, maar niet zoveel, dat een gewas in een ondiep profiel evenveel wortels bezit, als in een diep doorwortelbaar profiel.

Naast de bewortelingsintensiteit is echter ook de fysiologische activiteit van de wortels van betekenis. Een minder intensieve beworteling behoeft nog niet te betekenen, dat een gewas droogte-gevoeliger zal zijn.

Tussen de verschillende fruitgewassen, rassen en onderstammen bestaat er niet alleen een verschil in de relatieve worteldichtheid in de onderscheiden lagen van de wortelzone; ook in de totale worteldichtheid, gerekend over de gehele wortelzone, bestaan er grote verschillen.

Veel gegevens zijn hierover echter niet beschikbaar. De worteldichtheid bij de peer blijkt b.v. geringer te zijn dan bij de appel, al is het verschil niet steeds duidelijk. De worteldichtheid bij de sterke onderstammen is veelal hoger dan bij de zwakkere. Sommige kleinfruitsoorten, de framboos bijvoorbeeld, bezitten een veel grotere worteldichtheid dan de appel. Met deze verschillen in de worteldichtheid gaat ruwweg een verschil in droogtegevoeligheid gepaard. De peer bijvoorbeeld wordt niet op zeer droogtegevoelige gronden geplant en vertoont ernstiger droogtesymptomen in een regenarme periode dan de appel. Fruitbomen op zwakke onderstammen ondervinden meer nadeel van droogte dan op sterke onderstammen.

[13] *De invloed van een constant gehouden vochttoestand van de bodem*

Deze paragraaf is gewijd aan de vraag of er een optimale vochttoestand van de bodem voor de plantengroei bestaat. Een uitwerking van dit probleem voor de verschillende groeistadia van het gewas wordt in de volgende paragraaf gegeven.

Met de waardering van de vochttoestand van de grond voor de plantengroei, bevinden wij ons hier te lande in een minder ver gevorderd stadium dan met de waardering van de chemische toestand van de grond. De toetsing van de gehalte-cijfers, die bij het chemisch grondonderzoek op kali en fosfor worden gevonden – zie VAN DER PAAUW, 1956 – is in de loop der jaren uitgevoerd en heeft geleid tot de opstelling van een adviesbasis voor de bemesting. Voor de waardering van de vochttoestand van de grond zal nog een uitgebreidere toetsing aan proefveldresultaten nodig zijn. Gelukkig lijkt de overdraagbaarheid van de beoordelingsnormen voor de vochttoestand in de bodem uit gebieden met eenzelfde klimaat veel beter te zijn, dan van de normen gevonden bij het chemisch grondonderzoek. Ook het feit, dat de analyse van de vochttoestand in vele landen met dezelfde methoden wordt uitgevoerd, maakt het gemakkelijk van de ervaring uit andere landen te profiteren. Vooral in de Verenigde Staten van Noord-Amerika en ook in Engeland is in de laatste decennia grote ervaring verkregen bij de beoordeling van de vochttoestand in de bodem.

De beoordeling van de resultaten over het tot dusver verrichte onderzoek naar de vochttoestand in de bodem is vaak moeilijk, omdat bij de opgaven van de vochttoestand veelal niet is vermeld, welke bodemlagen zijn bemonsterd en waar de wortelzone zich in de bodem bevindt.

[14] *Aanwijzingen in de literatuur over een gelijke beschikbaarheid voor de plant van al het beschikbare vocht.* Er heeft in de Verenigde Staten lange tijd een verschil van mening bestaan over de vraag of al het beschikbare vocht in de grond voor de plant even gemakkelijk beschikbaar is, m.a.w. of een vochtgehalte dat niet veel van de veldcapaciteit van de grond afwijkt voor de plant dezelfde mogelijkheden biedt, als een vochtgehalte dat dicht bij het verwelkingspunt ligt. Dit is van des te groter belang, omdat de voorstanders van de gelijke beschikbaarheid van het bodemvocht over het gehele traject van het beschikbare vocht, hun zienswijze baseerden op proeven met fruit. De groep van VEIHMEYER en HENDRICKSON, die deze zienswijze verdedigen, heeft in de loop van de tijd steeds minder medestanders gekregen en momenteel lijkt hun opvatting alleen geldig te zijn voor de vruchtgroei. Voor een goed begrip kan het

volgende vermeld worden. Uit een publikatie van 1929, door HENDRICKSON en VEIHMEYER kan worden afgeleid, dat men met het toepassen van een volgende irrigatie-beurt in de perzikencultuur kan wachten tot de grond tot dichtbij het verwelkingspunt is uitgedroogd. Wanneer men op een vroeger tijdstip reeds water toedient, geeft dit dezelfde groei en dezelfde grootte van de rijpe vrucht. Ook verschillen in de geoogste hoeveelheden worden dan niet waargenomen. Volgende publikaties van dezelfde schrijvers b.v. uit 1934, hadden een soortgelijke strekking. Het blijkt uit deze publikaties echter wel, dat de afmetingen van de vruchtbomen groter werden als met de volgende irrigatie niet werd gewacht totdat al het beschikbare vocht was verbruikt. Publikaties van HENDRICKSON en VEIMEYER, 1942a en b, die de irrigatie bij appel en peer behandelen, geven aan dat onder het milde klimaat waar de proeven werden uitgevoerd, ook bij de appel en de peer geen invloed van een uitdroging tot een lagere vochttoestand van de bodem werd gevonden op de groei van de vrucht. Wel werd er invloed op de groei van de scheuten vastgesteld. Uit de gegevens (1942b) blijkt inmiddels, dat ook bij de niet geïrrigeerde objecten het beschikbare vocht zelden onder de 50 % is gedaald. Hiermee verliezen de genoemde publikaties aan bewijskracht voor de lagere vochttrajecten. De samenvatting van de proefresultaten uit 1943, door VEIHMEYER en HENDRICKSON, wijst onverkort op de gelijke beschikbaarheid van het bodemvocht over het gehele traject van het beschikbare vocht.
Een latere publikatie van VEIHMEYER en HOLLAND, 1949, over de irrigatie van sla, vermeldt wel een nadelige invloed van een lage vochttoestand op de groei van dit gewas. De verschillen in groei werden echter klein genoemd.
In overeenstemming met VEIHMEYER en HENDRICKSON vermeldden BOYNTON en SAVAGE, 1938, en FURR en TAYLOR, 1939, dat de groei zowel van pit- en citrusvruchten pas trager verliep wanneer het vochtgehalte in de dichtst doorwortelde bodemlagen het verwelkingspunt ging benaderen.
AMOS c.s., 1932, konden geen, ROGERS, 1938, wel een klein, gunstig resultaat met irrigatie bij appels bereiken. Het vochtgehalte van de grond in de proefperiode is echter ook in de onbehandelde objecten niet tot dicht bij het verwelkingspunt gedaald. KELLEY c.s., 1945, vonden, dat de rubberproduktie van de guayule-plant hoger was bij een hogere vochttoestand van de grond. Iets soortgelijks vond HADDOCK, 1954, bij de suikeropbrengst van suikerbieten. Deze opbrengst lag iets lager bij het aanhouden van de lagere (0,2 à 0,6 atm.) ten opzichte van iets hogere vochtspanningen.

[15] *Aanwijzingen uit de literatuur over een ongelijke beschikbaarheid voor de plant van het beschikbare vocht.* Een groeiend aantal onderzoekers heeft het standpunt van VEIHMEYER en HENDRICKSON over de gelijke beschikbaarheid voor de plant van het beschikbare vocht niet kunnen delen. Een eerste aanwijzing tegen deze stelling werd gezien in het gedrag van de huidmondjes van het blad. Wanneer de huidmondjes zich sluiten, wordt niet alleen de verdamping van de plant, maar ook de assimilatie geremd. Volgens het onderzoek van WINNEBERGER, 1958, is transpiratie van de plant ook een voorwaarde voor de assimilatie.
Toen FURR en DEGMAN, 1931, dan ook waarnamen, dat de huidmondjes van het appelblad zich in een groter aantal en in een sterkere mate sloten, naarmate de bomen

zich in een steeds verder uitdrogende grond bevonden, lag de conclusie voor de hand dat in een steeds droger wordende grond het assimilerend vermogen van de plant steeds verder terugloopt, totdat het bij het verwelkingspunt geheel uitvalt.
MAGNESS en DEGMAN, 1935, namen eveneens waar, dat in drogere grond meer huidmondjes van het appelblad gesloten zijn en toonden ook aan, dat de groeisnelheid van de vrucht met het percentage geopende stomata samenhing. OPPENHEIMER en ELZE, 1941, 1952, deden soortgelijke waarnemingen bij citrusfruit. Zij bevalen een volgende irrigatie aan, wanneer de vruchtgroei tot $\frac{3}{4}$ of $\frac{1}{2}$ van de normale terugliep.
BIERHUIZEN, 1958, vond ook bij enige gewassen dat de transpiratie afnam bij uitdroging van grond. Bij lagere temperaturen en bij lage lichtintensiteiten speelt dit proces zich op een lager niveau af.

Vele meer directe aanwijzingen over de optimale vochttoestand van de grond zijn in de laatste jaren bekend geworden. Voor de fruitteelt is een van de belangwekkendste onderzoekingen de proef van KENWORTHY, 1949.
Appelboompjes werden als proefgewas geteeld in potten. De potgrond kon tot een, van te voren vastgesteld, percentage beschikbaar vocht uitdrogen en werd daarna weer op veldcapaciteit gebracht. Het bleek, dat de stam- en scheutgroei een maximum vertoonden dat lag bij een vochttoestand die varieerde van 100 tot 60% beschikbaar vocht. Een hogere en een lagere grens aan het beschikbaar vocht gaf een verminderde groei. De reactie van de wortelgroei was minder uitgesproken. Indien de grond evenwel tot lage percentages beschikbaar vocht uitdroogde, was ook het wortelgewicht van de boompjes duidelijk lager.

WADLEIGH en GAUCH, 1946, 1948, gingen de groei van het topblad van de katoenplant na. Het bleek, dat de lengte-toename weergegeven kan worden door een tweedegraads functie van de „total soil moisture stress", dat is de vochtspanning vermeerderd met de osmotische druk van de zouten in het bodemvocht.

Belangrijk voor de fruitteelt zijn ook de waarnemingen van ALDRICH en WORK, 1935 en ALDRICH c.s., 1940. Op zware grond, bij een hoge verdamping, bleek voor de groei van de perevruchten meer dan 50% beschikbaar vocht gunstiger te zijn, dan een lager percentage. WORK en LEWIS, 1936, zagen zelfs perebomen verwelken in een zware kleigrond, waarvan de wortelzone gemiddeld nog niet tot het verwelkingspunt was uitgedroogd. Waarschijnlijk zijn de trage vochtbeweging – capillaire geleidbaarheid, zie 2.1.2.1. – en de beperkte doorworteling van de grond de oorzaken van dit verschijnsel.

Bij vele andere gewassen is een geringere groei bij lagere gehalten aan beschikbaar vocht in de bodem waargenomen. Bij katoen, een plant die veel droogte verdraagt, konden ADAMS en BROWN in samenwerking met VEIHMEYER, 1942, aantonen dat meer dan 50% beschikbaar vocht een betere groei en produktie gaf. BUCKETT en DUNSHEE kwamen in 1932 reeds tot eenzelfde conclusie. Aan aardappelen is ook veel aandacht besteed; JACOB c.s., 1952 vonden een optimum vochttoestand van 270 à 550 cm waterkolom = 50 tot 60% beschikbaar vocht. BRADLEY en PRATT, 1954, vonden ook, dat > 50% beschikbaar vocht tot een hogere produktie leidde. FULTON en MURWIN, 1955, vonden zelfs dat 75% beschikbaar vocht een betere opbrengst gaf dan 50%.
Bij de zonnebloem werd door BLAIR c.s., 1950 een steeds tragere groei waargenomen, naarmate de grond droger werd. In zware grond verliep de groei bij het verwelkingspunt trager dan in lichte gronden.

Met haver is door VAN LIESHOUT, 1957, ook een vochttrappenproef uitgevoerd. In deze potproef werd een optimum in de loofontwikkeling gevonden bij 40% van de watercapaciteit (dit begrip is niet verder gedefinieerd). Bij een hoge stikstofbemesting viel dit optimum veel scherper op te merken. De spruit-wortelverhouding nam rechtlijnig toe met het verzadigingspercentage van de grond.
Bij luzerne en andere klavers werd door ASLUNG en KRISTENSEN, 1958, en GIST en MOTT, 1957, een gunstige invloed van een hoog percentage beschikbaar vocht vastgesteld. Door de laatstgenoemden werd ook aangetoond, dat de lichtsterkte en temperatuur de invloed van de vochttoestand van de bodem beïnvloeden. Bij een kleine en grote lichtintensiteit lag de spruit-wortelverhouding hoger.
Voor gras is door MAKKINK, 1951c, in een ruime proefserie, een optimum voor de groei vastgesteld, dat bij een hoog percentage beschikbaar vocht ligt, dus bij een lage vochtspanning. De optimale vochtspanning lag wat lager dan 150 cm water, circa bij 100 cm.
Voor groenten werd door FRÖHLICH, 1958, als optimum percentage beschikbaar vocht een bedrag van 60 tot 80% van de „Wasserkapazität" genoemd. Er blijkt een specifieke droogte-toleratie voor te komen in verschillende levensstadia bij verschillende groentesoorten. Voor tomaten is door HUDSON en SALTER, 1956 ook een optimum voor de produktie gevonden bij een lage vochtspanning; namelijk 7 cm kwikkolom of nauwelijks 100 cm water.
De wortelgroei onder invloed van de vochttoestand werd door LAND en CARREKER, 1953, speciaal bestudeerd. Bij verschillende gewassen werd een hoger wortelgewicht per plant opgemerkt, indien deze bij een hoog percentage beschikbaar vocht groeiden. GINRICH en RUSSELL, 1956, vonden dan ook voor de groei van maïswortelties een optimum bij een lage vochtspanning – lager dan 1/10 atm. –.

De generalisatie van de waarnemingen bij de groei van de appelvrucht op diep doorwortelbare lichte gronden onder niet al te extreme klimaatsomstandigheden, door HENDRICKSON en VEIHMEYER voor de plantengroei in het algemeen, heeft in de loop van de tijd door andere onderzoekingen aanzienlijke correcties ondergaan. Het blijkt, dat de beschikbaarheid van het bodemvocht voor de plant en daarmee ook de groei, in het algemeen gesproken, geringer wordt indien de grond uitdroogt. Het groeistadium van de plant, het bestudeerde deel van de plant, het weer en andere factoren bepalen of de reactie van het beschouwde proefobject nauwelijks of duidelijk waarneembaar zal zijn.

In het voorgaande is verschillende malen gememoreerd, dat er een optimum voor de vochttoestand werd gevonden. Dit betekent, dat de grond ook te nat kan zijn. De studie van de invloed van te lage vochtspanningen op de groei van fruit is door ons ondergebracht bij het onderzoek naar de invloed van hoge grondwaterstanden – zie 2.1.2.2. –.

Hoewel de vochttoestand bij de zeer lage vochtspanningen enerzijds en bij de optimale en te hoge vochtspanningen anderzijds, in verschillende maten werd uitgedrukt, sluit het onderzoek in beide gebieden op elkaar aan. In ons onderzoek is er een klein onbestreken vochtspanningstraject; de laagste gemiddelde vochtspanning in de (hierna behandelde) vochttrappenproeven bedroeg ca 100 cm waterkolom, de laagste grondwaterstand in de potproeven uit 2.1.2.2. was 50 cm onder maaiveld.

Het is meestal niet duidelijk welke meer directe oorzaken een slechtere groei van het gewas bij overmaat bodemvocht veroorzaken. Is er sprake van een tekort aan zuurstof, van een teveel aan koolzuur, of zijn er andere oorzaken? Deze problemen worden bij de behandeling van de invloed van hoge grondwaterstanden nog nader besproken.

Bij de tragere groei van planten in drogere grond is meestal het volgende verschijnsel

op te merken: de afname van de groei blijkt sterker te zijn dan de toename van de bindingsenergie van het vocht aan de bodem. Andere verschijnselen leiden tot een soortgelijke verklaring als voor deze waarnemingen. Zoals reeds genoemd, namen WORK en LEWIS, 1936, verwelkende perebomen waar in zware grond die nog niet op het verwelkingspunt was gekomen. BLAIR c.s., 1950, namen waar, dat in zware grond zonnebloemen langer doorgroeien dan in lichte grond, indien deze gronden reeds nabij of op het verwelkingspunt waren gekomen. Dit stemt overeen met onze reeds genoemde waarneming over de trage verwelking van zonnebloemen in zware gronden – zie 2.1.1.2., fig. 3 en 4 –. Ter completering van deze waarnemingen kan een proef van GINRICH en RUSSELL, 1957 genoemd worden. In deze proef werd de groei vergeleken van mais-zaailingen, in grond met verschillende vochttrappen en in een voedingsoplossing met verschillende hoge concentraties manitol. In beide cultuurmedia was de energie, die de plant moest aanwenden voor de onttrekking van vocht, trapsgewijs gelijk gehouden. Het bleek, dat de groei van de planten in de grond zoals gebruikelijk sterker afnam dan evenredig met de toename van de bindingsenergie van het bodemvocht. De groei van de planten in de voedingsoplossing nam recht evenredig af met de stijging van de osmotische druk, veroorzaakt door de toename in de concentratie van de manitol.

[16] *Bespreking van de conclusies uit het literatuuronderzoek.* Uit de voorgaande proeven en waarnemingen blijkt, dat niet alleen een toenemende bindingsenergie van het bodemvocht maar ook een toenemende vertraging in de toevoer van het bodemvocht naar de plantewortels als oorzaak van de vertraagde plantengroei in een droge grond genoemd moet worden. Zoals in 2.1.2.1. [25] wordt behandeld, is de vochtbeweging in zware grond bij het verwelkingspunt doorgaans nog iets sneller dan in lichte grond, zodat de waarneming van BLAIR c.s. hierin een gerede verklaring kan vinden.
In een discussie over de oorzaken van de soms onverwachts geringe reactie van de plantengroei op de vochttoestand van de grond, noemt HAGAN, 1955, voor deze waarnemingen als oorzaak de volgende (o.i. volledige) serie van omstandigheden:

1. Het proefgewas bezit een diepe beworteling. Hierdoor kan het bereiken van het verwelkingspunt in de dicht doorwortelde bovengrond de proefnemer hebben verleid te verklaren, dat de (gehele) wortelzone op verwelkingspunt was gekomen.
2. De proefplant bezit een xerofytische habitus.
3. Wanneer slechts met de opbrengst aan droge stof van een bepaald plantendeel wordt gerekend, blijkt de reactie op de vochttoestand vaak geringer dan wanneer het verse gewicht wordt beschouwd.
4. Indien de oogst bestaat uit een bepaald produkt, dat in de plant wordt gevormd (rubber, suiker), is de reactie ook dikwijls gering.
5. Een diepe grond met een goede structuur geeft minder reactie op droogte, waarschijnlijk omdat de vochttoevoer naar de wortel beter is.
6. De grond bevat een groot percentage beschikbaar vocht bij hogere vochtspanningen. Dit geldt voornamelijk voor zwaardere gronden met een goede structuur.
7. Hoge concentraties aan bodemzouten zijn aanwezig.

8. De grond bevat een goede vruchtbaarheidstoestand en een goede (diepe) verdeling van de voedingsstoffen over het profiel.
9. De grondwaterstand is hoog ten opzichte van de wortelzone.
10. Er wordt vóór een droge tijd geplant.
11. De voornaamste groeiperiode valt vóór een droge tijd.
12. De verdamping van bodem en gewas bereikt slechts een lage waarde.

Aansluitend aan hetgeen onder punt 6 is genoemd, vermeldden LEHANE en STAPLE, 1953, dan ook, dat zandgronden droogte-gevoeliger zijn, omdat zij teveel beschikbaar vocht bij de lage vochtspanningen en te weinig beschikbaar vocht bij de hoge vochtspanningen bevatten. In het begin van het seizoen vertoont een plant „luxe consumptie" aan vocht, waarna bij het stijgen van de vochtspanning opeens het beschikbaar vocht is verbruikt.

Eigen proeven. Voor de toetsing van de inzichten, die in andere landen zijn verkregen werden enkele potproeven genomen over de invloed van de vochttoestand van de bodem op het fruitgewas.

FIG. 13. Een van de gebruikte potten beplant met appelonderstammen.
In de grond 9 poreuze buizen. Eén daarvan is uit de grond getrokken om de onbeschilderde strook te tonen waardoor het water naar binnen kan dringen.

FIG. 13. *Pot used for experiments with rootstocks. In the soil 9 porous tubes. One tube has been pulled out to show the painted strips for regulation of water penetration.*

[17] De invloed van de vochttoestand van de grond op de scheutgroei. Ter wille van het gestelde doel – kennis van de invloed van een constant gehouden vochttoestand –, moest bij de proefopzet zoveel mogelijk vermeden worden, dat de vochttoestand van de grond aan grote schommelingen binnen korte termijn onderhevig zou zijn. Onder natuurlijke omstandigheden komen, behalve in de bovengrond, schommelingen in de vochttoestand, zoals deze in de grond bij potproeven voorkomen, namelijk veel minder vaak voor. De uitvoering van een vochttrappenproef zoals van KENWORTHY, 1949 en de andere vorengenoemde proefnemers op dit terrein werd dan

ook verworpen. De vochtspanning in de grond bij de laatstgenoemde proefopzet varieerde in de gehele potgrond van de waarde bij veldcapaciteit tot de aangegeven limiet.
In onze potproef is een uitvoering gekozen, die iets doet denken aan de methoden van vochttoevoer bij de „auto-irrigator pots", die door RICHARDS en LOOMIS, 1942, aan een grondige kritiek zijn onderworpen. De plant in de „auto-irrigator pot" krijgt zijn watertoevoer uit de poreuze holle potwand. Het water in deze wand bezit een constant gehouden, van te voren bepaalde onderdruk. De oorspronkelijke opzet van de gebruikers was, dat dezelfde onderdruk die het water in de potwand bezit, ook aan het bodemvocht als vochtspanning meegedeeld zou worden. Dit bleek niet te verwezenlijken en wel, omdat er tijdens de groei van het gewas in de pot een gradient in de vochtspanning ontstaat vanaf de potwand naar het inwendige (het centrum) van de potgrond; m.a.w. de vochtspanning vanaf de potwand loopt op naar het centrum van de pot, omdat bij het transport van het vocht naar het centrum een spanningsverval nodig is, wil er vocht naar de plaatsen van vochtonttrekking rondom de wortels binnenin de pot getransporteerd worden. Hoe groter de afstand van de wortel tot de wateraanvoer, hoe groter ook het verschil in vochtspanning zal kunnen zijn, vooral bij de hogere vochtspanningen. Bij de hogere vochtspanningen neemt de weerstand van de grond bij de vochtbeweging sterk toe (zie [25]).
Om de voorgaande reden zijn in de potgrond poreuze buizen geplaatst – fig. 13 – met een onderlinge afstand van 8 tot 12 cm. Via deze buizen werd het water voor de grond aangevoerd. Na het bereiken van de onderste grens aan de vochttoestand, dus van het laagste gewicht van de pot, werd een bepaalde hoeveelheid water toegevoerd, zodat de nagestreefde bovengrens aan de vochttoestand bereikt kon worden. Hierbij moest verondersteld worden, dat het vocht zich homogeen over de grond zou verdelen. Dit zal wegens hysteresis-effecten niet volledig en ten gevolge van de afnemende capillaire geleidbaarheid (zie [25]) bij lagere vochtgehalten zeker niet snél het geval zijn. Een laag grond, die grenst aan vrij water, zal zich geheel tot veldcapaciteit verzadigen en daarna pas in langzaam tempo water afgeven aan aangrenzende lagen op grotere afstand van het vrije water. Dit transport kan niet worden versneld. Wel is bij de proef de transportafstand – de afstand van de poreuze buizen naar de wortels en de grond er tussen – klein (kleiner dan ca 6 cm) gehouden. De poreuze buizen reikten vanaf het oppervlak van de 20 cm dikke potgrond tot 2 cm boven de potbodem. De bovengrond (5 cm dik) werd direct vanaf de oppervlakte van water voorzien, de rest via de poreuze buizen. Het water op de bodem van de buizen heeft langer tijd om in de grond te dringen. Daarom is op de buizen een verflaag aangebracht, waarin bepaalde stroken zijn uitgespaard. De breedte van deze stroken is zo gekozen, dat op elke diepte onder het oppervlak eenzelfde hoeveelheid water door de buiswand in de grond zal dringen. Dieper dan 5 cm is deze breedte omgekeerd evenredig met de afstand tot deze diepte. Door de gewichtstoename van de proefplanten moest ook enige malen per seizoen het laagste en het hoogste gewicht van de pot worden gecorrigeerd, aan de hand van vochtbepalingen in de potgrond. De vochtverdeling in de potgrond bleek niet onbevredigend. Het verschil in het vochtgehalte vlak bij de poreuze buizen en midden tussen de buizen lag meestal binnen enkele gewichtsprocenten, op een tijdstip midden tussen twee watertoedieningen – zie tabel 4 –.
Ook de temperatuursverschillen in de potten en tussen de potten zijn op enkele warme dagen bepaald. In het eerste jaar, waarin de witgeschilderde potten in de kas waren opgesteld, vertoonde op een zonnige dag de grondtemperatuur op 5 cm diepte bij de natste pot een waarde van 27° C, zowel aan de zonzijde als aan de schaduwkant. De matig-droge en de droogst gehouden potten bezaten een temperatuur op deze plaatsen van respectievelijk 27° en 30° C. In het tweede jaar, waarin de potten in de open lucht waren opgesteld, doch tegen de regen afgeschermd, bleken de temperatuursverschillen tussen de zon- en schaduwzijde hoogstens 1° C te zijn.

De benadering van het doel van de potproef, kennis van de invloed op de plant van een zo constant mogelijk gehouden en homogene vochttoestand in de potgrond, blijkt toch redelijk geslaagd – zie tabel 4 voor de vochtverdeling in de potten –.
Dit zal voor een groot deel te danken zijn aan de goede capillaire geleidbaarheid van de gebruikte gronden. Slechts een langzame daling van een redelijk hoge geleidbaarheid naar de hogere pF-waarden kan verwacht worden, zoals bij de lichte zavel, waarvan in 2.1.2.1. [25] tot [27] sprake is – zie fig. 41 –. Hierbij moet nog een punt van controle genoemd worden. De wortelverdeling over de pot-

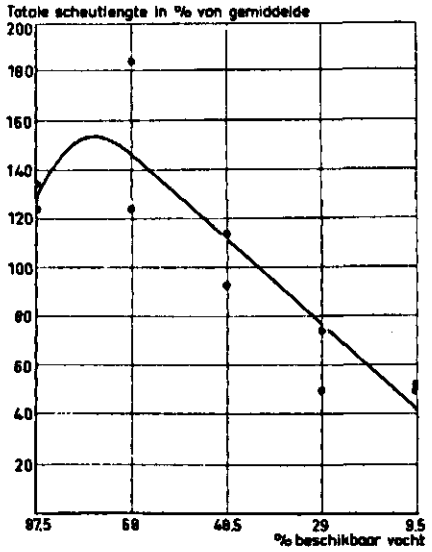


FIG. 14. De reactie van de appelonderstam type M XVI op de vochttoestand van de grond.

FIG. 14. *Shoot growth of the apple rootstock M XVI (ordinate) versus % of available moisture (abscissa).*

grond moet ook homogeen zijn. Indien de wortels zich zouden concentreren rondom de poreuze buizen, zou dit betekenen dat de planten leefden bij een veel lagere gemiddelde vochtspanning (hoger vochtgehalte) dan bedoeld was. Vlak bij de poreuze buiswand blijft de grond immers gemiddeld het vochtigst. Het bleek ons, dat de proefplanten, appel- en pere-onderstammen en ook veredelde appelbomen, geen wortelconcentraties te zien gaven rondom de poreuze buizen. Een potproef van dezelfde opzet met gras, moest evenwel, door de waargenomen wortelconcentratie rondom de watertoevoerbuizen, buiten beschouwing gelaten worden.
De proefplanten, eenjarige appel- en pere-onderstammen van nagenoeg dezelfde afmetingen – zie fig. 13 en 17 – werden in de winter in de potten geplant. Wanneer de groei begon werd het gewicht van de potten regelmatig gecontroleerd.

FIG. 17. De groei van de appelonderstam M XVI en de Kwee A in zavelgrond (no. 6 uit tabel 1) bij verschillende vochttrappen in de grond (vergelijk tabel 5)

FIG. 17. *Growth of the apple rootstock M XVI and quince A in silt loam (Nr 6 of table 1) with varying moisture contents (compare table 5)*

Bij twee grondsoorten, kalkrijke humusarme zavel en kalkarme humusarme lichte zavel werden 5 nauw begrensde vochttoestanden aangehouden, doorgaans met een speling van ca 3 gewichtsprocenten vocht, of wel 20% beschikbaar vocht. Met deze vochttrappen werd vrijwel het gehele traject van het beschikbare vocht bestreken – vergelijk tabel 5a –. Indien een bepaalde ondergrens aan de vochttoestand was bereikt, werd op de oppervlakte en door de poreuze buizen zoveel water aan de grond gegeven, dat een bepaalde bovengrens aan de vochttoestand bereikt kon worden.

De proefplanten reageerden zeer duidelijk op de vochttoestand van de grond. Hoe vochtiger de grond werd gehouden, hoe meer en hoe langere scheuten en hoe grotere wortelmassa er werden gevormd – fig. 14-17 en tabel 5a –. Het is echter duidelijk, dat er een belangrijke uitzondering op deze regel kan zijn. Wanneer de grond al te vochtig werd gehouden, bleef de scheutgroei soms kleiner.

Dit verschijnsel is in mindere mate bij de lichte zavel (grond no. 15 uit tabel 1) waargenomen dan bij de zavelgrond (grond no. 6). Deze groeivermindering was wel te verwachten, aangezien de planten in de natst gehouden potten, gevuld met grond no. 6, een duidelijk ijzer- en magnesiumgebrek vertoonden. In de lichte zavelgrond, die ook minder kalkrijk is en minder snel verslempt aan de oppervlakte, kwam de chlorose in de natste potten veel minder sterk naar voren. Het koolzuurgehalte van de bodemlucht in de natste potten was bij grond no. 6 het hoogste, – tabel 5c –. Uit 3.2.2.2. en 3.3.1.2. [88] zal nog blijken, dat deze omstandigheden aanleiding kunnen geven tot ijzergebrek.
Het poriënvolume van de grond in de proef uit 1952 bleek in de natst gehouden potten nogal teruggelopen te zijn ten opzichte van het poriënvolume in de drogere potten. Het poriënvolume in de potten met 90, 50, en 10% beschikbaar vocht was aan het eind van het seizoen respectievelijk 41, 44 en 47% en het gemiddelde percentage lucht respectievelijk 6, 34 en 41%.

Indien de groei (bepaald als de totale scheutlengte) van de proefplanten wordt uitgezet tegen het percentage beschikbaar vocht in de grond – fig. 14 – blijkt een rechte vereffeningslijn een ruwe benadering voor de plantereactie te kunnen zijn – zie tabel 6 –. Dit geldt echter voor percentages tot circa 70 à 90%, bij hogere waarden buigt de rechte lijn af, het optimale percentage beschikbaar vocht blijkt overschreden te zijn. Bij de appelonderstam M XVI bleek na een variantie-analyse[1] van de gegevens uit tabel 5a, dat er slechts een kans van 10% bestaat, dat de afbuiging van deze vereffeningslijn na het overschrijden van circa 70% beschikbaar vocht niet op zal treden. Een andere groeiwaarneming versterkt nog deze indruk over de ongunstige reactie op een te vochtige grond. De toename van de scheutlengte in de vochtigst gehouden potten was in de eerste helft van het groeiseizoen het grootst. Later werd deze juist kleiner dan bij de potten met de meer optimale vochttoestand – fig. 15 en 16 –. Dit duidt op een achteruitgang van de groei in de natste grond. Bij meer dan 70 tot 90% beschikbaar vocht, of een pF groter dan 1,9 - 2,1 al naar gelang de grond, wordt deze reactie op de te hoge bodemvochtigheid merkbaar.

De groeikromme daalt bij de laagste percentages vocht in verschillende gevallen minder sterk dan wellicht verwacht kan worden. De verklaring voor dit afwijkend verloop moet geweten worden aan de trage vochtbeweging in droge grond. Het vocht uit de poreuze potten in de droge grond verdeelde zich onvoldoende over de gehele potinhoud bij onze proef. Daardoor leefde een deel van de plantewortels, die dichtbij de poreuze buizen voorkwamen, bij een hoger percentage beschikbaar vocht, dan gemiddeld in de grond werd aangetroffen.

[1] Welwillend uitgevoerd door Dr Ir. *L. C. A. Corsten*, Centrum voor Landbouwwiskunde-Wageningen.

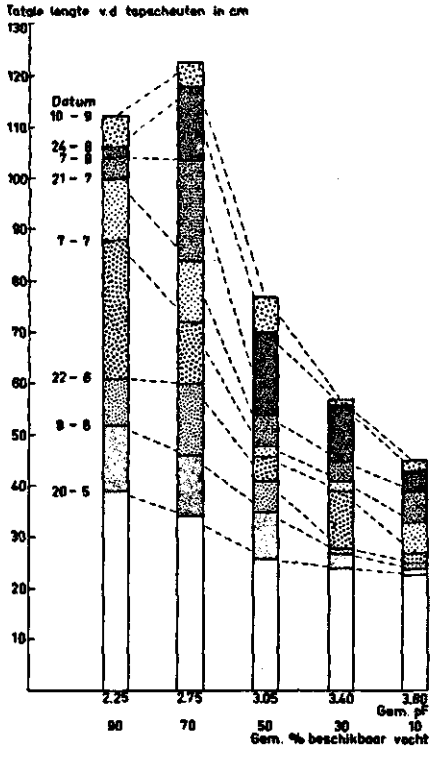


FIG. 15. Reactie van de scheutgroei van appel- en pere-onderstammen op de vochttoestand van de bodem. Zavelgrond no. 6 (zie tabel 1) 1953.

FIG. 15. *Growth of the top shoots of apple and pear rootstocks (ordinate) versus soil moisture status (abscissa) Silt loam Nr. 6 of table 1. 1953.*

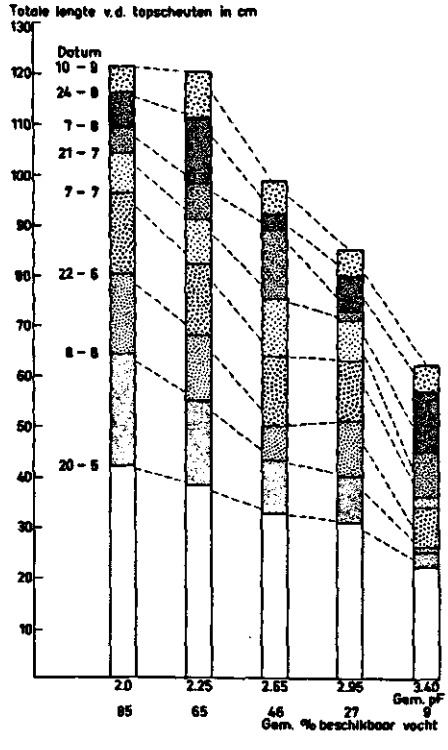


FIG. 16. Reactie van de scheutgroei van appel- en pere-onderstammen op de vochttoestand van de bodem. Lichte zavelgrond no. 15 (zie tabel 1) 1953.

FIG. 16. *Ibidem fig. 15. Sandy silt loam Nr. 15 of table 1.*

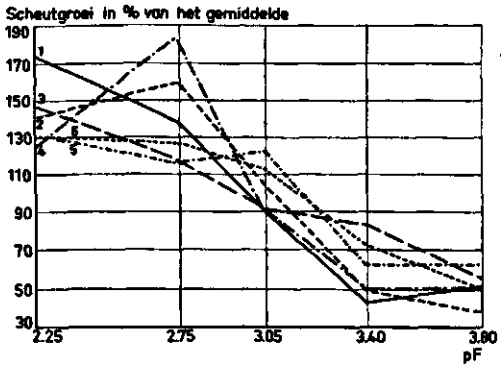


FIG. 18. De reactie van de scheutgroei van vruchtboomonderstammen op de vochttoestand van de bodem. N.B. Voor de betekenis van de nummers zie tabel 5a.

FIG. 18. *Shoot growth (in % of the average) of rootstocks (ordinate) versus pF (abscissa)* N.B. *For explanation of numbers near the lines, see table 5a.*

De groei van de wortel reageert eveneens op de vochttoestand, echter niet zo scherp als de scheutgroei. Een hoog percentage vocht schijnt de wortelgroei niet spoedig nadelig te beïnvloeden.
Hoewel de hoeveelheid beschikbaar vocht, als maat voor de vochttoestand misschien beter door een andere, b.v. door de pF, vervangen kan worden, is de reactie van de plantengroei op het percentage beschikbaar vocht toch nagegaan. In vele praktijkgevallen is sneller het percentage beschikbaar vocht te bepalen dan de pF. Bovendien is de vochtspanning minder exact te bepalen – zie 2.1.1.3. –.
Wanneer de relatie van de scheutgroei en de vochtspanning (als pF) wordt beschouwd, blijkt het dat – afgezien van de slechtere groei in de natste potten – deze groeicurve ook ruwweg als een rechte kan worden beschreven – tabel 7, fig. 18 –. Dit valt te verwachten, omdat een nagenoeg rechtlijnig verband van de pF met het percentage beschikbaar vocht bij de gebruikte gronden bestaat – zie de vochtkarakteristieken van de gronden no. 6 en 15 in fig. 7. –.
De groeireactie van de onderstammen in de grond, die droger is dan de optimale vochttoestand, kan globaal als volgt worden beschreven – zie tabel 7 –: groei (in %-en van het gemiddelde) = — 65 pF + 275. Hierbij is geval 4, lijn 4 uit fig. 18, waarbij o.i. een abnormaal goede groei bij de optimale pF optrad, buiten beschouwing gelaten.

De groeireactie van de onderstam M XVI op de vochttoestand in het droge traject van het beschikbare vocht was in 1952, toen de potten aan de zonzijde in een intensief geluchte kas waren opgesteld, sterker dan in de open lucht in 1953 – zie tabel 6 –. Dit komt overeen met waarnemingen te velde. Op hete dagen lijdt het gewas op een droge grond veel sterker, dan bij gematigde weersomstandigheden. Het is in overeenstemming met de proefresultaten van BIERHUIZEN, 1958, waarin een scherpere reactie van de transpiratie van de proefplanten bij een hogere lichtintensiteit werd waargenomen. Ook onze waarneming bij verwelkingsproeven met zonnebloemen is hiermee in overeenstemming. Onder weersomstandigheden met een sterke verdamping lag het verwelkingstraject bij een hoger vochtgehalte van de grond – zie 2.1.1.2. [8] fig. 3 en 4 – Bij een sterkere transpiratie zal de capillaire geleidbaarheid – zie 2.1.2.1. – van de grond reeds bij een hoger vochtgehalte onvoldoende zijn.

Op een soortgelijke wijze als de onderstammen op de vochttoestand reageerden, hebben ook geënte boompjes van het ras Cox O.P./M XI gereageerd – tabel 8 –. De groei van de bomen in de vochtigste grond was het sterkst. Aangezien de potproef met deze boompjes in enkelvoud met een boom per pot is genomen, kan deze proef slechts weinig steun verlenen aan de conclusies, die uit de potproeven met onderstammen zijn te trekken. Door de behandeling van de boompjes, die enkele jaren achtereen op dezelfde wijze werd voortgezet, bleek vooral de scheutgroei en ook de groei van de vruchten zo terug te lopen in de droog gehouden grond, dat aan de bomen gedurende een jaar een herstel werd toebedeeld. Daartoe werd het vochtgehalte in alle potten op een hoog peil gehouden. Daarna werd de behandeling weer voortgezet. Een jarenlang voortgezette droogte blijkt zeer nadelig voor de levensfuncties van de bomen. De scheutgroei liep niet alleen terug, maar ook de vruchtbaarheid – vergelijk tabel 8 –.

De 3-jarige bomen zijn met een zo groot mogelijke wortelkluit overgeplant in grote 40 cm diepe

FIG. 19. Veldproef met Lombartscalville, september, 1954. Bomen in natte grond. Tussen de bomen van de aangrenzende rij op de achtergrond de proefplek voor verdamping van zwartgehouden grond.
FIG. 19. *Part of field experiment with Lombartscalville M IX. Some trees in moist soil, september 1954.*
In the background under the boundary trees the small plot where the evaporation of bare soil was determined.

FIG. 20. Veldproef met Lombartscalville, september 1954. Bomen in droge grond.
FIG. 20. *Ibidem fig. 20; trees in dry soil.*

FIG. 21. Groei van vruchten met een verschillende grootte.
Cox O.P./M XI 1954, op grond no. 6 (zie tabel 1) met 25-22 % vocht.
N.B. De getallen bij de lijnen geven de aantallen vruchten aan.
FIG. 21. *Fruit growth during the season.*
Cox O.P. tree on M XI 1954 in moist soil.
N.B. Numbers near the lines give numbers of fruits used for calculation of the average.
FIG. 22. De betrekking tussen de groeisnelheid en de uiteindelijk bereikte vruchtinhoud bij Lombartscalville 1953.
N.B. De getallen bij de punten geven de opbrengst van de bomen in kg/m vr. dr. taklengte.
FIG. 22. *Increase in fruit volume (ordinate) versus fruit volume at the end of growth.*
N.B. Numbers near dots give the corresponding yield per tree in kg/m fruit bearing branch.

potten. De grond – vergelijkbaar met grond no. 6 uit tabel 1 – werd door watertoevoer via lange poreuze buizen zo uniform mogelijk op een bepaald vochtgehalte gehouden. Het verschil in de afmetingen van de boompjes bij het begin van de proef liet een vergelijking van de nieuw gevormde scheutlengte niet zonder meer toe. Daarom is de lengte van de nieuwe scheuten betrokken op de lengte van het oudere hout (behalve de stam) – tabel 8 –.

[18] De invloed van de vochttoestand van de grond op de vruchtgroei en andere meer direct bij de produktie betrokken organen van de boom. Het belang van een hoog vochtgehalte van de grond voor de groei van de vruchten van enkele appelrassen is in een potproef en twee kleine veldproeven nader bestudeerd.

De eerste veldproef werd genomen op een lichte zavelgrond, die een goede waterhuishouding bezit met het appelras Lombartscalville – fig. 19 en 20 –. Het kalkrijke bodemprofiel bezit een 40 cm dikke zavelige bovenlaag, die gevolgd wordt door een licht zavelige ondergrond, die op een diepte van 1,00 à 1,20 m in zand overgaat. De grondwaterspiegel beweegt zich in de periode van maart tot september van ruim 0,50 m tot bijna 1,50 m onder maaiveld. De beworteling bleek zich niet dieper dan tot 0,60 m uit te strekken. Wij meenden, dat door het afdekken van de bovengrond en tengevolge van de vochtopname door de boom de grond in 1952 voldoende zou uitdrogen, om de invloed van de vochttoestand van de bodem op de groei van de vruchten na te kunnen gaan. Door het uitsluiten van de evaporatie vanaf de grond en de aanvoer van vocht uit het grondwater naar de wortelzone, bleek de gewenste uitdroging niet bereikt te worden. Om de gewenste toestand toch te verkrijgen werd in de winter van 1952-1953 op een diepte van 0,60 m een „vloer" van aaneensluitende ijzeren platen aangebracht. Rondom iedere proefboom werd een blok grond van circa 1,00 × 1,00 × 0,60 m aan de zijwanden door asfaltpapier, aan de onderzijde door bovengenoemde ijzeren platen en aan de oppervlakte door een los stuk asfaltpapier, afgeschermd tegen vocht indringing of ongewenst vochtverlies. Door de ijzeren platen zal vrijwel alle capillaire opstijging uit

FIG. 23. Groei van vruchten met dezelfde grootte aan bomen met een verschillende opbrengst per m. taklengte. Lombartscalville M IX 1953.
FIG. 23. *Fruit growth on similarly treated trees bearing a different size of crop Lombartscalville M IX, 1953.*
FIG. 24. De invloed van de grootte van de opbrengst van een boom op de groeisnelheid van zijn vruchten. Lombartscalville. 1953.
- - - - - = vereffeningslijn (niet wiskundig bepaald). N.B. De cijfers bij de punten geven het gewicht van de vruchten bij de pluk.
FIG. 24. *Increase in fruit volume (ordinate) versus yield (abscissa) in kg/m fruit bearing branch. Lombartscalville 1953.*
The broken line (not statistically determined) gives the general trend. N.B. Numbers near the dots give fruit weights at harvest.

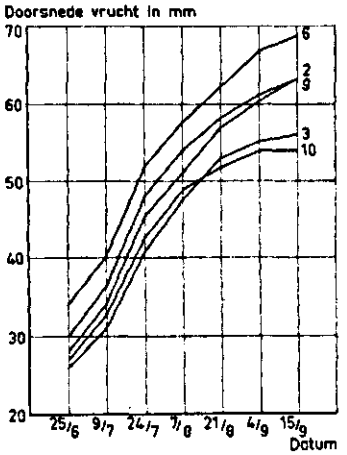


Fig. 21

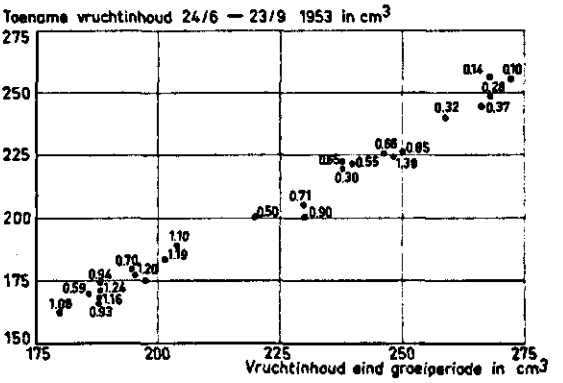
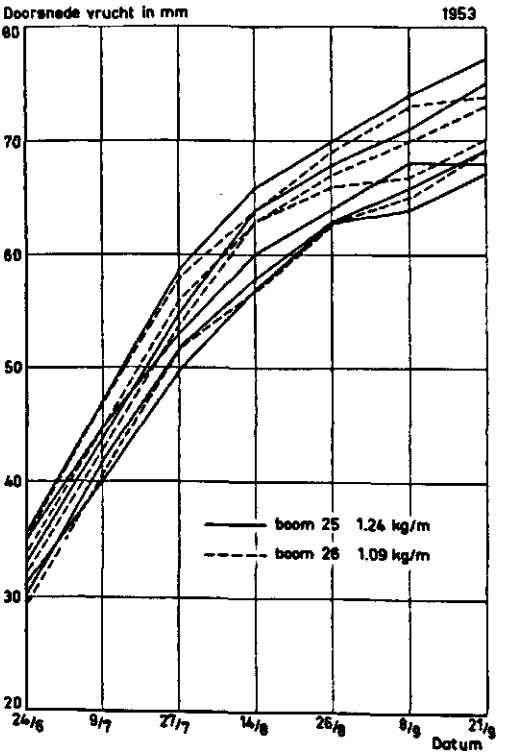


Fig. 22

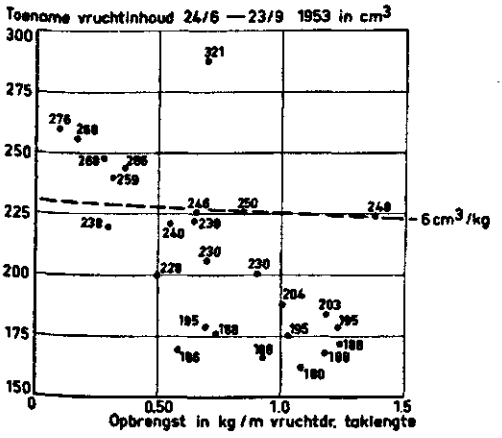
Fig. 23



Verklaring op pag. 44

Captions on page 44

Fig. 24



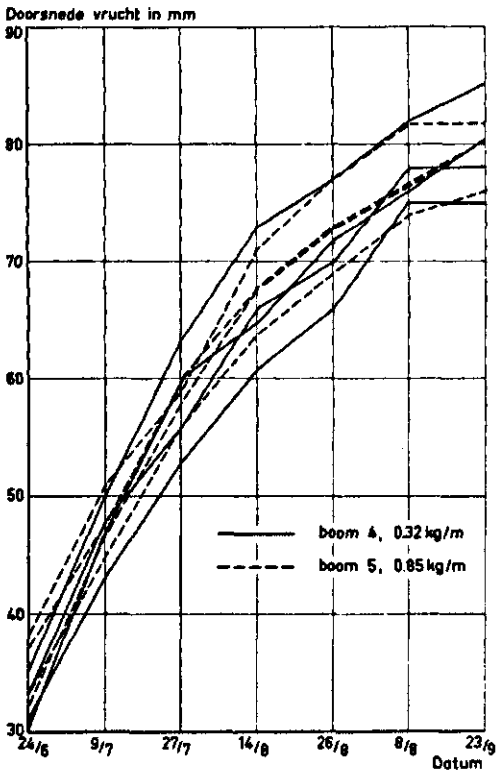


FIG. 25. Groei van vruchten met dezelfde grootte aan bomen met nagenoeg dezelfde produktie per m taklengte. Lombartscalville 1953.

FIG. 25. *Fruit growth on nearly comparable trees. Lombartscalville 1953.*

Gegevens behorende bij fig. 26

Boom no.	*Vochttoestand van de grond in gew. %*		*opbrengst kg/m vr. dr. taklengte*
a. ——— 14	apr. – mei	23-26	0,59
	juni – juli	20-15	
	aug. – sept.	15-13	
- - - - 32	apr. – mei	23-20	0,66
	juni – sept.	20-17	
b. ——— 17	apr. – mei	25-22	0,55
	juni – juli	21-15	
	aug. – sept.	22-19	
- - - - - 28	gehele seizoen	25-22	0,71
c. ——— 5	gehele seizoen	23-20	0,85
- - - - - 27	apr. – mei	22-19	0,91
	juni – juli	22-19	
	aug. – sept.	19-15	
d. ——— 20	apr. – mei	23–19	0,94
	juni – juli	21–15	
	aug. – sept.	22–19	
- - - - - 26	apr. – mei	22–19	1,09
	juni – juli	22–19	
	aug. – sept.	19–15	
e. ——— 11	apr. – mei	23-20	1,18
	v.a. 6 juli	16-13	
	aug. – sept.	16-13	
- - - - - 20	apr. – mei	23-19	0,94
	juni – juli	21-15	
	aug. – sept.	22-19	
f. ——— 25	apr. – mei	22-19	1,24
	juni – juli	22-19	
	aug. – sept.	19-15	
- - - - - 29	gehele seizoen	25-22	0,93

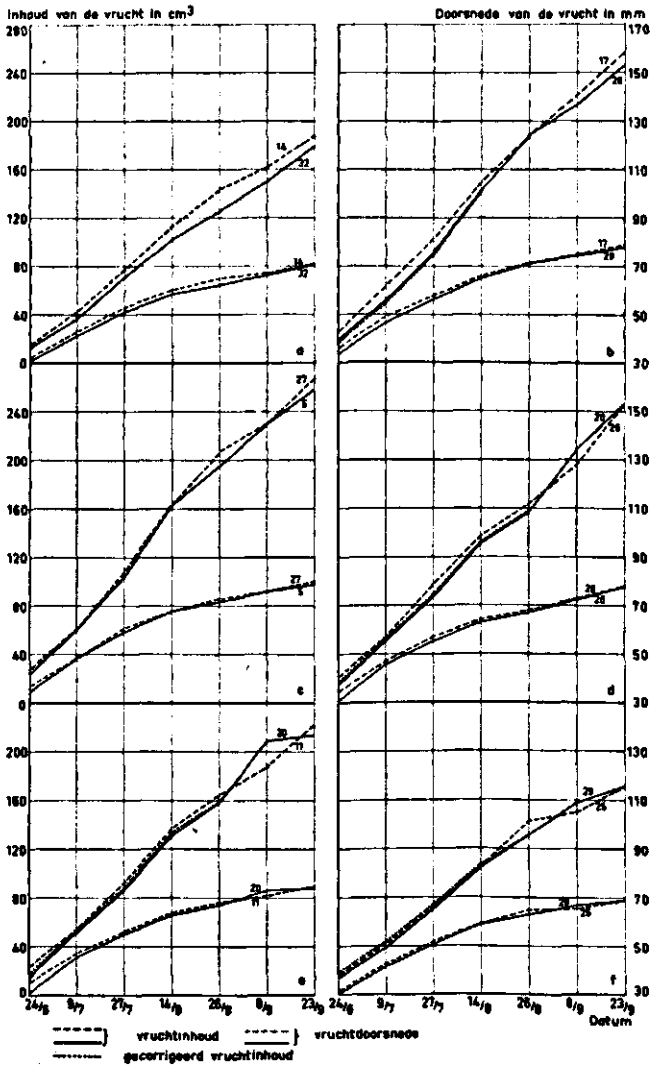


FIG. 26. De invloed van de vochttoestand van de bodem op de groei van appelvruchten. Gemiddelde doorsnede van 4 of meer nagenoeg even grote vruchten. Veldproef Lombartscalville M IX 1953.
Het bovenste lijnenpaar in iedere figuur geeft de vruchtinhoud aan, het onderste paar de vruchtdoorsnede.

FIG. 26. *Fruit growth (ordinate) as influenced by soil moisture status. At the left side fruit volume, at the right side fruit diameter. Upper pair of lines belongs to fruit volume, the lower pair to fruit diameter. In the table is given the tree number, soil moisture content in % by weight and the yield per tree in kg/m f.b.b. N.B. Dotted lines near full lines give corrected fruit growth (growth on the tree with a similar yield as the tree compared with) Lombartscalville M IX 1953.*

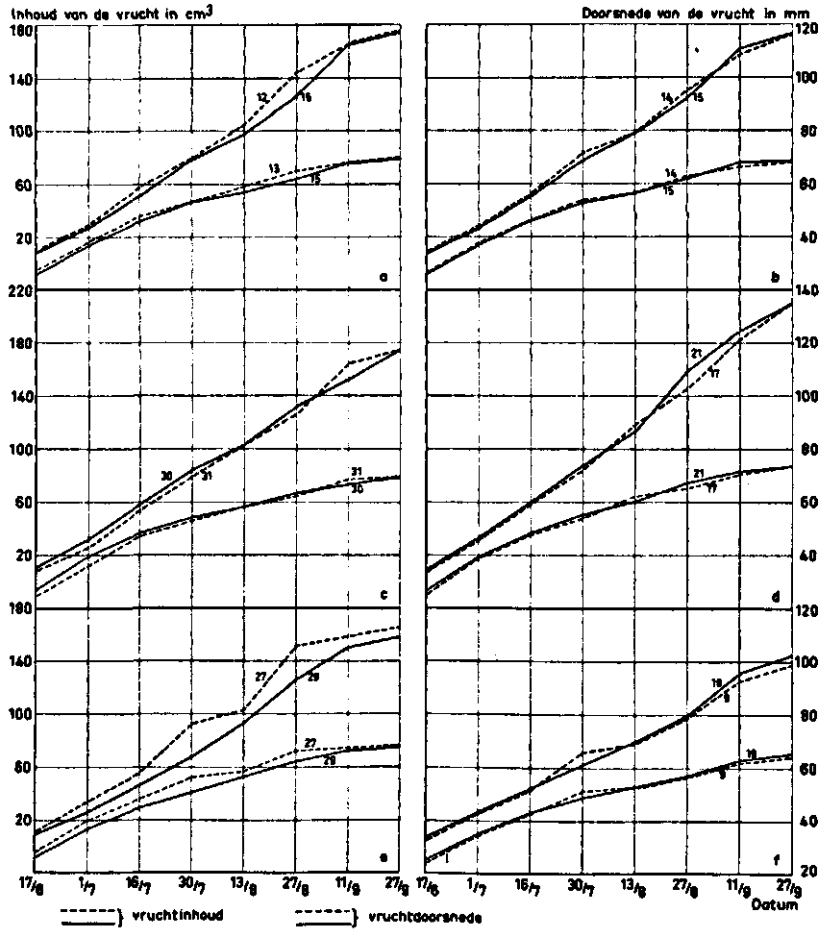


FIG. 27. De invloed van de vochttoestand van de bodem op de groei van appelvruchten. Gemiddelde doorsnede van 4 of meer nagenoeg even grote vruchten. Veldproef Lombartscalville M IX 1954.
Het bovenste lijnenpaar in iedere figuur geeft de vruchtinhoud aan, het onderste paar de vruchtdoorsnede.

FIG. 27. *Ibidem fig. 26.*
Lombartscalville M IX 1954.

Gegevens behorende bij fig. 27

Boom no.	*Vochttoestand van de grond in gew. %*		*Opbrengst kg/m vr. dr. taklengte*
a. ——— 12	gehele seizoen	13-9	0,83
- - - - - 15	gehele seizoen	25-19	0,61
b. ——— 14	apr. – mei	26-19	0,91
	juni – juli	19-17	
	aug. – sept.	15-9	
- - - - - 15	gehele seizoen	25-19	0,61
c. ——— 30	gehele seizoen	25-19	0,82
- - - - - 31	gehele seizoen	19-13	0,74
d. ——— 17	apr. – mei	25-19	1,00
	juni – juli	20-15	
	aug. – sept.	25-19	
- - - - - 21	apr. – mei	25-19	1,02
	juni – juli	20-19	
	aug. – sept.	25-19	
e. ——— 27	apr. – mei	25-19	1,07
	juni – juli	19-15	
	aug. – sept.	15-13	
- - - - - 29	gehele seizoen	25-19	1,10
f. ——— 9	gehele seizoen	20-14	1,08
- - - - - 19	apr. – mei	25-19	1,12
	juni – juli	20-15	
	aug. – sept.	25-19	

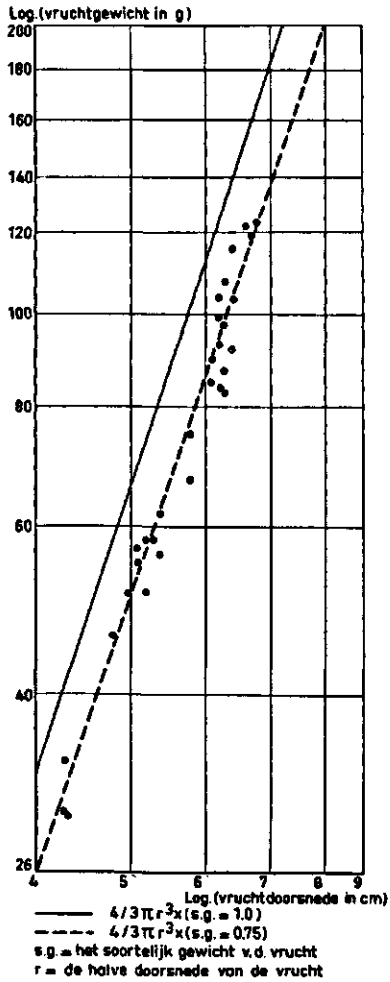


FIG. 28. Betrekking tussen het vruchtgewicht en de vruchtdoorsnede Lombartscalville 1954, op log-schaal

FIG. 28. *Log fruitweight (ordinate) versus log fruit diameter (abscissa). Lombartscalville 1954, on log-scale*

de ondergrond tegengegaan zijn. Het resultaat van de vochtbepalingen – tabel 9 – geeft aanleiding tot deze conclusie. Indien bij het bemonsteren van de grond bleek, dat de gestelde ondergrens aan het vochtgehalte was bereikt, werd door middel van een „Düngelanze" op een aantal punten een water-injectie in de grond toegepast, die voldoende was om de bovengrens aan de vochttoestand in de betreffende laag weer te bereiken.
De vochtverdeling in de grond bleek niet zo goed als in de potproeven, waarbij water via poreuze buizen werd toegediend – zie tabel 9 en vergelijk met tabel 4 –. Globaal gezien kon de vochttoestand, zij het binnen ruime grenzen, gehandhaafd worden op een gewenst niveau. Voor het bereiken van een bepaald peil moest evenwel steeds gewacht worden op een natuurlijke vermindering van het bodemvocht, door de transpiratie van de plant. Men zou de proefveldjes de gehele winter bedekt hebben kunnen houden, maar dit was, in verband met de toediening van meststoffen en de aantrekkingskracht van de bedekking voor muizen, ongewenst. Slechts bij enkele bomen is de grond in de winter van 1953-1954 droog gebleven, doordat de bodem bedekt bleef.

Een van de grootste bezwaren verbonden aan de proef, bleek het geringe aantal bomen per behandeling. Voor een goede vergelijking van de vruchtgroei bij verschillende behandelingen moet namelijk aan een aantal voorwaarden voldaan zijn, hetgeen bij een groter aantal proefbomen gemakkelijker bereikt kan worden.
Als voorwaarden moeten genoemd worden:
1. Een vergelijking van de vruchtgroei kan slechts uitgevoerd worden met vruchten die nagenoeg eenzelfde grootte bezitten aan het begin van het groeiseizoen – fig. 21 en 22 –. Grote vruchten bezitten een sneller groeitempo dan kleine.
2. Alleen vruchten aan bomen met een niet te sterk uiteenlopende produktie kunnen vergeleken worden. Vruchten aan bomen met een grote produktie hebben een iets trager groeitempo – zie b.v. fig. 23 en 24 –. De produktie per boom kan het beste uitgedrukt worden in kg fruit per m vruchtdragende taklengte. De vruchtdragende taklengte per boom is de som van de lengte van alle takken, behalve de langloten en dikste gesteltakken zonder kortloten – zie BUTIJN en VAN DER BOON, 1957 –. Indien de groei van vruchten met dezelfde afmetingen aan het begin van de groeiperiode en aan bomen met dezelfde opbrengst per m vruchtdragende taklengte wordt vergeleken, blijkt het groeiritme meestal gelijk te zijn – fig. 25 –.
Gelukkig was de relatie van de gemiddelde vruchtdoorsnede met de produktie per boom zo zwak, dat er nog een aantal bomen met een vergelijkbare opbrengst en vergelijkbare vruchten uitgezocht konden worden.

Indien er geen invloed van de vochttoestand zou bestaan zou bij eenzelfde vruchtgrootte aan het begin van het seizoen en bij een nagenoeg gelijke opbrengst de vruchtgroei aan alle bomen gelijk zijn.
In fig. 26 is nu een aantal paren groeicurven van vergelijkbare vruchten van Lombartscalville M IX bijeengebracht uit het jaar 1953. Deze vruchten groeiden aan bomen in een verschillend bevochtigde grond. Wanneer de opbrengsten van de proefbomen, behorende bij de groeikrommen, uiteenliepen is een gewijzigde kromme toegevoegd – gestippeld in fig. 26 –, zodat de helling van de beide lijnen overeenkomt met de groei van vruchten aan een boom met een opbrengst zoals die waaraan geen kromme toegevoegd is. De gewijzigde krommen zijn opgesteld aan de hand van de vereffeningslijn uit fig. 24.
Het blijkt, uit fig. 26, dat de groei van de vruchten, die groeiden op een droge grond, niet veel afwijkt van de groei op een goed vochtige grond. Bij vergelijking van de groeikrommen der vruchten, behorende bij de bomen 14/32, 20/26, 11/20, 25/29 is er, gezien de omstandigheden, sprake van een kleine positieve invloed van een hoog vochtgehalte van de grond op de vruchtgroei. Bij de groeikrommen van de vruchten van de bomen 5/27 en 17/28 is geen of slechts een zeer geringe invloed af te leiden.

In fig. 27 zijn een aantal groeicurven van de vruchten uit 1954 weergegeven. Een gecorrigeerde kromme voor de vruchtgroei, zoals voor 1953 is gegeven, kon wegens de geringe spreiding in de vruchtdracht, niet gegeven worden. Deze zou ook geen veranderingen in de conclusies teweegbrengen. In dit jaar blijkt de invloed van de bodemvochtigheid nog geringer te zijn; slechts bij de bomen 9/19 en 27/29 is er een kleine positieve invloed, bij de bomen 31/30 en 17/21 is er een geringe negatieve invloed en bij de overige is geen invloed aantoonbaar van de vochttoestand van de bodem op de groei van de vruchten.
Dit verschil in reactie is niet onverklaarbaar. De luchttemperatuur en de verdamping waren hoger en de luchtvochtigheid was aanmerkelijk lager in 1953 dan in 1954 – tabel 10 –.
Een klein verschil, ook van slechts enkele mm in de vruchtdoorsnee, kan toch nog een opbrengstverhoging van een kleine 10% betekenen – zie fig. 28 –, bij de voorkomende vruchtdoorsneden van de Lombartscalville. Groter zijn de verschillen in de kg-opbrengst (per m vruchtdragende taklengte), door het verschil in vruchtgroei onder invloed van verschillen in de bodemvochtigheid, zeker niet geweest. De invloed van een droge grond in de maanden april, mei, juni en juli is vrijwel niet aantoonbaar, wel laten de fig. 26 en 27 enige invloed zien in de maanden augustus en september. Bij de scheutgroei treedt juist het omgekeerde op – zie de volgende paragraaf –.

In de reeds genoemde potproef met de appel Cox O.P./M XI is ook de groei van de vruchten vergeleken bij verschillen in de bodemvochttoestand – tabel 8 –. Enkele groeicurven van vruchten van vergelijkbare bomen geeft fig. 29. Wanneer de omstandigheden in aanmerking worden genomen (opbrengst per m vruchtdragende taklengte), blijkt het dat de vruchten in de droge grond niet de afmetingen hebben verkregen, die zij hadden kunnen verkrijgen in een voldoende vochtige grond. De groei van de vruchten aan de minder produktieve bomen D en E kon veel sterker zijn dan ze is geweest. Het verschil in produktie zal daardoor ca 10% geweest zijn – zie fig. 28 en 29 –. De geringe reactie van de vruchtgroei op de vochttoestand van de grond is ook bij latere beregeningsproeven, onder meer in de droge zomer van 1959 waargenomen.

Het bleek dus steeds, dat de groeicurve van de vruchten door de droogte van de grond slechts kleine afwijkingen van zijn normale verloop vertoont. Indien de boom echter tekenen van verwelking gaat vertonen, vlakt de groei aanmerkelijk af, of komt tijdelijk tot stilstand. Dit bleek bij een besproeiingsproef in de nabijheid van proefplek 10 – zie 2.2.1. [41] – [1].
Op het tijdstip, dat de bladeren van de Cox O.P./M II gingen verwelken, vlakte de groeicurve van de onberegende vruchten sterk af; deze liep pas weer steiler op, nadat de grond door een zware regenbui weer bevochtigd was – fig. 30 –. Ook op andere plaatsen zijn soortgelijke reacties bij appel en peer waargenomen. Of er in het eerste geval een inhaalreactie van de groei bij de onberegende vruchten plaats vond tijdens de hernieuwde groei, viel door de storende invloed van het verschil in opbrengst van de

[1] Zie BUTIJN en VAN 'T LEVEN, 1956, voor een nadere beschrijving van de proef.

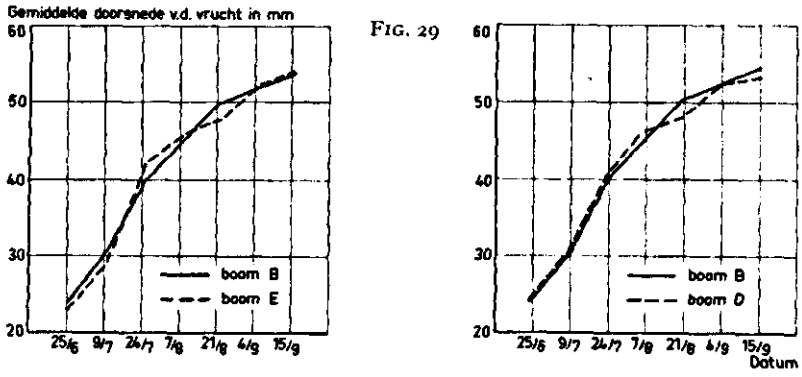


FIG. 29

FIG. 29. Gemiddelde doorsnede van 4 of meer nagenoeg even grote vruchten in het groeiseizoen onder invloed van verschillende vochttoestanden van de bodem.
Potproef Cox O.P. M XI 1954.
Boom B ———, Opbrengst in kg/m taklengte 0,373. Vochttoestand in gew-% 19-22.
Boom E - - - - -, Opbrengst in kg/m taklengte 0,229. Vochttoestand in gew. % 10-13.
Boom D - - - - -, Opbrengst in kg/m takl. 0,244. Vochttoestand in gew. % 13-16.
FIG. 29. *Fruit growth on differently treated trees.*
In the table, yield in kg/m f.b.b., soil moisture contents in % by weight.
Pot experiment Cox O.P. M XI 1954.

FIG. 30

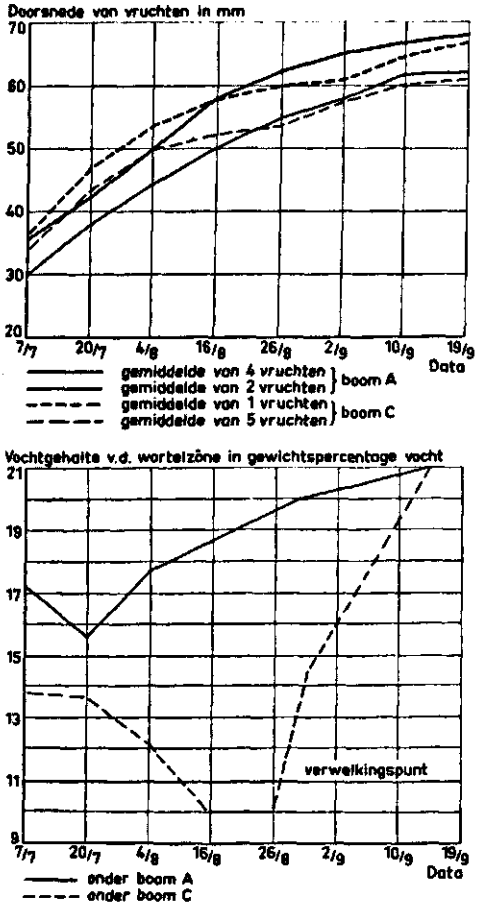


FIG. 30. Groei van beregende en onberegende vruchten.
Proef bij proefplek 10, 1955.
Opbrengst Boom A: 0,80 kg/m. Opbrengst Boom C: 0,58 kg/m.
FIG. 30. *Top figure: Fruit growth (ordinate) on wilted (broken line) and unwilted (full line) trees. Cox O.P. near plot Nr 10 in an irrigation experiment.*
Bottom figure: corresponding soil moisture content of the rooting zone (ordinate) on corresponding dates (abscissa). Willing point at 12 % of soil moisture.

proefbomen helaas niet na te gaan. In andere proeven is deze inhaalreactie niet waargenomen. Een groot verschil in opbrengst tussen beregende en onberegende bomen was het gevolg van deze groeistagnatie.
Het was opmerkelijk, dat deze groeistagnatie bij de vruchten en de verwelkingssymptomen van het blad – fig. 11 – bij het ras Cox O.P./M II duidelijker en vroeger optraden dan bij het ras Jonathan op zaailing. Hier valt te denken aan een raseigenschap, maar ook aan de ijlere beworteling van de boom op de M II-onderstam ten opzichte van de zaailing onderstam – jaarverslag Proefstation Fruitteelt in de Volle Grond 1956, pag. 31 tot 33 –.
Of de verwelkingssymptomen in dit geval tegelijk optraden met het bereiken van het verwelkingspunt in de grond, valt niet precies na te gaan. Uit andere waarnemingen bleek, dat het voldoende is als het vochtgehalte van de bovenste dichtst doorwortelde helft van de wortelzone het verwelkingspunt nadert, om verwelkingssymptomen van de boom te veroorzaken.

Naast de groei van de vruchten is in deze proeven ook de zetting van de vruchten nagegaan en de aanleg van gemengde knoppen. Tabel 8 laat zien, dat er geen grote invloed van de vochttoestand op de zetting en de vorming van de gemengde knoppen uitging. Alleen indien een boom door een jarenlang voortgezette nadelige behandeling verzwakt is, zoals bij de potproef met Cox O.P./M XI, gaat de algemene toestand in de bomen zichtbaar achteruit, hetgeen vooral tot uitdrukking komt in de gemiddelde grootte van de vruchten – zie kolom 20 van tabel 8 en vergelijk de opbrengst in de jaren 1954 en 1956 bij de potproef met Cox O.P. –.
Wanneer een boom nu op zijn produktie beoordeeld moet worden, zullen de voorgenoemde groeireacties alle tegelijk bij deze waardering betrokken moeten worden. Het volgt uit de proefgegevens dat de vochttoestand door zijn invloed op de scheutgroei de grootste stimulans aan de produktie kan geven. Daarnaast wordt de oogst ook vergroot, doordat op vochtige grond een sterkere gemengde knop wordt gevormd en de vruchtzetting verbeterd. Het laatste is niet zo zeer uit de reeds genoemde proeven gebleken, maar uit later genomen bodembehandelingsproeven – zie b.v. tabel 18a–.
De geringe reactie van de vruchtgroei op de vochttoestand van de bodem is opmerkelijk. Een verklaring voor deze geringe reactie zou kunnen liggen in een directe opname van vocht uit de atmosfeer door blad en vrucht. Vooral in de nazomer zijn dauwnachten niet zeldzaam – zie tabel 11 –. De regenval is groter en de verdamping kleiner, zodat de plant eventueel langer tijd krijgt de neerslag of de dauw via het blad of vruchtoppervlak op te nemen.

In deze kwestie is de controverse tussen enerzijds BREAZEALE c.s., 1951, 1953, waar zich ook ROBERTS, 1955, bij aansluit en anderzijds WIERSMA en VEIHMEYER, 1954 en JANES, 1954, van belang. Eerstgenoemden meenden te kunnen aantonen, dat planten uit een vochtige atmosfeer of uit een nevel, vocht kunnen absorberen en het naar de wortel kunnen toevoeren. Zij kunnen, mits de bovengrondse groene delen in vochtige lucht staan, ook in een droge grond nog enige groei vertonen. De tweede groep van auteurs bestrijdt met verschillende argumenten de zienswijze, dat de plant het vocht van uit de lucht naar de wortel zou voeren en aan de grond af zou geven. Een opname van vocht door het blad wordt door hen niet ontkend. JANES haalt veel Angelsaksische literatuur aan over de waterabsorptie door het blad.
Eenzelfde proces beschrijven STONE c.s., 1950, 1956. Coulterpine-zaailingen (1950) leken na een

droge periode vocht uit een vochtige atmosfeer te onttrekken. Indien echter planten van Ponderosa pine in een vochtige atmosfeer werden gebracht en er traden geen temperatuursgradienten op tussen de atmosfeer en de grond, dan voerden de planten geen vocht naar de wortels.
HILTNER, 1931, wees op de betekenis van de dauw voor de plantengroei in Midden-Europa. Op een vlakke plaat kan in een zware dauwnacht tot 3 mm neerslag ontstaan. Gewassen kunnen door hun groot bladoppervlak wel tot zevenmaal zoveel dauw opvangen per oppervlakte eenheid als een vlakke plaat of onbegroeide grond. KESSLER, 1933, nam waar dat afgesneden blad, met de steel in de lucht op een wateroppervlak gelegd, een groot percentage van zijn gewicht aan water kan opnemen. STEUBING, 1949, nam met fluorescerende wateroplossingen waar, dat het water dat op het bladoppervlak wordt gebracht, tot in de houtvaten kan worden gevolgd. Het wordt in ieder geval actief door het blad opgenomen en nog door de bladsteel getransporteerd. WITTE, 1951, 1952, kon geen grote invloed op de plantengroei bemerken van een verhoogde luchtvochtigheid door een zeer lichte besproeiing op warme dagen. Een verhoogde bodemvochtigheid werkte veel beter.

In de jaren 1952 en 1953 zijn door ons in de maanden augustus en september enkele bomen van het appelras Golden Delicious/M IX afgedekt met transparant plastic zeil. In het tweede jaar alleen gedurende de nacht en zoveel mogelijk gedurende de regen. De grond was gedurende deze proef redelijk goed van vocht voorzien. Een nadelige invloed van het uitsluiten van de neerslag op de vruchtgroei kon niet worden vastgesteld. In een potproef met de appel Cox O.P./M IX in de zomermaanden van 1953, werden de boompjes 's nachts met plastic zeil ingehuld en al of niet vóór het inhullen met een fijne nevel bevochtigd. Er werd zoveel vocht op het blad en de vruchten verspoten, dat er nauwelijks vocht afdroop. De grond was gedurende deze proef sterk uitgedroogd en verkeerde niet ver van het verwelkingspunt. Toch kon ook in deze potproef geen positieve invloed van de bevochtiging van blad en vruchten op de vruchtgroei vastgesteld worden.

Het blijkt, dat de appel- en perevrucht dus opmerkelijk weinig reageert op de vochttoestand van de grond, in tegenstelling tot de scheutgroei. Indirecte vochtopname uit de atmosfeer gedurende de zomer en het najaar is klein en kan de reactie van de vruchten niet verklaren. De geringe potentiële verdamping tijdens de rijping van het najaarsfruit kan deze reactie wel gedeeltelijk verklaren. Zomerfruit reageert echter op een soortgelijke wijze. Dit kan niet verklaard worden uit een sterke afname van de potentiële verdamping – vergelijk 2.3.1.1., – want deze treedt in de zomer niet op. De verdamping na de tijd van de scheutgroei neemt wel af, maar niet zoveel dat het verschil in reactie daardoor verklaard kan worden.

De invloed van een wisselende vochttoestand in de bodem

[19] *Gevoelige perioden in het plantenleven.* Door de Duitse school van BROUWER is gewezen op het bestaan van perioden in het plantenleven, waarin de plant bijzonder gevoelig is voor een droge grond.

BROUWER, 1950, onderscheidt bijvoorbeeld „Kritische Perioden" bij granen (tijdens het schieten) bij bieten (half juli tot september, na het op één zetten) bij aardappels (tijdens de bloei en de knolvorming) e.a.
Aanvankelijk sloot BAUMANN, 1951, 1954, zich bij BROUWER aan. De wenselijkheid van een droge jeugdperiode voor een plant wordt door BAUMANN vooral verdedigd. Door een droge periode in de jeugd krijgt de plant meer weerstand tegen droogte in latere levenstadia. In 1957 geven BAUMANN en KLATT op, dat een hoog vochtgehalte van de bodem in vrijwel iedere droge periode tijdens

het vegatieve bestaan van een plant gunstig is. Dit geldt vooral voor perioden waarin de temperatuur, dus ook de potentiële verdamping, flink stijgt. Van een erkenning van een gevoelige periode is bij hen dus niet veel overgebleven. WITTE, 1952, 1955, sluit zich in principe bij BROUWER aan, maar past zijn besproeiingen op velerlei groenten toch niet strikt volgens het door BROUWER ontworpen schema toe. Het weer en de luchtvochtigheid moeten volgens WITTE mede bepalen, of de bodemvochtigheid voldoende wordt geacht. Vooral de planttijd is een gevoelige periode. DREIBRODT, 1953, onderscheidde bij verschillende groentesoorten ruw omschreven gevoelige perioden. ROBINS en DOMINGO, 1956, gaven voor de bonenteelt (voor zaad) de bloei als gevoelige periode op. VAN DER PAAUW, 1949, vond evenals BROUWER, dat bij haver de periode van het schieten droogtegevoelig is. Het gewas heeft echter een aantal compensatiereacties, om de nadelen door vermindering in groei te compenseren bij de vorming van het zaad; door meer en zwaardere zaden per aar te vormen.

KRIEGBAUM, 1955, met granen, radijs en handelszaden, evenals HOWE en RHOADES, 1955, met mais, sluiten zich vrijwel bij de mening van BROUWER aan. BURNETT en FISHER, 1954, noemen ook bij katoen de planttijd een gevoelige periode.

WATERHOUSE en CLEMENTS, 1954, vonden, dat de gevoeligheid voor droogte van suikerriet in de tweede helft van de groeiperiode sterk afneemt. De vochtspanning in de bodem kan dan zonder nadelen oplopen tot boven 0,65 atm.

CZERATZKI en KORTE, 1955, zijn het niet eens met BROUWER. Zij wijzen er op, dat de „Kritische Perioden" veelal juist vallen in een tijd van het jaar, waarin de potentiële verdamping hoog is en het gewas in een stadium is gekomen, waarin het veel vocht aan de grond onttrekt. Waar BROUWER droogtegevoeligheid aan fysiologische oorzaken toeschreef, moet deze aan hydrologische invloeden worden toegeschreven.

Bij fruitgewassen is het verhelderend de reactie van het gewas in de eerste en in de tweede helft van het groeiseizoen apart te beschouwen. In de eerste helft valt bij de meeste fruitsoorten de bloei, de vruchtzetting, de scheutgroei voor het grootste deel en het begin van de aanleg der gemengde knoppen.

DEGMAN c.s., 1932, konden geen invloed van een droge grond bij de bloemknopaanleg ontdekken. ALDRICH c.s., 1940, bevalen een droge periode aan gedurende 75 tot 90 dagen na de bloei voor de bevordering van de bloemknopaanleg. MAGNESS, 1952, bevestigde deze zienswijze. Naast een droge periode van 70 tot 80 dagen na de bloei is volgens deze auteur een droge bloei voordelig. Het laatste heeft meer betrekking op de atmosfeer dan op de bodem. HERRMANN, 1951, een medewerker van WITTE, noemt de bloei ook als een gevoelige periode. Na de bloei onderscheidt hij geen perioden waarin droge grond voordelig kan zijn. PEICHL, 1952, uit de school van BROUWER, bepaalde correlaties van opbrengsten met het weer. Zijn resultaten kunnen dus betrekking hebben op de invloed van het weer, of op de invloed van de bodemvochtigheid op de fruitproduktie. De maand maart zou volgens PEICHL vochtig moeten zijn, de bloeitijd droog, evenals de periode van 10 tot 30 dagen na de bloei. In de periode van 40 tot 50 dagen na de bloei moet het weer (ook de bodem) liefst vochtig zijn. Eind juni, begin juli moet, voor het begin van de bloemknopaanleg en de remming van de juni-val, de bodem vochtig zijn. BORCHHARDT, 1956 ,beveelt een vochtige grond aan vlak na de bloei. Tijdens de aanleg van de gemengde knoppen is een droge grond gunstig. Volgens Westduitse fruittelers in het Rijngebied – STOLP en BUTIJN, 1954 – is water geven kort na de bloei, maar niet teveel, ook aanbevelingswaard.

Bovengenoemde zienswijzen stemmen grotendeels overeen met de gedachtengang, die in de moderne fruitteelt bij de adviezen over de bodembehandeling wordt gevolgd.

GARDNER c.s., 1952 bevelen een zwartgehouden of matig begroeide, eventueel beregende, grond aan in de voorzomer. AUBERT, 1949, beveelt het zwarthouden van de grond aan tot de scheutgroei is beëindigd. Een concurrentie van de ondergroei met de boom bij de opname van vocht en voedingselementen wordt aldus in de voorzomer zoveel mogelijk vermeden. Een verminderde scheutgroei en produktie kan anders het gevolg zijn. Door beide groepen van auteurs wordt evenals door vele anderen niet overdreven veel waarde gehecht aan de behoefte van een fruitgewas aan een droge toestand van de grond in de eerste helft van de zomer.

In een van onze potproeven is de invloed van de vochttoestand van de bodem in verschillende perioden van het groeiseizoen bij enkele appelonderstammen nagegaan. De proef werd op dezelfde wijze opgezet als de reeds behandelde vochttrappenproef – zie [17] met grond no. 6 uit tabel 1 –. De grenzen aan de vochttoestand werden op dezelfde wijze gehandhaafd.
Het bleek – zie de tabellen 12a, c, d – dat vooral de vochttoestand in de maanden juni en juli van beslissende betekenis was voor de scheutgroei van de plant. In de maanden april en mei werd nauwelijks invloed op de scheutgroei waargenomen. De invloed van de vochttoestand in de maanden augustus en september was duidelijk verschillend bij de twee gebruikte onderstam-typen. Het langst doorgroeiende – zie fig. 31 – type M XVI profiteerde nog duidelijk van een vochtige grond in de tweede

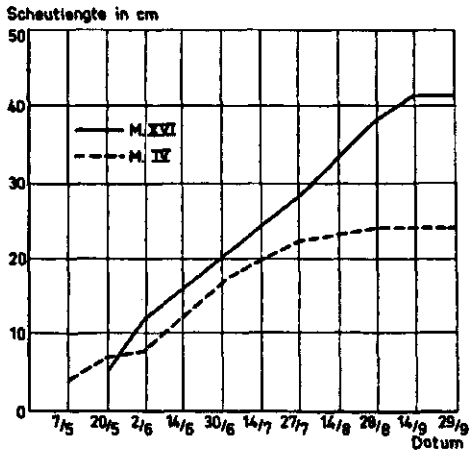


FIG. 31. Scheutlengte van de topscheuten van de appelonderstammen M XVI en M IV in zeer vochtige grond.

FIG. 31. *Longer persisting growth of top shoots of rootstock M XVI compared with M IV in moist soil*

helft van de zomer. Een variantie-analyse[1] geeft aan – tabel 12d –, dat het vochteffect in de maanden juni-juli zeer betrouwbaar is, in de maanden er voor niet of nauwelijks. Bij type M XVI is het vochteffect in de laatste periode nog wel significant. Voor zover betrouwbaar zijn de vochteffecten meestal lineair.

[1] Grotendeels uitgevoerd door *Ir. J. van der Boon*, tuinbouwkundige aan het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Groningen.
Criteria voor de F-waarden zijn ontleend aan: Biometrical tables for Statisticians pag. 164, tabel 19, door P.S. PEARSON en HARTLEY.
Na een uitvoerige variantie-analyse, waarbij bleek dat kwadratische effecten van de vochttoestand op de groei te verwaarlozen zijn, is alleen met de lineaire effecten rekening gehouden – tabel 12d –.

De wortelgroei werd gedurende de gehele groeiperiode door een hoge bodemvochtigheid gestimuleerd, ook in de eerste maanden – tabel 12e –. Meer dan ± 75 % beschikbaar vocht in de grond benadeelde de wortelgroei echter.
Een gedeelte van het aantal planten is na afloop van de proef in de volle grond uitgeplant. In het volgend seizoen bleek – zie tabel 12f – dat vooral een lange droge periode in het begin van het groeiseizoen funeste gevolgen heeft. Indien in de maanden april en mei een goed vochtige grond aanwezig is geweest, kan de groei in het volgend jaar goed genoemd worden. Wanneer de schade in een droog jaar niet al te groot is, kan deze blijkbaar in een volgend gunstig jaar voor een groot deel worden ingehaald.
Uit deze potproef mag afgeleid worden, dat een goede vochttoestand van de bodem gewenst is zo lang de scheut- of wortelgroei van de plant fysiologisch (d.w.z. volgend uit het groeiritme) mogelijk is. Veldwaarnemingen bevestigen deze conclusie.
In de laatste helft van het groeiseizoen valt bij vele fruitsoorten de zwelling en de rijping van de vruchten. Vooral in de laatste groeiperiode tegen de rijping blijkt een niet te laag vochtgehalte van de bodem bevorderlijk te zijn voor de groei van de vruchten.

ROGERS, 1938, verkreeg 11 % zwaardere aardbeivruchten, indien hij de vochtspanning tijdens het zwellen en rijpen van de vruchten op 400 cm waterkolom hield, in plaats van op meer dan 550 cm. Uit Duitse ervaringen vernamen STOLP en BUTIJN, 1954, dat vroeg besproeien van aardbeien zelfs nadelig is. Vooral het afkoelend effect van het water werd daarvoor verantwoordelijk gesteld. Een zelfde ervaring verkreeg BUTIJN, 1958a, met aardbeien in Nederland. Frambozen reageerden niet zo negatief op besproeiing vóór de rijping, maar bleken ook het meest gebaat met vochtige grond tijdens de rijping.
ALDRICH c.s., 1940, vermeldde een slechte nawerking van een late droogte in de zomer op de opbrengst van peer in het volgende seizoen. MAGNESS, 1952, kon deze ervaring in zijn algemeenheid echter niet onderschrijven. BROWN, 1953, nam bij abrikoos tijdens droogte in de nazomer een slechtere differentiatie van de gemengde knoppen waar en een slechtere ontwikkeling van de vruchten.
Verschillende auteurs zijn het eens over het belang van een goede vochttoestand gedurende circa 4 weken voor de pluk van de vruchten. Waarschijnlijk door het weersverloop in ons land – de maanden augustus en september vertonen doorgaans een neerslagoverschot en een lage verdamping – zie 2.3.1.4. – is deze ervaring in Nederland minder vaak opgedaan. Steun aan deze ervaringen geven de waarnemingen van HARLY en MASURE, 1938, over de dag-periodiciteit in de groei van de appelvrucht. Tijdens de perioden met de grootste transpiratie is de vruchtgroei het traagst. Hoge temperaturen (hoger dan 50° F) zijn nadelig.
MAGNESS, 1955, BORCHHARDT, 1956, HERRMANN, 1951, bevelen allen een hoog vochtgehalte van de grond aan in een periode van ettelijke weken voorafgaande aan de pluk.
Ervaring in West Duitsland – STOLP en BUTIJN, 1954, en aanwijzingen uit de reeds behandelde veldproef [18] – met Lombartscalville/M IX en de potproef met Cox O.P./M XI zijn in overeenstemming met het voorgaande.

De toestand bij de vruchtgroei is dus geheel verschillend van die bij de scheutgroei. De scheutgroei wordt vooral gestimuleerd door een hoog vochtgehalte van de grond in de voorzomer, terwijl de toestand in de nazomer van minder belang is. Bij de vruchtgroei is het omgekeerde het geval, maar minder uitgesproken.

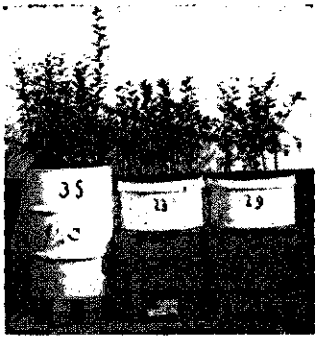
[20] *Wisselingen in de vochttoestand van de bodem binnen een droogtegevoelige periode in de scheutgroei.* Bij het middelen van de vochttoestand in de bodem is reeds vroeg de vraag gerezen naar de waarde van een gemiddelde vochttoestand.

TAYLOR, 1952, ontwierp een methode om de „mean integrated soil moisture stress" te bepalen. Bij deze rekenwijze wordt de vochtspanning zowel over de tijd als over de diepte van de wortelzone geïntegreerd en daarna gemiddeld. De plantengroei en produktie bleken goed gecorreleerd met deze gemiddelde vochtspanning. Enige schematisering bij deze berekeningen valt niet te omzeilen. Het vertikale verloop van de vochtspanning, zowel als het verloop van de vochtspanning met de tijd, zijn door TAYLOR (om snel te kunnen werken) in een formule uitgedrukt. Het hangt nu van de omstandigheden af, of deze formules in een hanteerbare vorm op te stellen zijn. Het lijkt ons voor de toestand in ons land niet doenlijk.
MILLER, 1954, toonde aan, dat een gemiddelde vochtspanning, bepaald op een vastgestelde diepte in de wortelzone, vlak voor een irrigatie, een even goede correlatie met de groei en de opbrengst van de proefplanten opleverde, als het moeizaam te berekenen gemiddelde van TAYLOR.
Uit het werk van BERNSTEIN en PEARSON, 1954, volgt, dat bovengenoemde gemiddelde vochttoestanden aan een scherpe kritiek onderworpen kunnen worden. Het bleek hen, dat de groei van tomaat en van peper duidelijk slechter was, naarmate de proefplanten in een proefperiode van dezelfde duur een groter aantal vochtspanningswisselingen van dezelfde grootte moesten doorstaan. Indien een groter aantal wisselingen van dezelfde grootte in de vochtspanning voorkomt binnen eenzelfde tijdsbestek, zal immers de gemiddelde vochtspanning over deze periode gelijk zijn. De plant reageert blijkbaar meer op de hoge, dan op de gemiddelde vochtspanningen. Vandaar ook dat MILLER een bevredigend gemiddelde voor de vochtspanningen verkreeg, indien deze op de droogste tijdstippen – vlak voor een irrigatie – werden bepaald.
Deze proefresultaten van BERNSTEIN en MILLER sluiten goed aan bij de waarnemingen die ILJIN verrichtte in 1957, onder zeer droge omstandigheden. Deze onderzoeker merkte op, dat planten, die gedurende een korte periode in het verwelkingsstadium hebben verkeerd, daarna enige tijd het vermogen tot assimilatie verliezen. Droogte blijkt dubbel nadelig voor de plant, omdat de asismilatie geremd en de ademhaling versterkt wordt.

Uit eigen potproeven kregen deze resultaten van BERNSTEIN, over schadelijkheid van vaak opgetreden wisselingen in de vochttoestand van de bodem, nog meer steun.

De bedoeling van deze potproeven was oorspronkelijk, na te gaan of er een invloed van de bewortelingsdiepte op de plant uitgaat. In land- en tuinbouwgewassen ziet men veelal meer gedrongen planten op profielen die geen diepe beworteling toestaan. Meestal kan deze gedrongen groei verklaard worden uit de gemiddeld slechtere vochttoestand van de grond. Het is evenwel denkbaar, dat, ook al houdt men de grond in een optimale vochtspanning, de groei van een plant verminderd zou kunnen worden door een te geringe worteldiepte.
Bij de potproeven werden appelonderstammen, vruchtboompjes en ook tarwe als proefplanten gebruikt. De grond in de potten werd op een vochtgehalte gehouden dat schommelde tussen veldcapaciteit en een vochtgehalte dat drie gewichtsprocenten lager lag. Door weging van de potten werd het bodemvochtgehalte voortdurend gecontroleerd.
Aldus werd een proef verkregen met planten in ondiepe potten met een frequente wisseling in de vochttoestand van de bodem en in diepere potten met een minder veelvuldige afwisseling in de vochttoestand. In alle potten was het gemiddelde vochtgehalte nagenoeg hetzelfde.

De groei van de gewassen bleek vrijwel steeds het beste te verlopen in de diepste potten, dus met het kleinste aantal wisselingen in de vochttoestand per groeiperiode – zie de tabellen 13, 14 en 15 en fig. 32, 33 en 34 –. Niet alleen de groei, maar ook de stikstofopname bleek slechter indien de vochttoestand (vooral in de bovengrond), frequent schommelde. Bij de fosfaatopname bleek een soortgelijke tendens merkbaar, maar zwakker dan bij stikstof. De slechtere stikstofvoeding in de ondiepe potten kon niet geheel gecompenseerd worden door een hoge dosis aan stikstofmeststof. Het is aannemelijk dat de opname van verscheidene elementen bemoeilijkt wordt door de wisselingen in de vochttoestand. Ook is het denkbaar, zoals BERNSTEIN meent, dat de



32

FIG. 32. De invloed van schommelingen in de vochttoestand van de bodem op de groei van de appelonderstam M XI.
Pot no. 29 draagt slechts 6 planten, de andere potten 18 stuks. De potdiepte is 20 of 60 cm.
FIG. 32. *Growth of apple rootstock M XI in relation to number of moisture content fluctuations in a soil which is kept at the same average (rather high) moisture content.*
In pots Nr 35 and 23 18 plants, in pot Nr 29 only 6 plants. Depth of pots 60 or 20 cm. Compare table 13.

FIG. 33. De invloed van de wisselingen in de vochttoestand van de grond op de groei van appelboompjes Cox O.P. Hoge doses stikstof - 1955 840 kg/ha
- 1956 175 kg/ha
sept. 1956

FIG. 33. *Growth of apple trees Cox O.P. in relation to number of fluctuations in a soil which is kept at the same average (rather high) moisture content*
Compare table 14.

33

FIG. 34. De invloed van de wisselingen in de vochttoestand van de grond op de groei van wintertarwe. Heine's VII juli 1954. Potten v.l.n.r. 60, 40 en 20 cm diep.

FIG. 34. *Ibidem fig. 33. Growth of winter wheat Heine's VII, 1954.*

FIG. 35. De invloed van de vochttoestand van de humeuze bovengrond op de groei van de appelonderstam M XI.

Vochttoestand van de bovengrond:

Pot. no.	*voor 11 juni*	*na 11 juni*	
25	droog	droog	Vergelijk tabel 16a
26	vochtig	vochtig	Opname begin
27	vochtig	droog	sept. 1956
28	droog	vochtig	

FIG. 35. *Growth of the apple rootstock M XI in relation to soil moisture content in the topsoil (subsoil kept moist)*
In the tables Nr: of pot, moisture status of soil before and after June; droog = dry, vochtig = moist.

34

35

plant zich instelt op de hoogste, vaak bereikte vochtspanning, in de grond. Proeven met winter- en zomertarwe – zie bijvoorbeeld fig. 34 – gaven een soortgelijk resultaat als met fruitgewassen, zo mogelijk nog met grotere contrasten.

Een van de bezwaren verbonden aan deze proefopzet kon niet geheel vermeden worden. Door het veelvuldig water geven aan de bovengrond werd deze bij de ondiepe potten het meest verslempt. Indien echter poreuze buizen in de ondiepe potten werden geplaatst, bleef de achterstand van het gewas in deze potten toch aanwezig.
De mogelijkheid is geopperd, dat andere factoren dan die met de waterhuishouding samenhangen, verantwoordelijk zouden zijn voor de groeiverschillen. Met name kan men denken aan de gevolgen voor de groei door de beperking van het wortelstelsel in de ondiepe potten. Uit waarnemingen over de groei van vruchtbomen op doorlopend zeer vochtige profielen is sterk de indruk verkregen, dat het groeiverschil in de potten met een verschillende diepte, geweten moet worden aan de wisselingen in de vochttoestand en niet aan andere gevolgen van beperkingen in de bewortelingsdiepte. Op constant vochtige gronden groeien volgens veldwaarnemingen (b.v. duinzandgronden met kwel) namelijk, ondanks de ondiepe beworteling, ook vruchtbomen met behoorlijke afmetingen.

[21] *Verschillen in de vochttoestand van de bodem in vertikale richting binnen de wortelzone.*
Bij de beoordeling van de vochttoestand in de wortelzone van een gewas verdienen twee belangrijke factoren de aandacht. Deze factoren zijn ten eerste de bewortelingsdichtheid van het gewas in de verschillende bodemlagen en ten tweede de verdeling van de plantenvoedingselementen over de wortelzone.
Het is waarschijnlijk mede aan deze wortelverdeling over het profiel te danken, dat SEKARA de „Nutzbare Wasserkapazität" op slechts 75 % van de „Statisch Nutzbare Wasserkapazität" stelde – zie 2.1.1.3. –.
De dichtste beworteling bij fruit – zie tabel 2 – bevindt zich doorgaans niet in de allerbovenste bodemlaag, maar in de tweede, derde of ook de vierde dm vanaf de oppervlakte. In een goed profiel bevindt zich ongeveer 50 % van de dunne wortels bij vruchtbomen ondieper dan 40 cm. In lagen dieper dan 0,80–1,00 m neemt de beworteling meestal af tot een onbetekenend percentage dunne wortels.
De grootste concentratie aan plantenvoedingselementen bevindt zich in de bovengrond. De diepte, waarover de rijkdom aan gemakkelijk opneembare elementen zich uitstrekt, kan nogal uiteenlopen. Voorbeelden van deze verdeling worden in hoofdstuk 3 gegeven. In een goede fruitteeltgrond is doorgaans de grootste rijkdom aan voedingselementen aanwezig in de eerste 2 dm vanaf de oppervlakte. Beneden een diepte van 4 dm is de hoeveelheid van de meeste voedingselementen niet meer van groot belang. Uit het voorgaande valt af te leiden, dat de vochttoestand van de bovenste lagen uit de wortelzone voor de plantengroei van de grootste betekenis zal zijn.
Waarnemingen van verschillende auteurs leidden tot eenzelfde conclusie.
ROGERS, 1935, nam verwelken van aardbeien waar bij een vochtspanning van de bovengrond (op 10 cm diepte), die gelijk stond met een pF van 2,8 (met de tensimeter bepaald; de vochtspanning in de omringende grond zal dus wel iets hoger geweest zijn – zie 2.2.1.3. –.). Van NIEKERK, 1943, zag verwelking bij de wijndruif toen de dichtdoorwortelde lagen op verwelkingspunt waren gekomen en nog 20 % van de wortels in diepere goed vochtige lagen voorkwamen. MAGNESS, 1952, 1955, deelt deze ervaringen. Zodra de dichtdoorwortelde bodemlagen het verwelkingspunt naderen, neemt de scheut- en vruchtgroei sterk af. De diepere wortels compenseren de beperkte vocht-

opname van de oppervlakkige onvoldoende. Soortgelijke waarnemingen werden door ons in de zomers van 1955 en 1956 gedaan. Hard fruit kan verwelkingssymptomen vertonen als nog slechts de helft van de fijne wortels in grondlagen verkeren die op verwelkingspunt zijn. Tegelijk met deze verwelkingssymptomen nam ook de vruchtgroei af. Pas na regen verdwenen de verwelkingssymptomen en hernam de vruchtgroei zijn normale verloop. Verschil in de fruitrassen en fruitsoorten valt bij deze reacties op te merken. Peer op kwee en appel op zwakke onderstam verwelken het snelst.

Een goede vochttoestand van de bovengrond voor de minerale plantenvoeding is door BROUWER, 1949, aanbevolen, al is dit niet zo met nadruk betrokken op de mineralenrijke bovenlagen. In het werk van SOKOLOV, 1956, hoofdstuk III valt ook herhaaldelijk de nadruk op een goede vochtigheid in de bodemlagen waar de meststoffen zich bevinden. VAN DER PAAUW, 1958, wijst op de invloed van het weer bij de kali-opname. Een droge grond (= bovengrond) is niet bevorderlijk voor de kali-opname. Op de invloed van de vochttoestand van de bodem bij de kationenopname, zal in 3.3. nog nader ingegaan worden.

De vochttoestand van de bovengrond heeft ook grote invloed op de nitraatopname. Uit de meststoffen en de gemineraliseerde organische stof komt het nitraat (en ook een weinig ammoniak) voornamelijk in de bouwvoor terecht, meestal niet veel dieper dan 0,40 m. In een serie potproeven is deze natuurlijke situatie nagebootst.

Een humusrijk (met ruim 5 % organische stof) kalkhoudend (3 % $CaCO_3$) zand werd als een 15 cm dikke „bouwvoor" gebracht op 30 cm van een kalkrijke (11 % $CaCO_3$) lichte zavel (12 % deeltjes kleiner dan 16 μ) met een zeer laag gehalte aan organische stof. Evenals bij de vochttrappenproeven werden poreuze buizen in de grond gebracht, ten einde de ondergrond van vocht te kunnen voorzien, zonder dat de bovengrond direct werd bevochtigd. De potten werden beplant met de appelonderstam M XI. Bemesting werd niet gegeven. Uit de grondanalyse – tabel 16a – bleek dat dit ook niet nodig was.

In deze potproeven werd de mineralen- (vooral nitraat-) rijke bovengrond gedurende een deel van het groeiseizoen wel of niet droog gehouden.

Uit het verloop van de scheutgroei en de bladanalyse-resultaten en uit het verloop van het nitraatgehalte in de grond, kon het effect van de vochttoestand in de bovengrond nagegaan worden. Indien in het begin van het groeiseizoen de bovengrond droog en de ondergrond behoorlijk vochtig werd gehouden, bleef de scheutgroei vooral aan het begin van het seizoen achter (bijna significant op het 10 %-niveau) – zie tabel 16b, fig. 35 –. Daar de bovengrond in 1956 vochtig in de pot werd gebracht, was het effect van de droge bovengrond nog niet zo opvallend als bij de voortzetting van de proef in 1957. De bovengrond kon toen gedurende de winter droog gehouden worden. Door een technische fout moest deze potproef echter ontijdig beëindigd worden in 1957.

Het nitraat uit de bovengrond werd veel slechter opgenomen indien deze droog gehouden werd – tabel 16a –. Wanneer na de beginperiode een vochtige bovengrond geen water meer toegevoerd kreeg, ging de verdere groei van de scheuten minder vlot en het bodemnitraat werd slecht opgenomen. Bij een aanvankelijk droog gehouden bovengrond viel na watertoevoer een inhaalreactie van de scheutgroei op te merken (ook in 1957). De nitraatopname verloopt dan opeens weer vlot.

Het stikstofgehalte van het blad – tabel 16c – bleek het hoogst te zijn bij planten die

voortdurend van een vochtig gehouden „bouwvoor" konden profiteren; het laagst, indien deze door droogte werd uitgeschakeld. Indien de bouwvoor wat later in het seizoen droog komt, geeft dit niet zoveel nadeel, dan wanneer deze in het begin, bij de grootste stikstofopname door het gewas, is uitgeschakeld.

Gegevens uit een aparte potproef met appelonderstammen in humusarme lichte zavel – no. 26 uit tabel 1 – gaven een soortgelijke indruk – tabel 17 –. Deze potproef is op dezelfde wijze uitgevoerd als de eerstgenoemde vochttrappenproef – [17] –. Aan het gietwater zijn verschillende hoeveelheden stikstof toegevoegd. Wanneer het vochtgehalte van de grond lager lag groeide de plant minder goed en liet op het eind van de periode met de scheutgroei meer nitraat in de grond (onopgenomen) achter. Op een laag stikstofniveau van de grond lag het stikstofgehalte van het blad enigszins hoger in de drogere grond. Bij een hoog stikstofgehalte in de grond neigde het stikstofgehalte van het blad er toe, om enigszins af te nemen naarmate de grond droger was. Het laatste stemt overeen met de resultaten van de eerst besproken potproef en ook met de hierna te bespreken veldproef. Daarin speelt de wisselwerking van stikstof en zich echter alleen af in de bovengrond, terwijl in deze potproef de gehele potgrodn bij deze interactie is betrokken.

Verschillende feiten uit bodembehandelingsproeven leidden tot dezelfde conclusies. Indien de stikstofrijke bovengrond teveel uitdroogt neemt de nitraatopname af, de scheutgroei wordt geringer en het stikstofgehalte van het blad (bij een gemiddeld voldoende vochtig profiel) neemt ook enigszins af.
Dit proces valt vooral in de voorzomer vaak waar te nemen – zie tabel 18a –.

2.1.2. DE GRONDWATERSTAND

[22] #### 2.1.2.1. *Normale en lage grondwaterstanden*

Levende wortels van fruitgewassen worden in het groeiseizoen zelden op een diepte aangetroffen, waar ook het grondwater gedurende een groot deel van het jaar aanwezig is. Hieruit blijkt, dat het grondwater geen directe bron van vocht voor de plant kan zijn. Indirect is het grondwater, vooral in ons land, vaak wel van groot belang voor de watervoorziening van het fruit.

De meerjarige fruitgewassen verkeren bij de vochtonttrekking uit het grondwater in een gunstiger positie dan eenjarige gewassen. Het blijvende wortelstelsel is veelal direct in het voorjaar dichtbij en zelfs over een beperkte diepte in het grondwater aanwezig. Akkerbouwgewassen en groenten moeten hun wortelstelsel gedeeltelijk nog tot ontwikkeling brengen in het voorjaar. Door lengte-groei van de wortels moeten zij in grondlagen zien door te dringen, die indirect nog veel vocht uit het grondwater kunnen leveren.
De aanwezigheid van wortels in een bepaalde bodemlaag is nog geen maat voor hun activiteit bij de wateropname. In welke mate de wortels o.a. door een toeneming in het aantal wortelharen, in bepaalde zones actiever worden gedurende de zomer, is echter niet bekend.

Verscheidene onderzoekingen over de invloed van de grondwaterstand op de opbrengst van akkerbouwgewassen en grasland, zijn in de loop van de tijd uitgevoerd. Van de betreffende publikaties zullen alleen enkele recente genoemd worden.
VAN DEN BERG c.s., 1952, die hun onderzoek op Walcheren uitvoerden, kwamen tot een optimale zomergrondwaterstand voor de gronden met een lichte (zandige of licht zavelige) ondergrond, van ca 1,20 m. Door de afdeling Onderzoek van de Cultuurtechnische Dienst zijn in de loop der jaren velerlei gegevens verzameld over de optimale grondwaterstand in verschillende gebieden – VISSER, 1952 –. Zwaardere gronden kunnen soms ook nog produktief zijn met een diepere grondwaterstand. VAN HOORN, 1958 behandelde de resultaten van een grondwaterstandsproefveld op zware Groninger klei. De opbrengsten waren bij de meeste gewassen het hoogst bij de diepste besproken grondwaterstand; namelijk 1,50 m. In droge jaren was een ondiepere grondwaterstand voor sommige gewassen beter. De plantenvoeding, vooral met stikstof, maar ook met kali en fosfor bleek veel beter te zijn in de dieper ontwaterde grond. De bodemstructuur bij de ondiepste ontwatering bleek sterk achteruit te gaan gedurende de proef. SIEBEN, 1950, onderzocht het producerend vermogen van zandgronden met een humusdek van wisselende dikte in het Veluwe-randgebied, onder invloed van de grondwaterstand. Met toenemende dikte van het humusdek werd een diepere grondwaterstand als de optimale gevonden. Een dunne humushoudende bovengrond beperkte ook hier een diepere beworteling – vergelijk GOEDEWAAGEN c.s., 1952, 1955 –, zodat een hogere optimale grondwaterstand werd gevonden. De optimale zomergrondwaterstand bleek in deze proeven 30 tot 40 cm onder de humushoudende bovenlagen te liggen.
Grasland vraagt, door zijn ondiepe beworteling, een aanmerkelijk hogere grondwaterstand dan bouwland. Het oriënterende onderzoek van FRANKENA en GOEDEWAAGEN, 1942, wees daar reeds op. Behalve voor zandgrond, bleek een grondwaterstand van 0,50 m voor de meeste gronden optimaal. Op zandgrond bleek, voor een optimale produktie van gras, een nog hogere grondwaterstand dan 0,50 m te verkiezen. Uit de recente tijd is het onderzoek van WIND, 1955 a en b, bekend geworden. Voor de zware komgronden in de rivierkleistreek is bij een gewenste vochttoestand in de wortelzone en een voldoende capillaire aanvoer van bodemvocht, een grondwaterstand van 30 à 40 cm onder de wortelzone het meest verkieslijk.
Voor dieper wortelende akkerbouwgewassen valt uit het voorgaande wel af te leiden, dat de levering van vocht uit het grondwater naar de wortelzone te langzaam verloopt in de lichte en middelzware gronden, wanneer de grondwaterstand meer dan 0,50 m onder de wortelzone daalt. Uit een kleine potproef met luzerne als proefgewas in een goed gemengde, kalkrijke, humusarme zavelgrond kregen we eenzelfde indruk – zie tabel 19 –. De planten, die gedurende 2 jaar bij een grondwaterstand van 1,50 m groeiden, leverden een 20 % grotere opbrengst dan de planten die bij een grondwaterstand van 1,90 m moesten groeien.

Proeven over de invloed van de grondwaterstand op de groei en de produktie van fruit zijn betrekkelijk schaars. Een proefveld op komgrond met verschillende, beheerste grondwaterstanden, „de Lucht" nabij Zaltbommel, is helaas nog zeer jong.

Het onderzoek aan proefplekken heeft voor fruitsoorten reeds een en ander opgeleverd. De grondwaterstand voor kersen in het rivierkleigebied – VISSER, 1946 – leverde geen optimale grondwaterstand in het onderzochte traject van grondwaterstanden. De diepste grondwaterstand, 1,20 m bleek de beste. Voor pruimen op rivierklei vond VISSER, 1947, een optimale grondwaterstand van 0,80 tot 0,90 m. De optimale grondwaterstand bleek naar een grotere diepte te verschuiven, naarmate de bomen ouder werden. De optimale grondwaterstand voor aardbeien op zandgronden bleek op 0,70–0,80 m te liggen, volgens het onderoek van GOEDEWAAGEN, 1952, en VISSER, 1948.
Hoewel alle bovengenoemde gegevens, vooral van de dieper wortelende akkerbouwgewassen, over de invloed van de grondwaterstand ook waardevolle aanwijzingen voor fruitgewassen verstrekken, blijft toch de moeilijkheid bestaan, dat de verkregen gegevens voor een beperkte streek geldig zijn, terwijl de beschouwde gronden vaak niet scherp omschreven zijn. Gesteund door vorengenoemde waarnemingen en gebaseerd op het verloop van het vochtgehalte in de grond boven de grondwaterspiegel en de wortelverdeling over het profiel, worden in de volgende paragrafen meer algemeen geldende normen ontwikkeld voor de optimale grondwaterstand in de fruitteelt.

[23] *Het verloop van het vochtgehalte in het bodemprofiel*

Uit het vertikale verloop van het vochtgehalte van de bodemlagen in het profiel kan vaak al een indruk opgedaan worden over de invloed van het grondwater op de vochttoestand in de wortelzone.
Voor enkele geschematiseerde gevallen is figuur 36 opgesteld, die de vochtverdeling in de zomer in een licht en in een zwaar profiel weergeeft. Het vochtgehalte van de (homogene) grond onder de grondwaterspiegel is nagenoeg constant; alleen bovenin het grondwater kan enige ingesloten lucht de plaats van water innemen. Vlak boven het grondwater bevindt zich een zone, die vrijwel even vochtig is als de grond in het grondwater. Deze „vol-capillaire zone" heeft een hoogte die afhangt van de grondsoort. Tot een hoogte waarop de zomervochtgehaltelijn niet meer parallel aan de wintervochtgehaltelijn loopt, hetgeen zich vooral verraadt door de sterke afbuiging naar lagere vochtgehalten, zouden wij van de „snel-capillaire zone" willen spreken. In deze zone is de vochttoevoer zo snel dat de grond niet uitdroogt beneden een gehalte dat in overeenstemming is met de stand van het grondwater (met het wintervochtgehalte[1]). Boven deze zone volgt de „traag-capillaire zone". Daarin is de vochttoevoer te langzaam om het vochtgehalte in evenwicht met de stand van het grondwater te houden. Vervolgens wordt de wortelzone aangetroffen waarin de vochtbeweging, vooral bovenin, zeer traag verloopt. Het vochtgehalte in de wortelzone staat, door het grillig verloop van het verschil tussen de regenval en verdamping, aan grote schommelingen bloot. Eenvoudigheidshalve is de vochtgehaltelijn in deze zone echter vloeiend getekend.

Verschillende onderzoekers hebben de hoogte van de capillaire zone (de zone boven

[1]) De „snel-capillaire zone" wordt alleen bepaald voor gevallen waarin geen kwel of inzijging optreedt. Ook indien het grondwater nagenoeg zonder invloed is op de vochttoestand van de wortelzone, zal de „snel-capillaire zone" van weinig belang zijn. In deze gevallen is hij niet bepaald.

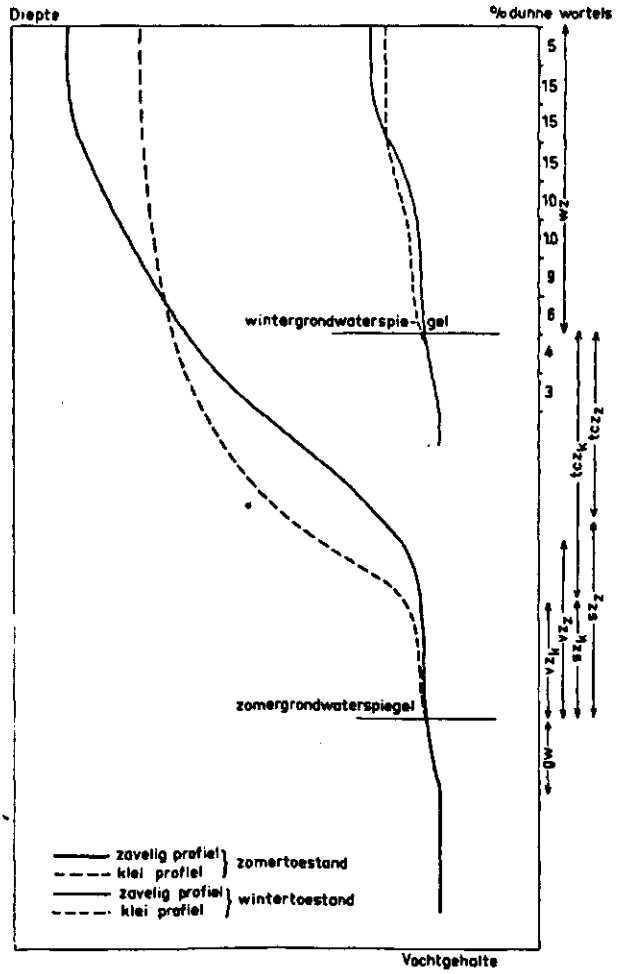


FIG. 36. Geschematiseerde vochtverdeling in een homogeen profiel.
T.C.Z. „traag capillaire zone"
S.Z. „snel capillaire zone"
V.Z. „vol capillaire zone"
G.W. grondwaterzone met ingesloten lucht.
W.Z. „wortelzone"

FIG. 36. *Schematic moisture distribution (abscissa) in homogeneous soil profiles consisting of clay (broken line) and sandy silt loam (full line).*
Pair of lines at the right: winter situation.
Pair of lines at the left: summer situation.
Horizontal lines are groundwater levels.
SZ = *rapid capillary zone.*
GW = *groundwater zone containing entrapped air.*
full line: silt loam
broken line: clay

het grondwater waarin het vochtgehalte weinig of niet terugloopt) gebruikt om het meest gewenste peil van de grondwaterstand aan te geven – KALISVAART, 1957, VELDMAN, 1950, e.a. –. De hoogte van de capillaire zone blijkt echter moeilijk exact op te geven, ook al omdat deze tijdens droog zomerweer lager is dan tijdens vochtig weer. Als eerste aanduiding voor de optimale grondwaterstand onder de wortelzone heeft de dikte van de capillaire zone echter grote verdiensten.

Uit de vochtgehaltelijnen op verschillende data in de zomer en in het voorjaar, bij verschillende proefplekken – zie 2.2.1. – hebben we getracht de hoogte van de „snelcapillaire zone" af te leiden. Een grote moeilijkheid bij deze werkwijze is de heterogeniteit van de bodemprofielen. Indien een zwaarder deel van het profiel rust op een lichtere ondergrond, valt de paralleliteit van de zomervochtgehaltelijn met de voorjaars- of wintervochtgehaltelijn moeilijk na te gaan. De opgegeven waarden moeten dus

met enige reserve beschouwd worden – zie tabel 20 en b.v. fig. 37, 38 en 39 –. De toestand in het najaar, waarin soms snelle stijgingen van het grondwater voorkomen, is niet als norm voor de beoordeling aanvaard. Gevallen waarbij kwel of inzijging een rol konden spelen zijn zoveel mogelijk uitgeschakeld; in proefplek 4 – fig. 37 – zal er gedurende de zomer enige inzijging optreden.
De snel-capillaire zone blijkt het hoogste te zijn in fijn zand (50 tot 60 cm), lager in lichte zavel (30 cm) en duinzand (nauwelijks 20 cm) en het laagst in kalkarme compacte lichte klei (ca 10 cm).
De hoogte van 30 à 40 cm in het plaatzand ligt 5 tot 10 cm lager dan de capillaire stijghoogte die VELDMAN aannam.
De betekenis van de snel-capillaire zone voor de plantengroei ligt in het feit, dat bovenin deze zone nog zoveel vocht wordt aangevoerd, dat de grond weinig uitdroogt. Indien de wortelzone en de snel-capillaire zone elkaar raken, zal de plant, door zijn diepste wortels althans, flinke hoeveelheden vocht aan het grondwater kunnen onttrekken. De situatie, waarbij wortelzone en snel-capillaire zone elkaar raken, wordt ook op de goede fruitteelt-profielen echter alleen in het voorjaar aangetroffen. Het dunkt ons overdreven te vergen, dat gedurende de gehele periode van de scheutgroei deze zones elkaar zouden moeten raken. Uit de volgende paragrafen zal dit ook blijken.

[24] *Het verloop van de vochtspanning in het bodemprofiel*

Evenals het vochtgehalte in de grond een indruk kan geven over de invloed van het grondwater op de vochttoestand van de bovenliggende grondlagen, kan ook de vochtspanning hierover aanwijzingen geven, echter met nog grotere nauwkeurigheid. Zoals in 2.1.1.3. is beschreven, neemt de vochtspanning in de grond evenredig toe, naarmate de afstand tot het grondwateroppervlak groter wordt. Dit geldt in het voorjaar, wanneer de grond op veldcapaciteit is, tot een afstand van 0,60–1,00 m tot het grondwater. In de zomer neemt de vochtspanning eveneens tot op zekere afstand van het grondwater nagenoeg evenredig toe met de afstand. Boven dit traject gaat de vochtspanning merkbaar sneller dan evenredig toenemen en bedraagt mitsdien meer dan de „evenwichtsvochtspanning". In de dicht doorwortelde delen van de wortelzone neemt de vochtspanning zelfs sterk toe, om in droge perioden dichter bij het maaiveld, b.v. het verwelkingspunt te bereiken – zie fig. 40 –. Op het punt a – in fig. 40 – waar de vochtspanningslijn merkbaar gaat afwijken van de „evenwichtsvochtspanningslijn" krijgt deze een belangrijk grotere vochtspanningsgradient. Deze grotere gradient ontstaat ten gevolge van de vochtonttrekking door de plantenwortels en de verdamping uit de bovengrond. Tot dichtbij dit punt (a) bleek er, gezien het geringe verschil in het verloop van de vochtspanningslijn en de „evenwichtsvochtspanningslijn", slechts een kleine potentiaalgradient nodig te zijn, om het capillaire vochttransport naar de wortelzone te verwezenlijken. Wanneer boven dit punt de vochtspanningsgradient sterker toeneemt, kan dit betekenen, dat de capillaire opstijging even groot is als naar diepere grondlagen, maar de afnemende capillaire geleidbaarheid (zie [25] bij hogere vochtgehalten heeft tot gevolg, dat deze toenemende gradient nodig is, om eenzelfde vochtopstijging te verwezenlijken. Omdat, vooral bij sterk dalende vochtgehalten, de capillaire geleidbaarheid sneller afneemt dan de potentiaalgradient

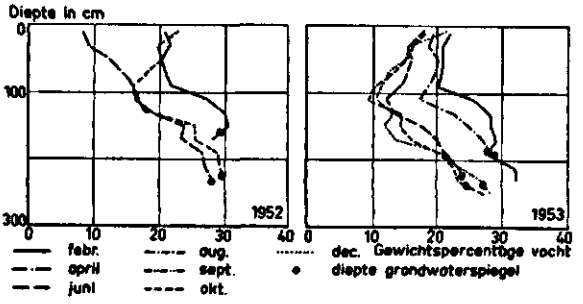


FIG. 37. Vochtverdeling over het profiel. Proefplek no. 4. 1953.

FIG. 37. *Moisture distribution (abscissa) in the soil profile (ordinate) in observation plot Nr 4.*

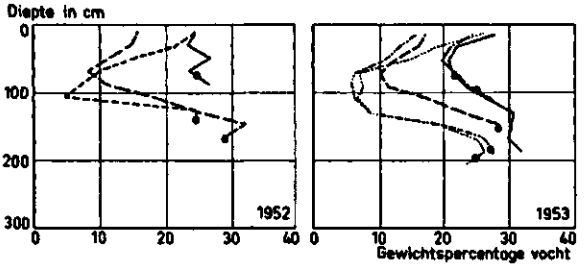


FIG. 38. Vochtverdeling over het profiel. Proefplek no. 19. 1953. Voor legenda zie fig. 37.

FIG. 38. *Ibidem fig. 37, plot Nr. 19.*

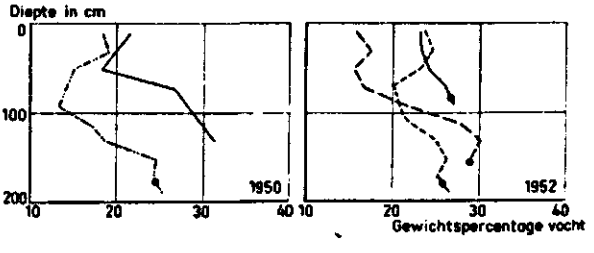


FIG. 39. Vochtverdeling over het profiel. Proefplek no. 24. 1952. Voor legenda zie fig. 37.

FIG. 39. *Ibidem fig. 37, plot Nr. 24.*

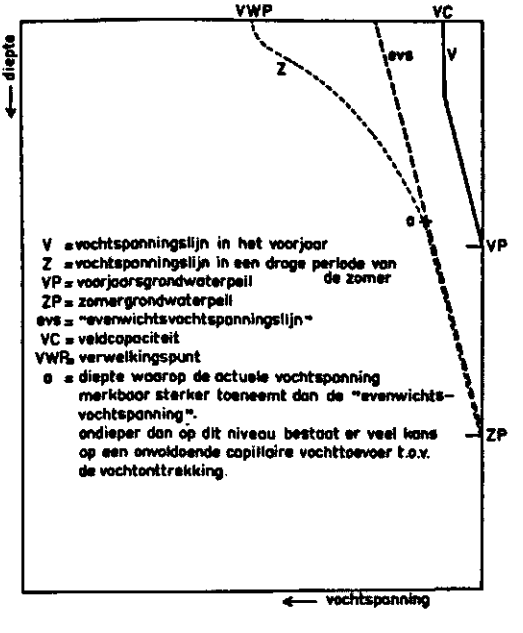


FIG. 40. Geschematiseerd verloop van de vochtspanning in de bodem in het voorjaar en in de zomer.

FIG. 40. *Schematic course of moisture tension (abscissa) in a homogeneous soil profile (ordinate) in early spring at field capacity (full line) and in the summer (faint broken line), strong broken line gives the „equilibrium soil moisture tension".*

V.C. = *field capacity*
V.P. = *groundwater level in the spring*
V.W.P. = *wilting point*
Z.P. = *groundwater level in the summer*
a = *depth of the plane where the actual moisture tension increases visibly more than the equilibrium moisture tension. In layers over this plane capillary rise very probably will lag behind moisture uptake.*

toeneemt, is het waarschijnlijker dat de capillaire opstijging daar gaat afnemen Vanaf de grondwaterspiegel tot op een hoogte waarop het punt a – fig. 40 – zich bevindt, wordt aldus de „zone met evenwichtsvochtspanning" onderscheiden. In. vergelijkingen van evenwichtsvochtspanning met waargenomen pF – zie b.v. tabel 21 – ligt een aanwijzing over de dikte van de zone met evenwichtsvochtspanning.

Hierbij geldt dezelfde restrictie als voor de snel-capillaire zone. De zone met de evenwichtsvochtspanning zal in de plekken 4 en 64 's zomers iets te dun uitvallen, vergeleken met profielen zonder inzijging.

Het blijkt dat deze zone 1 tot 2 dm dikker is dan de snel-capilaire zone – zie tabel 20 –.

Dit verschil kan worden toegeschreven aan te lage aanwijzingen van de tensimeter in drogende grond, maar ook aan het verloop van de vochtkarakteristieken, die bij bepaalde vochtspanningswaarden over kleine pF-intervallen grote vochtgehalte-intervallen laten zien.
Ook de zone met de evenwichtsvochtspanning moet in een droge tijd van het jaar bepaald worden. Bovendien in een profiel, waarin de beworteling niet al te ver van het grondwater verwijderd blijft. Wegens de laatstgenoemde eis is er geen zone met „evenwichtsvochtspanning" en ook geen „snelcapillaire zone" in proefplek 29 bepaald. Om de eerstgenoemde reden is in de plek 1, die door een strobedekking zeer vochtig werd gehouden, de zone met de evenwichtsvochtspanning zeer hoog. Voor onbedekte grond geldt deze hoogte van de zone met evenwichtsvochtspanning uiteraard niet.

[25] *De capillaire opstijging*

Het bestaan van een capillaire vochtbeweging in de grond, inclusief de opstijging uit het grondwater, wordt reeds lang aanvaard. Opgaven over de orde van grootte van het vochttransport, dat bij de capillaire opstijging plaatsvindt, zijn echter schaars en bleven vrijwel beperkt tot enkele Amerikaanse gronden. Op deze regel is een uitzondering. Bij zoute gronden is, uit de verplaatsing van het bodemzout met de capillaire stroming in de grond, de hoeveelheid van het capillair getransporteerde water in vele gevallen berekend. Zo berekende VERHOEVEN, 1953, voor geïnundeerde zeekleigronden in zuidwestelijk Nederland een capillaire opstijging van gemiddeld 0,3 tot 0,4 mm per dag, onder zomergranen, bij de voorkomende grondwaterstanden. Bij dit onderzoek kan wel de vraag gesteld worden, of het vochtverbruik van de planten in de zoute grond normaal is geweest.

In Nederland heeft WIND, 1955, voor komgronden een aantal gegevens over de capillaire geleidbaarheid bepaald. Voor de literatuur over vroeger bepaalde capillaire geleidbaarheidswaarden, zie BUTIJN en WESSELING, 1959.
Nu de bepaling van de capillaire geleidbaarheid (=CG) door nieuwere methoden gemakkelijker is uit te voeren, valt te verwachten dat de capillaire vochtbeweging in de grond beter bekend zal worden. Voor grond met een hogere vochtspanning kan de methode van GARDNER, 1956, voor grondmonsters met een lage vochtspanning de methode van BUTIJN en WESSELING, 1959, gebruikt worden. De kennis van de capillaire geleidbaarheid is onontbeerlijk bij de berekening van de capillaire vochtbewegingen in de grond. De beweging van het bodemvocht in onverzadigde grond blijkt, evenals de beweging in verzadigde grond, te omschrijven met de wet van DARCY;

$v = -k \nabla ø$

v = de hoeveelheid vocht die per oppervlakte- en per tijdseenheid bij de eenheid van drukverval verplaatst wordt.

$\nabla \varphi$ = de potentiaalgradient in de grond.

$-\nabla\varphi = -\nabla (h + gz)$

h = capillaire potentiaal in cm waterkolom

gz = de zwaartekrachtspotentiaal.

k = de capillaire geleidbaarheid van de grond bij de gegeven vochtspanning h.

De totale potentiaal in onverzadigde grond is gelijk aan de capillaire potentiaal, vermeerderd met de drukhoogte van een waterkolom van dezelfde hoogte als de afstand waarover het vochtspanningsverval is berekend. De capillaire geleidbaarheid (= k) is in onverzadigde grond geen constante. In onverzadigde grond neemt de factor k sterk af, wanneer de absolute waarde van de vochtspanning in de grond toeneemt en dus het vochtgehalte afneemt.

Indien er een eenvoudige samenhang tussen het vochtgehalte of de vochtspanning van de grond en de capillaire geleidbaarheid bestond, zou er van de capillaire vochtbeweging veel meer bekend kunnen zijn. Voor iedere grondsoort met een bepaalde granulaire samenstelling en structuur zullen de capillaire geleidbaarheidswaarden echter óf experimenteel bepaald, óf berekend – zie CHILDS en GEORGE, 1950b en MARSHALL, 1958 – moeten worden.

[26] *De capillaire opstijging onder waargenomen omstandigheden.* Om een indruk te geven van de capillaire opstijging in een tweetal profielen uit Zuidwest-Nederland, beplant met boomgaard, zijn met behulp van de gegevens over de capillaire geleidbaarheid – ontleend aan BUTIJN en WESSELING, 1959, zie fig. 41 en 42 – een aantal benaderingen van de cappillaire beweging berekend.

Bij de berekening van capillaire opstijging in proefplek 22 (profiel bestaande uit zavelige boven grond, gevolgd door een lichte zavel) en in proefplek 63 (een humusarme duinzand) zijn capillaire geleidbaarheidswaarden gebruikt, die bepaald zijn aan grondmonsters die uit de ondergrond van deze profielen zijn genomen. Bij gebrek aan de capillaire geleidbaarheidswaarden van alle bodemlagen in deze proefplekken, is aangenomen dat de capillaire geleidbaarheid in de niet bemonsterde grondlagen dezelfde zou zijn als in de bemonsterde.

Het resultaat van de berekeningen is vermeld in tabel 22.

Bij de berekeningen is dezelfde werkwijze toegepast als o.a. door WESSELING en VAN WIJK, 1955, is gevolgd. Bij een gegeven verschil in vochtspanning in twee aaneengrenzende grondlagen, is de capillaire opstijging berekend met een capillaire geleidbaarheid, die behoort bij het gemiddelde van die twee verschillende vochtspanningen.

Bij plek no. 22 kon gebruik gemaakt worden van de vochtspanningen, ontleend aan de aflezing van de tensimeters[1]. Voor plek no. 63 zijn de waargenomen vochtgehalten – zie fig. XIV in deel 3 –, via de vochtkarakteristieken van de vrijwel bijpassende gronden no. 1 en no. 3 uit tabel 1, omgerekend tot vochtspanningen. Door deze omrekening is de berekening van de capillaire opstijgingen in laatstgenoemde plek dus iets minder zuiver.

De capillaire opstijging in de zomer blijkt in de lichte zavel tot een hoogte van omstreeks 50 cm boven het grondwater nog van flinke betekenis voor de plant. In het duinzand is de capillaire opstijging echter beperkt tot een laag ter dikte van 20 à 40 cm boven het grondwater.

Deze hoogten overtreffen de hoogte van de snel-capillaire zone met 1 à 2 dm. Daar de proefplekken

[1]) De vochtspanning is ter vereenvoudiging van de berekeningen, constant gedacht gedurende de dag – vergelijk 2.2.1.3. –

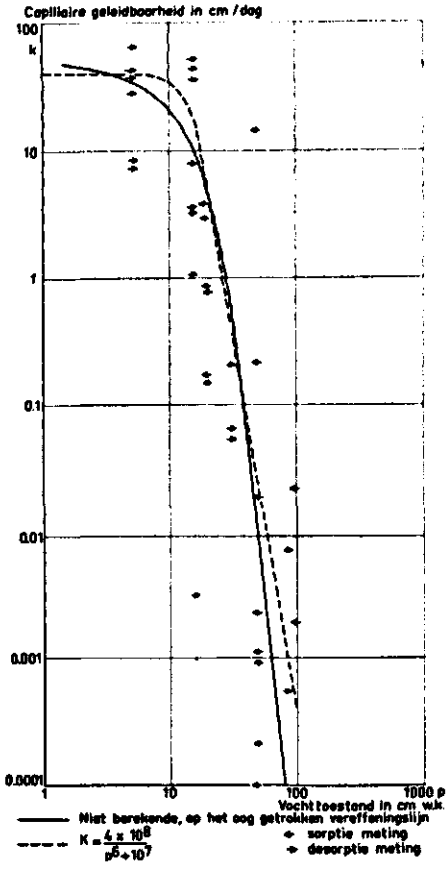


FIG. 41. De capillaire geleidbaarheid in lichte zavel.

FIG. 41. *Capillary conductivity in cm/day (ordinate) versus moisture tension in cm of water (abscissa). Sandy silt loam Nr. 22 of table 1a (however containing ca 11 % of clay).*

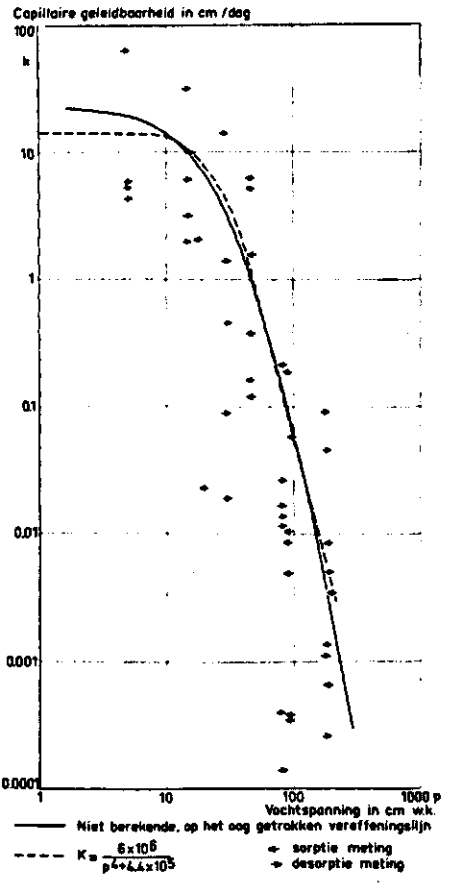


FIG. 42. De capillaire geleidbaarheid in duinzand.

FIG. 42. *Ibidem fig. 41. Dune sand Nr. 1 of table 1a.*

bovenin het profiel zwaarder of humusrijker grond bezitten met lagere capillaire geleidbaarheid bij een lage vochtspanning dan de grond waarvoor de berekening is uitgevoerd, zal dit hoogteverschil soms iets kleiner zijn. Wellicht overtreft de zone met een betekenende capillaire opstijging de zone met de evenwichtsvochtspanning slechts weinig. Wegens het beperkte aantal gevallen kan dit echter niet aangetoond worden.

De zone met evenwichtsvochtspanning zal het traject met een belangrijk capillaire opstijging dus waarschijnlijk beter weergeven dan de snelcapillaire zone – zie [24] –.

[27] *De grondwaterstand behorende bij een gegeven capillaire opstijging en andere omstandigheden.* Naast berekeningen van de actuele (op een bepaald tijdstip optredende) capillaire opstijging heeft het zin, voor een bepaalde (wenselijk geachte) capillaire opstijging, de bijbehorende ligging van de grondwaterspiegel te bepalen. Voor deze

berekening zijn gegevens nodig over de vochtspanning en de vochtopname in de wortelzone. De grootte van de capillaire opstijging kan b.v. zo gekozen worden, dat in het midden van de wortelzone een optimale vochtspanning[1]) gehandhaafd blijft. Vooral aan het einde van de periode met de meeste scheutgroei is deze optimale vochtspanning het meest van belang. Wanneer immers aan het eind van deze periode de vochtspanning nog nagenoeg optimaal is, dan zal er alle kans zijn, dat deze voorheen in een groot deel van de wortelzone ook gunstig is geweest. (Voor een bespreking van de gegevens bij deze berekening zij ook verwezen naar 2.3.2.).

Naast de pF in de wortelzone moet dus de hoeveelheid vocht, die uit de verschillende bodemlagen wordt opgenomen, bekend zijn. Het is evenwel moeilijk op te geven, hoeveel vocht in de verschillende bodem-horizonten opgenomen wordt. Enerzijds zijn er aanwijzingen, dat de opname uit de grond evenredig is met de worteldichtheid, anderzijds zijn er waarnemingen bekend over een versterkte vochtopname, op plaatsen waar de vochtspanning lager ligt. Verschillende waarnemingen, die in de literatuur vermeld worden, kunnen hierover aanwijzingen verstrekken.

ALDRICH c.s., 1935, namen bij peer waar, dat de vochtopname in horizontale richting vrijwel parallel verloopt met de wortelconcentratie. Tot dezelfde conclusie kwamen HUNTER en KELLEY, 1946, met guayule en luzerne voor de opname in vertikale richting. Hun proefplanten groeiden in grondkolommen, die door horizontale tussenschotten niet worteldicht, maar wel vochtdicht waren onderverdeeld. VAN LIESHOUT, 1957, wijst er op, dat de wortelconcentratie weliswaar aanwijzingen geeft over de relatieve vochtopname, maar dat de wortel-activiteit hierin ook een grote rol speelt. FURR en TAYLOR, 1939, namen bij hun proeven met citroenbomen waar, dat de vochtopname uit de ondergrond wel enigszins sneller verloopt, indien de bovengrond uitdroogt, maar dat er zeker geen voldoende compensatie plaatsvindt voor het verlies aan vochtonttrekking uit de bovengrond. Indien er slechts een (horizontaal gerekend) deel van het wortelstelsel water toegevoerd krijgt, wordt de opname daar versterkt, maar niet zoveel dat het verlies in vochtopname via de rest van het wortelstelsel wordt gecompenseerd.

De vochtopname door de wortels is enigszins te vergelijken met de vochtopname door een droog poreus materiaal. Zo brachten VARQUEZ en TAYLOR, 1958, filterkaarsen in de grond, om te zien hoe de vochtopname door dit materiaal zou verlopen. Evenals bij de vochtopname door de wortels, wordt bij een groter aantal en bij een groter oppervlak van de filterkaarsen meer vocht uit een bepaalde hoeveelheid grond opgenomen. Ook wordt per tijdseenheid bij een lage vochtspanning in de grond meer vocht opgenomen. In de proeven van TAYLOR en HADDOCK, 1956, was ook waar te nemen, dat planten grotere hoeveelheden vocht opnemen op plaatsen in de wortelzone waar de vochtspanning lager is. De vochtopname nam echter minder dan omgekeerd evenredig toe met de vochtspanning. GOEDEWAAGEN, 1955, constateerde in een potproef eveneens een versterkte vochtopname door de diepe wortels, die vrij in een bak water hingen, indien de wortels uit de droge bovengrond moeilijk water konden opnemen.

[1]) De vochtspanning is ter vereenvoudiging van de berekeningen, constant gedacht gedurende de dag – vergelijk 2.2.1.3. –.

Waarnemingen op onze proefplekken – zie 2.2.1.4. fig I – XIV in deel 3 en tabel 21, zie b.v. de plekken 24 en 28 – demonstreerden, dat de vochtonttrekking in de diepere lagen van de wortelzone doorgaat, ook al is de bodemvochtigheid in de bovengrond hoog. Dit komt vaak voor in juli, augustus of september. Hieruit blijkt ook, dat bodemvocht niet alleen daar wordt onttrokken, waar de vochtspanning het laagst is.

Een verwant vraagstuk bij de capillaire opstijging is de rol van de wortelactiviteit. In hoeverre wordt de capillaire opstijging in de grond overtroffen of schijnbaar versterkt door het vochttransport via de wortels in de wortelzone?
WIND, 1955b, heeft dit vraagstuk beschouwd in verband met de doorsnee van de bodemporiën en de doorsnee van de houtvaten in de plant. In de dicht doorwortelde grond zou de vochtbeweging door de doorgaans wijdere vaten van het wortelxyleen, groter kunnen zijn, dan door de nauwere met water gevulde poriën in de grond. Voor gras gaf een aangenomen snellere opstijging van bodemvocht door de relatief wijde houtvaten in de wortels, geen nieuwe gezichtspunten bij de berekening van de capillaire opstijging, omdat de beworteling onderin en onder de sterk doorwortelde zone zo ijl bleek, dat het vochttransport door diepere wortels te verwaarlozen is. Voor akkerbouwgewassen is de invloed van de diepe wortels, volgens dezelfde auteur 1954, evenwel niet te verwaarlozen. Vruchtbomen, die ook een diepe beworteling en bovendien wijde houtvaten bezitten, zouden volgens deze gedachtengang, een belangrijk deel van hun totale vochtverbruik direct uit de ondergrond kunnen opnemen. De capillaire opstijging naar de bovenste lagen van de wortelzone zou dus van weinig betekenis kunnen zijn. Volgens de gegevens van de hiervoor geciteerde auteurs, TAYLOR, FURR, HADDOCK, blijken de mogelijkheden van een grote vochtopname door de diepe wortels echter beperkt te zijn. Wij behandelden ook het onvermogen van een aanzienlijk percentage diepe wortels in vochtige grond, om de verwelking van de plant tegen te gaan, indien de bovengrond het verwelkingspunt nadert – 2.1.1.4., [21] –. Een onevenredig groot vochttransport door de diepe wortels lijkt dus niet aannemelijk voor vruchtbomen.
Voor de vereenvoudiging van de berekening van de grondwaterdiepte wordt de vochtopname door het gewas meestal geconcentreerd gedacht op een bepaalde diepte in de grond. Voor de bepaling van deze diepte lijkt het ons met de werkelijkheid te stroken, indien de vochtonttrekking van vruchtbomen geconcentreerd wordt gedacht in het vlak door het midden van de wortelzone. Een grasgewas bezit een veel geconcentreerder en meer aan de bovengrond gebonden wortelzone, waarvan de onderzijde meer als een vochtopnemend vlak beschouwd kan worden, dan de onderzijde van de ijlere en diepergaande beworteling van vruchtbomen en andere fruitgewassen.

Uit het voorgaande blijkt, dat de vochtopname in verschillende lagen van de grond bij benadering evenredig is met de concentratie aan (fysiologisch actieve) wortels, tenzij er belangrijke verschillen in de vochtspanning binnen de wortelzone voorkomen. Bij grote verschillen in de vochtspanning wordt er meer vocht opgenomen in de lagen met de laagste pF. Voor vereenvoudigde berekeningen kan de vochtopname het beste geconcentreerd gedacht worden in het midden van de wortelzone.

Een volgend onmisbaar gegeven voor de berekening is de grootte van de evaporatie,

de verdamping direct uit de (boven)grond. In 2.3.1.3. wordt deze vochtonttrekking besproken. De evaporatie kan uit een zeer droge bovengrond onbetekenend zijn, maar kan tot meer dan 50 % van de verdamping uit vrij water in het open veld oplopen, indien de bovengrond nat is.

Voor enkele fictieve gevallen, waarvan de bodemkundige eigenschappen en de fruitteeltkundige toestand aansluiten bij de toestand die voorkomt in de proefplekken 22 en 63, is een berekening van het gewenste peil van de grondwaterstand uitgevoerd. Het betreft hier (de fictieve gevallen) een licht-zavelig profiel (22') met een gerenommeerd goede capillaire opstijging en een duinzandprofiel (63') met een capillaire opstijging die slechts tot een zeer beperkte hoogte reikt. Proefplek 22' bestaat geheel uit lichte zavel (no. 21/22 uit tabel 1). Proefplek 63' bestaat uit humusarm duinzand (no. 3 uit tabel 1), waaronder op 40 cm diepte zeer humusarm duinzand (no. 1 uit tabel 1) volgt.

Bij de numerieke berekening van het grondwaterpeil is aangenomen, dat de vochtonttrekking evenredig is met de intensiteit van de beworteling in de verschillende bodemlagen – zie tabel 23 –. Bij de voorkomende vochtspanningen lijkt dit niet onredelijk. Gedurende de groeiperiode is met een vochtopname uit de grond van ca 3 mm gerekend. Dit is een veel voorkomende waarde in de zomer – zie 2.3.1.3. –. De evaporatie is gelijk nul gesteld.
In het midden van de wortelzone, d.w.z. op de diepte waarboven zich 50 % van de fijne wortels bevindt, is een optimale pF aangenomen – zie tabel 23 –. Deze optimale pF werd gelijk 2,0 gekozen op 40 cm diepte in de lichte zavel van plek 22' terwijl een optimale pF van 1,8 op 20 cm diepte in het duinzand van plek 63' werd aangenomen. De optimale pF in het zand is lager gesteld, omdat de vochtbeweging bij een hogere pF te traag wordt om een betekenende capillaire opstijging mogelijk te maken. In deze zandgrond, waarin de luchtvoorziening niet zo gauw te wensen overlaat, lijkt deze pF niet te laag voor een goede groei.
De capillaire geleidbaarheidswaarden van BUTIJN en WESSELING, 1959, zijn gebruikt in de berekening. Evenals de granulaire samenstelling van de grond zijn de capillaire geleidbaarheidswaarden voor deze geschematiseerde profielen over de gehele worteldiepte gelijk verondersteld. De capillaire geleidbaarheidswaarden voor de numerieke berekening van de grondwaterstand zijn gelijk genomen aan de waarden, die de op het oog getrokken vereffeningslijnen in figuren 41 en 42 geven.
Wanneer een vochtspanning, een pF van 2,0 in plek 22' en een pF van 1,8 in plek 63' in het midden van de wortelzone, bij een vochtopname uit de wortelzone van 3 mm per dag, op peil gehouden moet worden, blijken de grondwaterstanden nodig te zijn, volgens een numerieke berekening, vermeld in tabel 23. In de lichte zavelgrond is een grondwaterstand van 1,17 m, in het duinzand een stand van 0,56 m nodig.

Indien geen rekening wordt gehouden met de vochtopname op verschillende hoogte in de wortelzone, maar wanneer het vochtverbruik (de evapotranspiratie) geconcentreerd wordt gedacht in het midden van de wortelzone, dan kunnen de berekeningswijzen van WIND, 1955a, en GARDNER, 1958, toegepast worden.
Voor de lichte zavel valt de grondwaterstand, de diepte z onder het midden van de wortelzone, te berekenen uit de formule (zie GARDNER, 1958):

$$z = \int \frac{dp}{1 + \frac{q}{\frac{a}{p^4 + b}}} \qquad (3)$$

$$z = \frac{a}{q}\left\{\frac{1}{4\sqrt{2}\,\beta^3}\ln\left(\frac{p^2 + \beta p\sqrt{2} + \beta^2}{p^2 - \beta p\sqrt{2} + \beta^2}\right) + \frac{1}{2\sqrt{2}\,\beta^3}\,\mathrm{bgtg}\left(\frac{\beta\, p\,\sqrt{2}}{\beta^2 - p^2}\right)\right\} + K;\ \beta^4 = b + \frac{a}{q} \qquad (4)$$

p = de vochtspanning in het midden van de wortelzone in cm waterkolom.

a = een constante uit de formule (7) of (8) voor $k = \frac{a}{p^n + b}$

b = een constante uit de formule (7) of (8) voor k

n = 4 voor de bestudeerde lichte zavel.

n = 6 voor het bestudeerde duinzand.

q = de hoeveelheid vocht in cm per dag, die naar het midden van de wortelzone opstijgen moet.

Voor duinzand geldt:[1].

$$z = \int \frac{dp}{1 + \frac{q}{\frac{a}{p^6 + b}}} \qquad (5)$$

$$z = \frac{a}{6q\,\delta^5}\left(2\,\mathrm{bgtg}\gamma + A\ln\frac{\gamma + A}{\gamma - A} + B\ln\frac{\gamma + B}{\gamma - B}\right) + k; \qquad (6)$$

$$\delta^6 = b + \frac{a}{q} \qquad A = -\tfrac{1}{2} + \frac{i}{2}\sqrt{3} \qquad B = -\tfrac{1}{2} - \frac{i}{2}\sqrt{3} \qquad \gamma = \frac{p}{\delta}$$

Met het oog op de integraties zijn de vereffeningslijnen in de hierna volgende berekeningen vervangen door de benaderende formules:

voor de lichte zavel, $k = \frac{6 \times 10^6}{p^4 + 4.4 \times 10^5}$ (7)

voor duinzand $k = \frac{4 \times 10^8}{p^6 + 10^7}$ (8)

k = capillaire geleidbaarheid in cm/dag

p = vochtspanning in cm waterkolom.

Voor geval dat de hele vochtopname geconcentreerd gedacht wordt in het vlak door het midden van de wortelzone – met de overige omstandigheden zoals aangeven in tabel 23 – is een grondwaterstand nodig in de plekken 22′ en 63′ van respectievelijk 1,07 m en 0,55 m.

Daar de vereffeningslijnen bij de hogere vochtspanningen iets hogere waarden aan-

[1]) De ontwikkeling van deze formule danken wij grotendeels aan *Dr. Ir. J. Wesseling*, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding Wageningen.

De bepaling van z kan het gemakkelijkst langs grafische weg uitgevoerd worden.

geven voor de capillaire geleidbaarheid dan de gemeten capillaire geleidbaarheidswaarden – zie fig. 41 en 42 –, kan de capillaire stijghoogte in feite iets lager uitvallen dan is berekend. Het verschil zal echter kleiner zijn dan 1 dm.

De hoogte waarover een redelijk capillaire vochttransport mogelijk blijkt,valt voor deze grondsoorten wat groter uit dan de „snel-capillaire zone". Dit zou evenwel gecontroleerd moeten worden bij meer grondsoorten, doch daarvoor ontbreken de gegevens over de capillaire geleidbaarheid.

[28] 2.1.2.2. *Hoge grondwaterstanden*

Bij de behandeling van de hoge grondwaterstanden zullen we alleen die grondwaterstanden betrekken, waarbij het grondwateroppervlak zich niet blijvend, maar gedurende kortere of langere tijd in de wortelzone bevindt.

Schade door te hoge grondwaterstanden, ook bij fruit, is in ons land wel bekend. HEINICKE en BOYNTON, 1941, geven uit de Verenigde Staten vele fraaie voorbeelden. In gebieden met te hoge grondwaterstanden treft men vaak te kleine bomen aan. Bovendien laat de gezondheid van het gewas onder deze omstandigheden doorgaans te wensen over. Vruchtboomkanker b.v. tast vooral appel- en perebomen aan op gronden met een te hoge en te sterk wisselende grondwaterstand.

[29] *Symptomen van wateroverlast. De gevoeligheid van verschillende fruitsoorten.*

Het gewas vertoont een aantal typische symptomen bij wateroverlast. Zowel HEINICKE, 1932, als FURNEAU, 1951a, geven een globale beschrijving van deze symptomen.

Aangevuld met eigen waarnemingen in het veld en bij een potproef – zie verder in deze paragraaf – komt een beschrijving van de symptomen van wateroverlast bij appel op het volgende neer – zie de kleurenplaten T1 - T4 in deel 3 –.

1. Bij lichte gevallen van wateroverlast ontwikkelen de bloemen zich niet geheel tot de volle grootte. De afmetingen van het blad zijn bijna normaal. Afhankelijk van het ras komen in het te gelige blad in meer of mindere mate rood-bruine tot bronskleurige vlekken voor. Het blad is vaak niet geheel vlak, maar staat hol of bol; blijkbaar doordat de bladrand beschadigd is, of zonder zichtbare beschadiging toch het groeitempo niet bij kan houden. Indien deze symptomen in het voorjaar optreden ,kan in de zomer een volledig herstel van het gewas volgen.
2. Bij een matige beschadiging van het gewas door wateroverlast, ontplooien de bloemen zich niet geheel of blijven klein. Afhankelijk van het ras kleurt het te kleine blad zich met veel rood-bruine of bronskleurige vlekken op een geel-groene ondergrond. Ook in dit geval is het blad gekromd. Nekrotische vlekken aan de bladtop, aan de bladranden en ook midden op de bladschijf, komen veel voor. De scheutgroei is vaak zeer gering. Wanneer dit stadium van beschadiging in het voorjaar wordt waargenomen, is het veelal de vraag, of de boom zich geheel zal herstellen. In hetzelfde jaar is een volledig herstel vrijwel uitgesloten. Een boom, die op een dergelijke wijze is beschadigd, moet in de eerstvolgende winter meestal sterk teruggesnoeid worden. Deze graad van beschadiging geeft in een aantal volgende jaren dus een aanzienlijke opbrengstderving.
3. Bij een ernstige wateroverlast lopen de gemengde en de bladknoppen meestal wel uit, maar blijven in hun ontwikkeling steken. Voordat zij geheel zijn ontplooid, volgt een snel afsterven, vooral als het weer warmer wordt. Meestal is een boom ten dode gedoemd, indien deze symptomen in het voorjaar waargenomen worden.
   De wortels, vooral de dunnere, worden bij wateroverlast eerst meer grijsbruin in plaats van roodbruin, later nog grijzer, om tenslotte af te sterven. Inwendig verkleuren de wortels eveneens: van geel-wit naar grijs.

De rangorde van de minst naar de meest gevoelige fruitsoorten is, volgens FURNEAU: peer, handappel, moesappel, kers. Voor klein fruit: aardbei, zwarte bes, framboos en kruisbes.
Wij zouden op grond van veldwaarnemingen deze reeks iets uitgebreider als volgt willen voorstellen: grootfruit; peer, pruim, appel, perzik, kers en kleinfruit; aardbei, zwarte bes, braam, rode bes, framboos en kruisbes. Het verschil in de rassen overdekt niet zelden het verschil in de fruitsoorten t.a.v. de gevoeligheid voor wateroverlast.

[30] *Gegevens uit de literatuur en uit veldwaarnemingen*

In de literatuur komen verschillende opgaven voor, over de nadelige invloed van hoge grondwaterstanden op de bovengrondse ontwikkeling van fruitbomen. WILCOX, 1945, vond in Brits Columbia een duidelijke correlatie tussen opbrengst en afmetingen van de bomen enerzijds en de grondwaterstand anderzijds. De beworteling bleek ook dieper, naarmate de grondwaterstand lager was. OSKAMP, 1934, vond in het noordoosten van de Verenigde Staten, dat de grondwaterstand in mei voor vruchtbomen van groot belang is. Indien de grondwaterstand medio mei op verschillende percelen werd vergeleken, dan bleken de boomgrootte en de opbrengst toe te nemen indien de grondwaterspiegel dieper lag. Binnen een spreiding in de grondwaterstanden van 0,50 tot 1,20 m werd deze toename van de opbrengst waargenomen. De grondwaterstand vóór mei, bleek, ook in verscheidene goede boomgaarden, soms dichtbij het maaiveld te liggen. VISSER, 1955, nam waar, dat in Noord-Holland op percelen met een hoge grondwaterstand, de hoogte van de bomen toenam met de grondwaterdiepte. Deze schrijver trekt uit zijn waarnemingen de conclusie, dat de zomergrondwaterstand 1,00 tot 1,20 m moet zijn. REITZ en LONG, 1955, namen bij citrus fruit geen wortelbeschadiging waar door hoge (minder dan 0,45 m diep) wintergrondwaterstanden. Zij vonden een behoorlijke correlatie voor de bewortelingsdiepte en de gemiddelde grondwaterstand in de periode van 8 augustus tot 24 oktober.

Schommelingen van hoge grondwaterstanden gedurende het groeiseizoen hebben een zeer nadelige invloed op het gewas. In ons land zijn in de rivierkleistreek vele voorbeelden bekend geraakt van het nadelige gevolg van deze grondwaterstanden bij fruit. Ook bij aardbei, een voor wateroverlast weinig gevoelig gewas, vond VISSER, 1948, een duidelijke nadelige invloed van een grote schommeling in de (gemiddeld hoge) zomergrondwaterstand.

Tot voor korte tijd is de verklaring voor de ongunstige reactie van de plantengroei bij hoge grond waterstandenvooral gezocht in het volume lucht, dat de plant in de grond ter beschikking staat. De proeven van KOPECKY, 1914, leidden tot de conclusie, dat er voor grassen een volume lucht van 6 tot 10 % aanwezig moet zijn; voor tarwe en haver 10 tot 15 %; voor gerst en bieten 15 tot 20 %. APSITS, 1937, geeft echter optimale volumina lucht, die ca 10 % groter zijn. PAYNE, 1952, komt na een literatuurstudie tot de conclusie, dat afhankelijk van de omstandigheden en het gewas, minimaal 10 tot 25 % lucht in de grond aanwezig moet zijn. Uit onze proeven met appelonderstammen – zie [17] – valt eveneens af te leiden, dat minder dan 10 % lucht in de grond nadelig is.

Van recenter datum zijn proeven over de invloed van de samenstelling van de bodemlucht. GINRICH en RUSSELL, 1956, b.v. vonden vooral een sterke negatieve reactie van de wortelgroei van maïs op een afnemend zuurstofgehalte. Hoe lager de vochtspanning in de grond, des te sterker bleek de reactie op het zuurstofgehalte. HARRIS en VAN BAVEL, 1957, namen waar, dat tabak zeker geen hoger percentage dan 5 % koolzuur in de wortelatmosfeer zonder nadeel doorstaat. ERICKSON, 1946, kwam tot eenzelfde resultaat met tomaat; LEONARD en PINCKARD, 1946, met katoen.

Zoals in [20] werd betoogd moet een diepgaande beworteling gunstig worden genoemd voor de ontwikkeling van het fruit.
De nadelige invloed van een schommeling in een hoge grondwaterstand tijdens het groeiseizoen uit zich doorgaans niet alleen in een slechte stand van het bovengrondse deel van het gewas, maar vooral ook in de beworteling – zie fig. 63 van proefplek 61 uit hoofdstuk 2.2.2.1. –. Door een hoge grondwaterstand kan een groot aantal van de diepe wortels afsterven. Dit bleek b.v. tijdens de bewortelingsopname in het najaar, na het regenrijke voorjaar van 1951.
De diepte van de wortelzone blijkt ook in ons land meer bepaald te worden door de gemiddelde grondwaterstand in de maand mei, dan door de grondwaterstand in december. De wintergrondwaterstand blijkt weinig verband te houden met de diepte van de beworteling – zie fig. 43 en 44 –.

Het volume lucht in de verschillende lagen van de wortelzone, bleek van grote invloed op de dichtheid van de beworteling in onze proefplekken.
Vooral in de maand september bleek er een belangrijke betrekking te bestaan tussen het percentage dunne wortels en het volume-percentage lucht, dat in de diepe lagen van de wortelzone voorkomt – zie tabel 24 –. Voor de appel blijkt, volgens de gegevens uit de proefplekken, b.v. te gelden, dat 1 volume-procent lucht ook 1 procent méér fijne wortels geeft in de laag van 0,40 tot 0,60 m. In dieper gelegen lagen is meer lucht nodig voor een gelijke verhoging van het percentage wortels, maar daar is de worteldichtheid dan ook geringer. De samenhang tussen de hoeveelheid lucht en het percentage wortels in de ondergrond blijkt minder nauw, hetgeen ook te verwachten valt, omdat de beworteling in de diepere lagen zoveel ijler wordt.
De beworteling bij de peer blijkt overeenkomstig de verwachting minder sterk dan bij de appel, maar op dezelfde wijze op de luchttoestand van de grond te reageren – zie tabel 24 –.

Uit de literatuuropgaven en eigen onderzoek blijkt dus, dat de hoge grondwaterstanden nadeel opleveren voor vruchtbomen, zowel voor de groei als de opbrengst. De invloed van hoge grondwaterstanden doet zich vooral in de zomer gelden. Indien in deze tijd de diepere grondlagen luchtarm zijn, is een ijle beworteling in de ondergrond het gevolg. De beperking van de bewortelingsdiepte en eventueel een afsterven van diepe wortels kunnen als aanleiding beschouwd worden voor de reacties van het fruit bij hoge grondwaterstanden.

Met plantenfysiologisch onderzoek zijn de oorzaken van de wateroverlast nader geanalyseerd. Het aantal onderzoekingen op dit gebied is beperkt. Door HEINICKE,

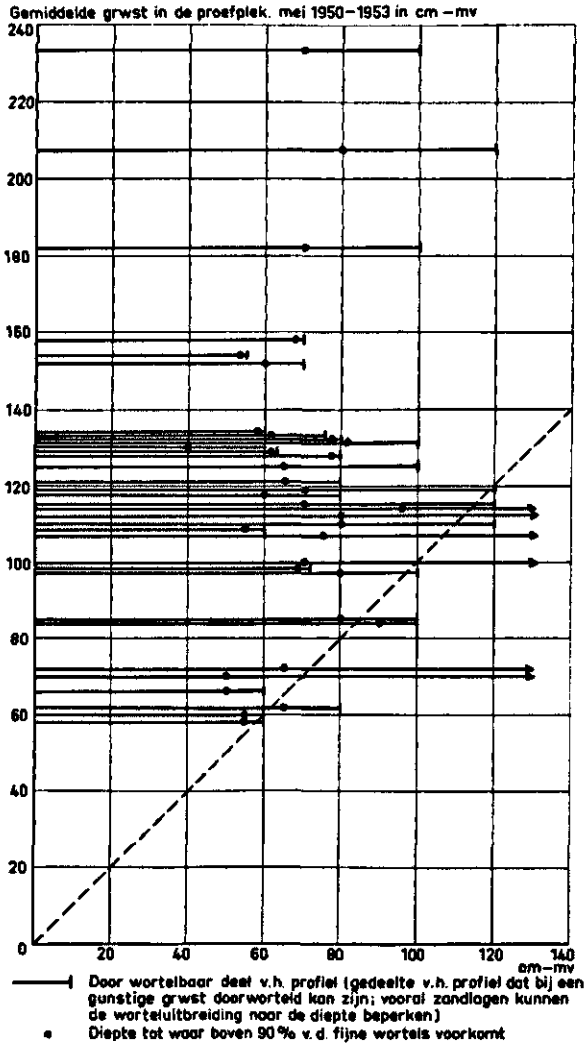


FIG. 43. De invloed van de grondwaterstand (ordinaat), op de beworteling (abscis) in verschillende proefplekken.

FIG. 43. *Depth of rooting zone (abscissa) in different soil profiles (dots) versus the average groundwater level in May (ordinate).*
Arrows indicate potential rooting depth when obstructions to root penetration (besides groundwater) are taken into account (f.i. thick sand horizons are serious obstructions).

1932, in de Verenigde Staten, is een van de weinige proeven uitgevoerd. Hij nam waar, dat de temperatuur van groot belang is bij het optreden van de symptomen door

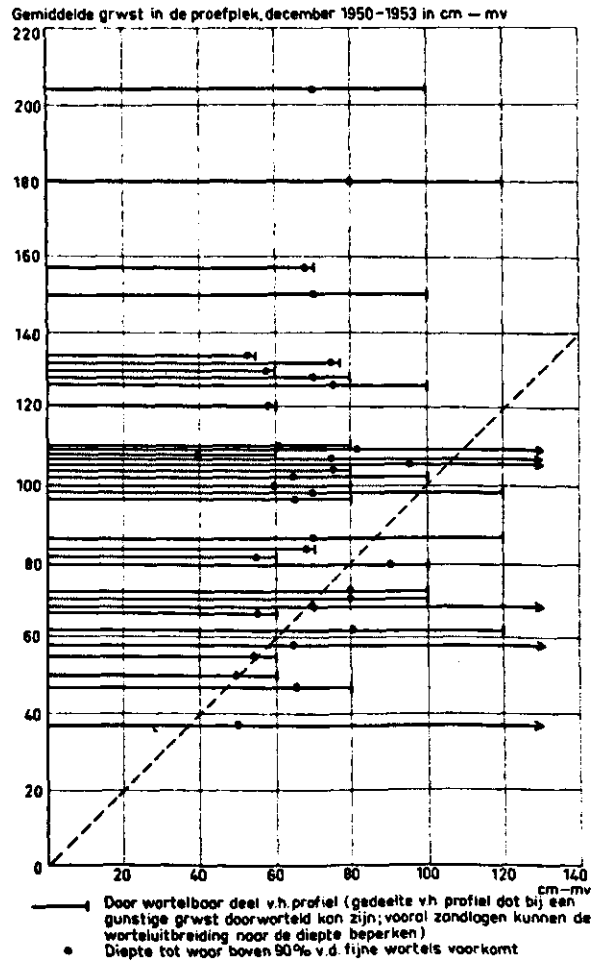


FIG. 44. De invloed van de grondwaterstand (ordinaat), op de beworteling (abscis) in verschillende proefplekken.

FIG. 44. *Ibidem fig. 43. Average groundwater level in December.*

wateroverlast. Indien het proefgewas, jonge vruchtbomen, na maart geen hoge grondwaterstand meer behoefde te verdragen, werd geen nadelige invloed ondervonden.

Hoge grondwaterstanden na 10 april konden, vooral tijdens een warme periode, binnen korte tijd het gewas ernstig beschadigen.
Uit waarnemingen over de gewasreactie tijdens warm weer kwam de vraag op, of een watertekort de oorzaak van de waargenomen symptomen kon zijn.
KRAMER, 1946, nam echter waar, dat verkurkte dikke wortels, die niet zo spoedig worden gedood bij wateroverlast, zeker nog in staat zijn water op te nemen. KRAMER, 1951, voert verder aan, dat de reacties van zijn proefplanten, voornamelijk tomaten en ook zonnebloemen, niet direct wijzen op watergebrek. Epinastische krommingen van het blad worden vaak bij wateroverlast waargenomen.
Bovendien zijn de symptomen ernstiger bij de teelt van de planten in grond, dan in een cultuurvloeistof. Deze waarnemingen leidden tot de hypothese, dat er sprake kan zijn van een werking van groeistofachtige toxische stoffen in de plant. Deze stoffen worden in de grond gevormd en vooral tijdens warm weer sneller geproduceerd, of in versterkte mate opgenomen. Nieuw gevormde wortels, na het afsterven van de oude, blijken zich aan de anaerobie van de grond aangepast te hebben. Zij sterven niet af in dezelfde grond, waarin de oude wel afstierven. KRAMER en JACKSON, 1954, namen bij tabak met wateroverlast ook epinastische bladkrommingen waar, evenals een snel verwelken van het gewas. Warm weer versnelde de reacties. Indien het koolzuurgehalte van de bodemlucht werd verhoogd, namen de symptomen toe in hevigheid; vooral bladchlorose trad op de voorgrond. Bij toediening van extra stikstof aan de bodemlucht werden de symptomen nauwelijks versterkt.

Een vraag over de invloed van hoge gehalten aan mobiel ijzer in de grond is nog niet geheel opgelost. Recente opgaven – zie b.v. BLACK, 1957, hoofdstuk 3 – maken het waarschijnlijk, dat aan de hoge ijzergehalten ook een zekere mate van plantenbeschadiging toegeschreven mag worden.
Een slechtere voeding met fosfaat is op de natte gronden reeds vaak geconstateerd. Door de aanwezigheid van mobiel ijzer wordt de bewegelijkheid van fosfaat sterk verminderd. Het lijkt ons aannemelijk, dat de rode bladverkleuring bij wateroverlast iets te maken heeft met de paars-rode bladkleuren die optreden bij fosfaatgebrek.

[31] *Eigen potproeven*

In een potproef met het appelras Jonathan M XVI is de reactie van het gewas op een hoge grondwaterstand in verschillende perioden van het jaar nagegaan bij zeer verschillende grondsoorten – zie tabel 25a, fig. 45, 46 en 47 –.

De jonge bomen werden in het voorjaar van 1952 geplant in potten, die voor het grootste gedeelte gevuld werden met humusarme zware zavel, humusrijke zware zavel, humusrijk duinzand, of humusarm duinzand. De grondwaterstand werd met behulp van een vlotter gehandhaafd op verschillende peilen gedurende de winter en/of de zomer. Het is waarschijnlijk dat de strenge winter van 1953/1954 het gewas, vooral het wortelstelsel, heeft beschadigd. De reactie van het gewas is daardoor wellicht sterker geweest en het percentage dode worteltjes hoger, dan na een normale winter.

Een herhaling van een hoge grondwaterstand in twee opeenvolgende winters blijkt een extra slechte stand van de bomen te veroorzaken – vergelijk fig. 46 en 47, b.v. de num-

FIG. 45. Verdrinkingsproef, juni 1954.
V.l.n.r. pot no. 23 11 24 12
Voor verklaring zie tabel 25.

FIG. 45. *Jonathan M XVI trees in an experiment with high groundwater tables. Compare table 25. The pair of pots on the left had a very high groundwater level during the previous summer, the pair on the right had no groundwater, the second and fourth pot from the left contain a soil rich in humus, while the others contain poor sand.*

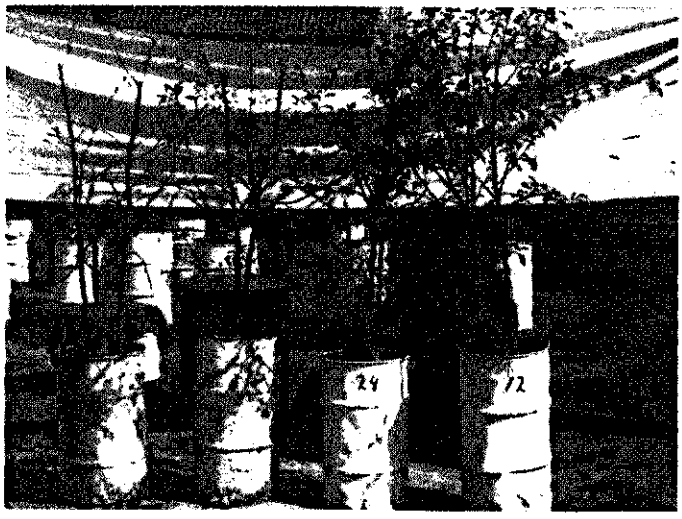


FIG. 46. Verdrinkingsproef, juli 1954.
V.l.n.r. potten 19, 13, 1, 7, 21, 15, 9, 3, 23, 17, 11, 5.
Voor verklaring zie tabel 25.

FIG. 46. *Ibidem fig. 45. In general trees on the left endured 2 seasons with high water tables, whereas trees on the right endured a high groundwater table at the time in which the photograph was made.*

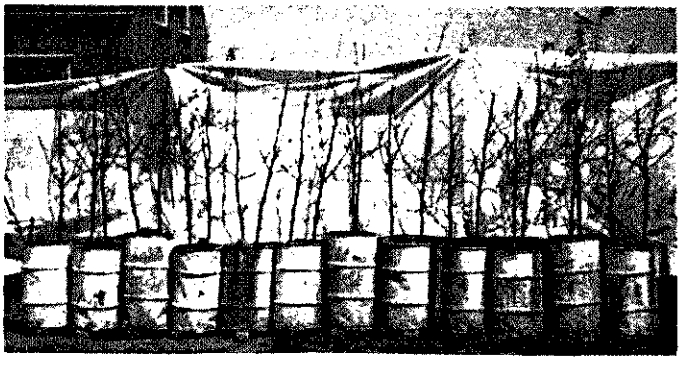
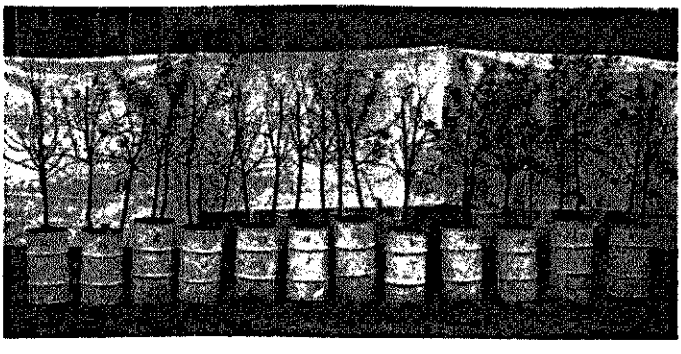


FIG. 47. Verdrinkingsproef begin juni 1954.
V.l.n.r. pot no. 20, 14, 8, 2, 22, 16, 10, 4, 24, 18, 12, 6.
Voor verklaring zie tabel 25.

FIG. 47. *Ibidem fig. 45 The pots on the left endured a repeated high groundwater table in the winter, 4 pots in the centre once endured a rather high watertable in the winter, whereas 4 pots at the right side had rather low water tables in the winter and none in the summer.*



mers 3 en 4, 9 en 10, die resp. bij herhaling en géén tweede maal een hoge grondwaterstand moesten verdragen. Vooral hoge grondwaterstanden na maart kunnen ernstige gevolgen hebben. Na warme perioden werden binnen korte termijn beschadigingen van bloem en blad waargenomen. Een grondwaterstand van 0,50 m in de winter, zal voor de humusarme zware zavel op de grens van het toelaatbare zijn geweest. In de humusrijkere gronden zijn de hoge grondwaterstanden veel beter door het gewas verdragen – zie fig. 45, vergelijk b.v. no. 23 (humusarme grond) met no. 11 (humusrijke grond) –.

De wortelbeschadiging ging in de proef (waarschijnlijk ook in het veld) vooraf aan de beschadiging van de bovengrondse delen van het gewas. Zo bleek, dat het aantal actieve wortels in het late voorjaar van 1954 een redelijke voorspelling opleverde van de stand van het bovengrondse gewas in de zomer – zie fig. 48 –. De reactie met tetrazolium – zie GOEDEWAAGEN, 1954 – werd gebruikt voor de toetsing van de vitaliteit van de wortels.

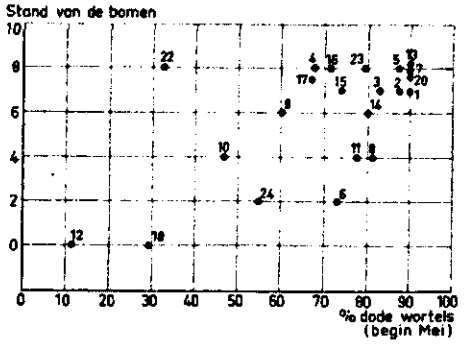


FIG. 48. Betrekking tussen het percentage dode dunne wortels van Jonathan M XVI in het voorjaar en de stand van de bomen (een hoog standcijfer betekent een slechte stand) in de zomer.
Verdrinkingsproef 1954.
N.B. De nummers bij de uitgezette punten behoren bij de potnummers in tabel 25.

FIG. 48. *Stand of fruit trees (ordinate, high figures mean a bad stand) versus % of dead roots in May (abscissa). Compare table 25.*

De beschadiging van het gewas kan bij deze potproef moeilijk aan een hoog koolzuurgehalte van de bodem geweten worden. Hoge koolzuurgehalten zijn in het voorjaar niet waargenomen en kwamen in de winter zeker niet voor. De humusrijkere gronden, met de beste stand van het gewas, bezaten zelfs het hoogste koolzuur-percentage in de bodemlucht.

De hoeveelheid mobiel ijzer (ferri + ferro-ijzer) toont enig verband met de schade aan het gewas, maar blijkt toch niet voldoende nauw gecorreleerd, om het ijzer als de oorzaak van deze beschadiging te kunnen beschouwen. Het lijkt ons aannemelijk deze hoeveelheid ijzer als aanwijzing te beschouwen voor de hoeveelheid toxische stoffen, die in de grond gevormd zijn tijdens de periode met de hoge grondwaterstand. In humeuze grond – zie fig. 45 – worden deze toxinen waarschijnlijk gebonden aan humus, zodat de plant deze in mindere mate kan opnemen. BERGMANN, 1954, kon ook met actieve kool in verdichte grond een veel betere groei van zijn proefgewassen verkrijgen. Hij schreef dit toe aan een binding van overmaat koolzuur aan de actieve kool, maar ook andere schadelijke stoffen kunnen door de actieve kool gebonden zijn.

De werkelijke oorzaak van de snelle ongunstige reactie van de plant op een hoge grondwaterstand in de zomer blijkt dus niet geheel bevredigend achterhaald te zijn.

Een snelle vergiftiging van de plant door in de grond gevormde toxinen, naast een minder acuut werkend zuurstoftekort, lijken de voornaamste oorzaken van de aangeduide plantereacties.

[32] 2.1.3. CONCLUSIES OVER DE OPTIMALE VOCHTTOESTAND IN DE GROND VOOR FRUIT

Uit het literatuuronderzoek en uit de genomen proeven zijn de volgende normen af te leiden voor de vochttoestand van de grond in de fruitteelt:
In de periode van het jaar, waarin de scheutgroei het sterkst kan zijn, moet het vochtgehalte van de grond hoog, niet ver beneden de veldcapaciteit, worden gehouden. Bij een percentage beschikbaar vocht van ca 75 % of een pF (bepaald met de apparatuur van DONATH, zie 2.1.1.3.) van 1,9 – 2,3 ,kan de scheutgroei optimaal zijn. Nattere gronden geven evenals drogere een afname van de groei te zien. Bij minder dan 10 volume-% lucht in de voedingszone kan duidelijk schade door wateroverlast ontstaan.
In de periode voorafgaande aan de rijping van de vruchten blijkt de vruchtgroei nog het meest gevoelig voor de vochttoestand van de bodem. De vruchtgroei is veel minder gevoelig voor de vochttoestand dan de scheutgroei. Pas wanneer de grond het verwelkingspunt nadert neemt de vruchtgroei af; bij verder uitdrogen van de grond komt deze vrijwel tot stilstand. In dat gedeelte van het zomerseizoen, waarin de scheutgroei nagenoeg is afgesloten, maar waarin de vruchtgroei voortgaat, is het voldoende, dat het vochtgehalte van de bodem ruim boven het verwelkingspunt ligt. Zacht fruit blijkt volgens een beperkt aantal proeven sterker te reageren op een droge grond dan hard fruit in het laatst van de periode met de vruchtgroei,
De voorgaande normen voor de vochttoestand van de grond gelden in de eerste plaats voor de wortel- en voedselrijke bovenste lagen van het doorwortelde gedeelte van een bodemprofiel, voor de z.g. „voedingszone". Wanneer de voedingszone te sterk uitdroogt, wordt de mineralenopname door de plant bemoeilijkt. Ook blijken verwelkingsverschijnselen op te kunnen treden als de voedingszone op het verwelkingspunt is gekomen, terwijl in diepere lagen nog wel opneembaar vocht aanwezig is.
Schommelingen in de vochttoestand, ook al ligt deze gemiddeld op een gunstig peil, zijn nadelig. Hoe frequenter de wisselingen in de vochttoestand hoe nadeliger. Door deze oorzaak zijn profielen met een ondiepe beworteling en een grote afwisseling in de vochttoestand van de voedingszone ongunstig voor de plantengroei.
Het grondwater mag gedurende het groeiseizoen, in de warme tijd van het jaar, niet in de wortelzone voorkomen. Indien dit wel het geval is, kan grote schade aan het gewas ontstaan. In gebieden met een dalende grondwaterspiegel gedurende de zomer, bepaalt de diepte van het grondwater in mei ongeveer de diepte van de wortelzone. Hoe groter het volume lucht in de diepere lagen van de wortelzone, hoe intensiever deze lagen doorworteld worden. Wanneer het volume lucht in de zomer niet boven 5 % stijgt in diepere bodemlagen, worden deze vrijwel niet doorworteld.
Tenzij er wordt beregend moet het grondwater liefst zo hoog staan, dat de aanvoer van dit water ertoe bijdraagt, dat de vochttoestand in de wortelzone optimaal blijft. Dit betekent, dat de grondwaterspiegel aan het eind van de periode met de voornaamste scheutgroei niet veel dieper gedaald moet zijn, dan tot een bepaalde afstand onder

de wortelzone. Een maat voor deze afstand kan gevonden worden in de hoogte van de zone met „evenwichtsvochtspanning", of ruim de hoogte van de „snel-capillaire" zone. Indien de capillaire geleidbaarheid van de grond bekend is, evenals de beworteling van het gewas, dan kan de grondwaterdiepte die voor het handhaven van de optimale vochttoestand in de wortelzone nodig is, berekend worden – zie 2.1.2.1. [27] –.

[33] ## 2.2. DE WATER- EN LUCHTHUISHOUDING VAN EEN AANTAL BODEMPROFIELEN IN ZUIDWEST-NEDERLAND

De water- en luchthuishouding in een serie bodemprofielen, beplant met boomgaard, is meer of minder uitvoerig nagegaan. Met de gegevens, die uit dat onderzoek beschikbaar kwamen, kunnen de normen uit 2.1. beoordeeld en aangevuld worden. Overigens is het verzamelde materiaal reeds gebruikt, om normen op te stellen voor de grondwaterstand, zoals uit de tekst van 2.1. en vooral uit [30] blijkt.

Uit een kritische analyse van de gegevens over de toestand op goede en slechte proefplekken op verschillende bodemprofielen kan een beeld verkregen worden van de optimale vocht- en luchttoestand voor gronden die bij de fruitteelt in gebruik zijn. De gegevens over de toestand op de proefplekken zijn ook gebruikt om de relaties te bepalen van de vochttoestand met het weer, het gewas, de diepte van het grondwater, de grondsoort e.d. Deze worden behandeld in 2.3.

Over de water- en luchthuishouding in gronden, die gebruikt worden voor de fruitteelt, zijn niet veel onderzoekingen voorhanden. Vaak is aansluiting gezocht bij situaties, die in de akker- of weidebouw voorkomen.
Door de invoering van het begrip relatieve grondwaterschommeling, heeft VISSER, 1950, pag. 54, de schommeling van het grondwater in een agro-hydrologisch homogeen gebied op een overzichtelijke wijze kunnen weergeven.

De schommeling van een aantal grondwaterstanden wordt vergeleken met de schommeling van het grondwater op een bepaald punt. Ieder grondwaterstandsverloop wordt gesplitst in een constant hoogteverschil met de standaardgrondwaterstand en in een constante factor voor de afwijking van de evenwichtstoestand bij beide grondwaterstanden. M.a.w. de stand van het grondwater in een grondwaterstandsbuis op een willekeurige plek is gelijk aan een bepaald constant peil, minus het verschil met de „stambuis" plus een factor maal de afwijking van het gemiddelde peil in de stambuis. Deze factor hangt af van het waterbergend vermogen (het vrije poriënvolume) en van de ontwateringsintensiteit van een bodemprofiel. Een relatief poriën-arm profiel zal een grote factor opleveren, een profiel rijk aan poriënvolume een kleine factor.
BELTMAN en KOST, 1953, gebruikten de relatieve grondwaterschommelingsmaat o.a. voor de verwerking van de grondwaterstanden die door het Centraal Archief voor Grondwaterstanden worden verzameld. Bij het werk van de Commissie Onderzoek Landbouw Waterhuishouding Nederland is eveneens vaak gebruikt gemaakt van deze wijze van benadering.

De grondwaterstanden in onze proefplekken bleken in drie groepen het beste te correleren met een bepaalde, bij de groep behorende, grondwaterstand in een stambuis – zie tabel 26 –.

De grondwaterstanden in het kreekruggrondencomplex van de oude zeekleipolder „De Brede Watering Bewesten Yerseke", bleken goed te correleren met de buis op proefplek 7. Het betreft de grondwaterstanden op de plekken 1, 2, 4, 5, 6 en 16. Alleen plek 16 ligt buiten deze gronden in een verjongde oudelandpolder, die echter via eerstgenoemde polder afwatert.

De grondwaterstanden in een complex nieuwlandpolders in het westen van Zuid-Beveland, blijken alle redelijk gecorreleerd met de grondwaterstand in stambuis 11, die zich in dit gebied bevindt. Het gebied wordt gekenmerkt door een zeer zandige ondergrond en een normale ontwatering. De afwatering uit dit gehele gebied wordt naar één spuisluis geleid. Het betreft hier de grondwaterstanden in de proefplekken 9, 9a, 10, 12, 13, 14, 15 en 55.
De grondwaterstanden in enkele, veel dieper ontwaterde nieuwlandpolders, bleken beter met de grondwaterstand in een stambuis, die in dit gebied gelegen is, te correleren dan met de voorgenoemde stambuis. De grondwaterstanden in de proefplekken 19 t/m 26, 29, 67 t/m 69 en 11 zijn dus met de grondwaterstanden in plek 28 gecorreleerd.
De grondwaterstanden in de proefplekken 17 en 18, die midden in een poelgebied van de polder „Brede Watering B. Y" zijn gelegen, konden niet goed met de grondwaterstanden in plek 7 worden gecorreleerd.
Blijkbaar vormt het poelgebied geen hydrologische eenheid met het kreekgebied in deze polder.

De vochttoestand van de grond is door vele onderzoekers nagegaan. Onder de bekende oudere onderzoekingen moeten genoemd worden dat van ROTHE, 1933, in boomgaard in het Elbegebied, HENDRICKSON en VEIHMEYER, 1929, 1934, in boomgaard in Californië, ROGERS, 1937, in boomgaard in zuidoost-Engeland, BOYNTON en SAVAGE, 1938, in boomgaard in het noordoosten van de Verenigde Staten, MITSCHERLICH en BEUTELSPACHER, 1938, met landbouwgewassen in Duitsland.
Bij de meeste van deze onderzoekingen wordt geen, of slechts een grove waardering van het vochtgehalte in de verschillende bodemlagen gegeven. Aanvankelijk gebruikten de onderzoekers, b.v. ROTHE de gegevens voornamelijk om een vochtbalans van een bodemprofiel, begroeid met boomgaard, op te stellen. Het onderzoek van ROGERS werd uitgevoerd met tensimeters en onderscheidt duidelijk de toestand in boven- en ondergrond. Met behulp van de tensimeters kon ook een betere waardering van de vochttoestand gegeven worden, dan alleen met de bepaling van het vochtgehalte. Latere onderzoekers zetten de vochtgehalten om in percentages beschikbaar vocht – BAUR, 1954, UHLIG, 1954, HERRMANN, 1951 –. UHLIG stelde een systeem voor bij het opstellen van overzichten van de vochttoestand in de bodem voor de meteorologische dienst in Duitsland. Naast de actuele toestand wil de laatstgenoemde auteur ook de afwijkingen van het gemiddelde opgeven. Deze auteur gaf geen speciale waardering voor het vochtgehalte in de onderscheiden bodemlagen. HERRMANN, 1951, trof minimum-waarden aan van het percentage beschikbaar vocht in boomgaard in West-Duitsland van 30 % in de laag van 0-25 cm en van 40 % in de laag van 0-50 cm. Het blijkt, dat deze overeenkomen met vochttoestanden in boomgaard in goed vochthoudende bodemtypen in ons land. Van recente datum is het onderzoek van VERHOEVEN, 1953, dat op landbouwgewassen op geïnundeerde grond in zuidwest-Nederland werd uitgevoerd. De uitdroging in onze onbegroeide plek 75 was in 1953 iets sterker (20 %) dan de gemiddelde uitdroging die VERHOEVEN opgaf voor onbegroeide plekken. Dit kan samenhangen met het verschil in waterhuishouding van zoute gronden ten opzichte van normale gronden.

Wanneer men verscheidene opgaven uit het buitenland over de jaarlijkse gang van de vochttoestand vergelijkt met de toestand in ons land, dan is onze regenrijke nazomer opvallend. Deze klimatologische bijzonderheid behoedt het fruit op vele vochtarme profielen in ons land voor verwelking.

De hoeveelheid vocht in de grond bepaalt niet alleen het volume lucht in de grond, maar heeft ook een grote invloed op de samenstelling van de bodemlucht. In natte grond kan een veel hoger percentage koolzuur verwacht worden dan in droge grond. Door de ademhaling van de plantenwortels en de afbraak van organische stof in de grond, wordt voortdurend koolzuur in de grond ontwikkeld. Indien dit gas niet ontwijkt naar de buitenlucht, zal het koolzuurgehalte oplopen.

Door diffusie vanuit de bodemlucht naar de atmosfeer zal het verhoogde koolzuurgehalte dalen. De diffusie is rechtevenredig met het vrije poriënvolume - zie o.a. PENMAN, 1940, BLAKE en PAGE,

1949 –, zodat bij een grote watervulling van de poriën de diffusie zeer sterk terugloopt. WESSELING, 1957, en VAN DUIN, 1956, nemen als grenswaarde, waarboven geen diffusie meer plaatsvindt, een watervullirg van 90-85 %.

Het koolzuurgehalte in vochtige grond blijkt veelal sterk verhoogd te zijn; het kan van ruim 1 tot 3 % oplopen – tabel 27 –. Het ligt voor de hand de oorzaak van het hoge koolzuurgehalte te zoeken in het kleine percentage vrij poriënvolume. Dit is evenwel niet de enige factor.

De vochttoestand en de temperatuur van de bodem hebben eveneens invloed op het koolzuurgehalte – MITSCHERLICH, 1910, § 21 –. BHAUMIK en CLARK, 1947 en VAN SCHREVEN, 1956, gingen de invloed na van de vochttoestand van de bodem op de koolzuurproduktie. Deze produktie loopt vrijwel parallel met de nitrificatie en gaat het snelst bij een hoog vochtgehalte; volgens eerstgenoemden vaak bij een vochtgehalte, dat overeenkomt met een vochtspanning van 50, soms van 100 cm waterkolom, volgens de laatstgenoemde bij 65 % van de watercapaciteit. Een herhaalde bevochtiging en uitdroging van de grond heeft een stimulerende werking op de koolzuurproduktie – STEVENSON, 1956 –.

Door de invloed van verscheidene factoren op het koolzuurgehalte van de bodemlucht, was in ons materiaal geen eenvoudige samenhang van de bodemvochtigheid met het koolzuurgehalte van de bodemlucht te verwachten en deze is ook niet aangetroffen.

De beworteling van vruchtbomen, een belangrijk gegeven bij de beoordeling van de vochttoestand van de grond, is door verscheidene onderzoekers nagegaan – voor uitgebreidere literatuuropgave zie BOS, 1959, en BUTIJN, 1958b–. Bewortelingsdiepten van ruim 1,50 m, die door OSKAMP, 1932, en COKER, 1958, of tot 2,40 m die door WILCOX en KNIGHT, 1945, worden vermeld, zijn in dit gebied niet aangetroffen. De bewortelingsdiepte in onze plekken met een minder goede ontwatering komt overeen met de gevallen die DU BURCK, 1949, beschrijft voor fruitbomen in Hoorn. Deze auteur noemt een beworteling goed als deze een diepte van 1,00 m bereikt. Met andere objecten op plaatgronden is aangetoond – BUTIJN, 1958b, figuur 6 – dat een toenemende diepte van de wortelzone (deze bevat 90 % van de dunne worteltjes) tot 0,80 m, een duidelijke invloed heeft op een toename van de afmetingen van de boom. Nog grotere diepten oefenen meestal niet veel invloed uit op de grootte van de boom.
Over de vertikale verdeling van de wortels wordt slechts door enkele auteurs een kwantitatieve opgave verstrekt – zie b.v. OSKAMP, 1932, ROGERS en VYVYAN, 1927, 1934, COKER, 1958 –. Deze verdeling wordt sterk beïnvloed door verschillende factoren, waarover meestal onvoldoende gegevens zijn verstrekt. Een nauwkeurige vergelijking van wortelstelsels op verschillende plaatsen levert daardoor moeilijkheden op. De wortelstelsels uit Engeland en uit het noordoosten van de Verenigde Staten, in gronden met een zwakke grondwaterinvloed, blijken een redelijke overeenkomst te vertonen met wortelstelsels zoals deze hier te lande aangetroffen worden.

[34] 2.2.1. BESCHRIJVING VAN DE TOESTAND OP EEN AANTAL PROEFPLEKKEN

De toestand op een aantal proefplekken – voor de ligging zie fig. 49 – is vastgelegd door het verzamelen van gegevens over de volgende karakteristieke grootheden: 1. de beplanting, 2. de meer blijvende fysische en chemische eigenschappen van de grond, 3. de vocht- en luchttoestand van de grond, als sterk veranderlijke eigenschappen van

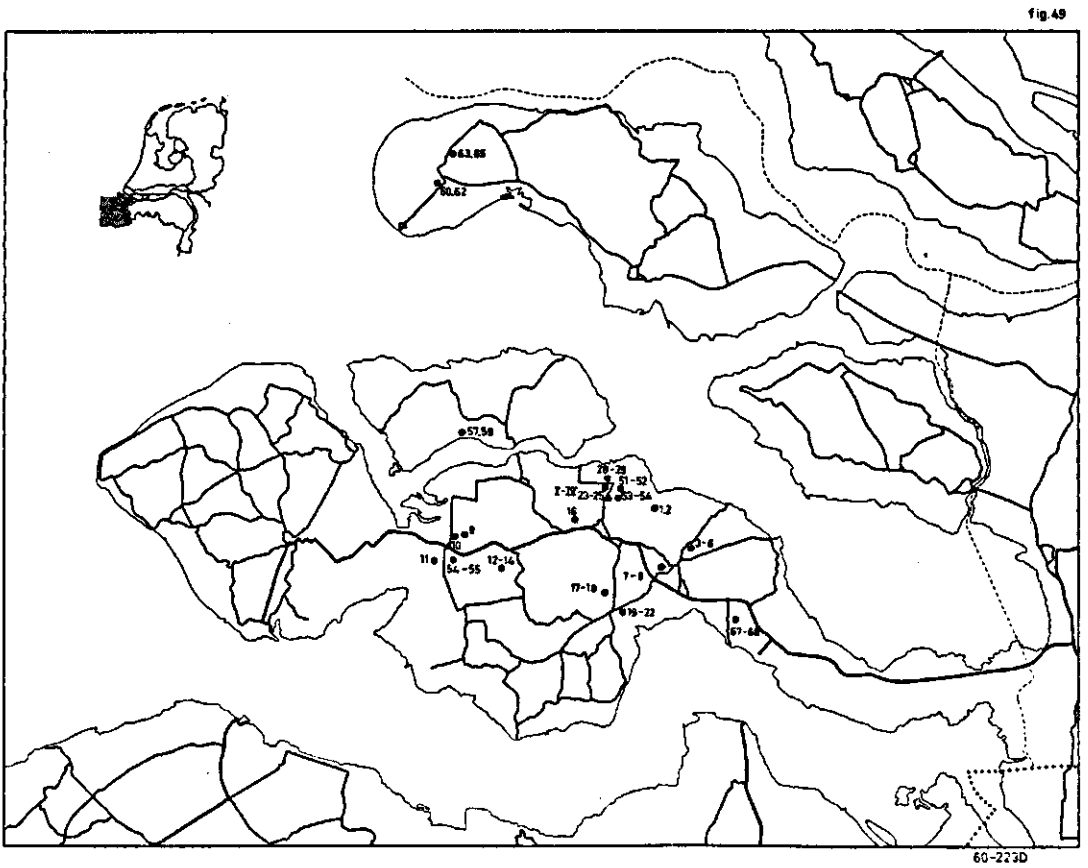


FIG. 49. De ligging van de proefplekken.
FIG. 49. *Situation of observation plots.*

de grond. Deze gegevens zijn merendeels opgenomen in de tabellen 40-43, de toestand op enkele typische proefplekken is weergegeven in de fig. I tot XIV[1]) in deel 3 –.
De gegevens zijn voornamelijk in normale boomgaarden verzameld – tabel 40 en 41, fig. I tot X–. In de regel zijn deze intensief beplant met struikvorm vruchtbomen, geent op matig zwakke onderstammen. De grond in deze boomgaarden werd gewoonlijk vanaf het voorjaar tot augustus zwart gehouden, zoals gebruikelijk was in Zeeland. Op een aantal proefplekken is de bodembehandeling opzettelijk sterk gevarieerd ten opzichte van de gebruikelijke. De reactie van de bomen en de veranderingen in de vochttoestand van de bodem op deze proefplekken is in tabel 43 en fig. XI tot XIV weergegeven. Ter vergelijking met de toestand in boomgaard is ook op een aantal proefplekken in akkerbouwgewassen de vochttoestand van de bodem nagegaan – tabel 42 –.

Voordat wij tot de beschrijving van de toestand op de afzonderlijke proefplekken kunnen overgaan is het nodig, om de grootheden die worden opgegeven over be-

[1] De volledige gegevens van de proefplekken zijn ter inzage.

planting, grond e.d. aan een nadere beschouwing te onderwerpen. De methode waarop deze grootheden zijn bepaald en daarmee samengaande de betrouwbaarheid van deze gegevens, worden nu eerst besproken.

[35] 2.2.1.1. *Verzamelde gegevens over de beplanting*

De volgende gegevens over de beplanting zijn verzameld en worden waar nodig toegelicht:

1. Fruitsoort en boomvorm. Als regel werd de struikvorm boom op de proefplekken aangetroffen, tenzij anders vermeld.
2. Ras
3. Onderstam
4. Leeftijd
5. Plantafstand. Deze bepaalde tegelijkertijd de afmetingen van een proefplek. De afmetingen van een proefplek werden namelijk zoveel mogelijk aangepast aan de plantafstand. Meestal is een ruimte tussen vier bomen van hetzelfde ras als proefplek aangehouden. Indien geen vier bomen van hetzelfde ras aan elkaar grensden, zijn ook wel andere rassen als grensbomen gebruikt, of de proefplek is tussen twee bomen van hetzelfde ras gelegd. In het laatstgenoemde geval werd de breedte van de proefplek, gemeten loodrecht op de rij met de proefbomen, gelijk genomen aan de afstand tussen twee verschillende rijen uit de beplanting.
6. Aangrenzende soorten van de proefplek.
7. De gemiddelde hoogte wordt bepaald van zo mogelijk vijf bomen uit de rijen waarin de proefbomen staan. De hoogte van de bomen is een van de boomafmetingen, die het minst door de cultuurzorgen veranderd wordt. Een doelbewuste beperking van de kroonhoogte kwam nergens voor. Wel hebben de boomvormen en de snoeimethoden binnen zekere grenzen invloed op de hoogte die een boom zal bereiken. De hoogte van de proefbomen, evenals de andere afmetingen die hierna genoemd worden, zijn in de winter bepaald. In de zomer kunnen ze iets afwijken, maar dit geeft geen ingrijpende wijzigingen in het beeld, dat door deze cijfers van een boom wordt gegeven.
8. Kroondoorsnede. Deze wordt zo mogelijk ook bij vijf bomen van het beschouwde ras bepaald. De grootste afmeting van de boom in de richting van de rijen en loodrecht op de rijrichting is bepaald.
9. Stamomtrek. Deze is slechts enkele malen bepaald. De meting werd op 50 cm hoogte uitgevoerd.
10. Beworteling. De beworteling is bepaald volgens de methode van OSKAMP en BATJER, 1932. Volgens deze methode worden alle wortels die in een vertikale profielwand worden aangetroffen in tekening gebracht. Op het Fruitteeltdemonstratiebedrijf te Hoofddorp is deze methode van onderzoek door SCHUURMAN – zie BUTIJN en SCHUURMAN, 1957 – nader beschouwd en bruikbaar bevonden. De wand van de profielkuil, waarin de beworteling werd nagegaan, liep meestal van een punt op 50 cm afstand van een stam van het bestudeerde ras, langs de diagonaal van de stam naar het snijpunt van de diagonalen van de proefplek – fig. 50 –. De vertikale verdeling van de fijne wortels blijkt in twee tegenover elkaar gelegen wanden van de gegraven profielkuil–W1 en W1' uit fig. 50 – niet veel te verschillen – tabel 28 –. Dit geldt ook voor de vertikale verdeling van de wortels aan verschillende zijden van een boom – in de wanden W1–W4 uit fig. 50, zie tabel 29 –. De aantallen wortels kunnen wel sterk uiteenlopen aan verschillende zijden van een boom – tabel 28 en 29 –. De standaardafwijking van de percentages fijne wortels krijgt bij volwassen bomen slechts in een klein aantal gevallen een waarde die groter is dan 10% van het totale aantal wortels, of wel groter dan 30% van het aantal wortels in de bodemlagen afzonderlijk – tabel 28 –. De uitbreiding van de beworteling in radiale richting is in normale beplantingen wel dusdanig, dat van een redelijk homogene verdeling van de wortels over de proefplekken gesproken kan worden – tabel 30 –.
11. Bladanalyse. De bladmonsters voor de analyse zijn geplukt volgens aanwijzingen van MULDER 1951. De analyse zelf is uitgevoerd volgens SCHUFFELEN, MULLER en VAN SCHOUWENBURG. De beoordeling van de analyse-resultaten wordt behandeld in hoofdstuk 3.
12. Opbrengst. Deze is bepaald als de gemiddelde kg-opbrengst van ca 5 bomen over een periode

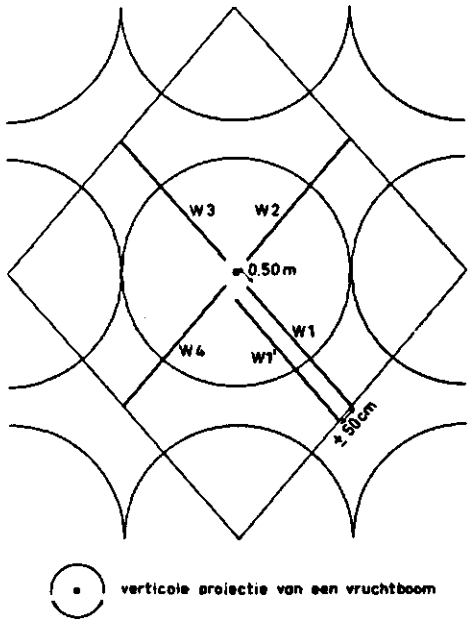


FIG. 50. De ligging van de profielwand(en) w waarin de beworteling van de proefboom werd nagegaan.

FIG. 50. *Situation of soil profiles (w) used for observation of root distribution. In the centre the vertical projection of a fruit tree.*

van 3-5 jaar. Aan de hand van de plantafstand is deze kg-opbrengst omgerekend tot een ,,werkelijke opbrengst" per ha. Aan de berekening van deze ,,werkelijke opbrengsten" kleeft het bezwaar, dat bij een onjuiste plantafstand de kg-opbrengst per ha te laag of te hoog wordt opgegeven, al naar de plantafstand te wijd of te nauw wordt gekozen. In een te wijd geplante boomgaard is een gedeelte van de totale oppervlakte niet door vruchtbomen beslagen, terwijl in een te nauwe beplanting de bomen gedeeltelijk de ruimte van hun buren beslaan. Vooral wanneer de proefbomen in een niet homogene beplanting staan, waarbij ze ruimte van naburige zwakker groeiende vruchtbomen innemen, leidt de berekening van de ,,werkelijke opbrengst" tot veel te hoge waarden. Daarom is nog een tweede opbrengst per ha berekend en wel de ,,calculatie-opbrengst". Deze wordt berekend door de gemiddelde opbrengst van de proefbomen om te rekenen tot een opbrengst per ha, indien voor de standruimte van de proefbomen niet de werkelijke plantafstanden worden genomen, maar de gemiddelde kroonafmetingen die de proefbomen in en tussen de rijen gemiddeld in feite bezaten, m.a.w.: de ,,calculatie-opbrengst" is de opbrengst van een ha beplant met bomen zoals de proefbomen, maar die geplant zijn op een afstand, waarbij ze elkaar in de rij juist raken en waarbij de rijafstand zo is gekozen, dat de boomkruinen juist niet in elkaar doordringen. In een volwassen boomgaard kan de plantafstand ook niet veel nauwer zijn met het oog op de hoeveelheid licht, die in en tussen de bomen moet vallen.

Wanneer een boomgaard zo dicht is geplant, dat de kronen in elkaar doordringen – waarbij er meestal te weinig licht in de boomgaard valt, zodat o.a. de vruchten onvoldoende kleuren – zal de ,,calculatie-opbrengst" dus lager uitvallen dan de ,,werkelijke opbrengst".

Dit verschil zal in werkelijkheid iets kleiner zijn, omdat te dicht geplante bomen meestal te weinig opbrengen. Hoeveel is niet nagegaan, omdat deze opbrengstvermindering in dicht beplante boomgaarden niet groot wordt geacht.

De berekening van een ,,calculatie-opbrengst" lijkt ook op droge plekken, met kleine bomen in ons land wel verantwoord De hoge opbrengsten, die b.v. op de dicht beplante droge plaatgrondplekken 9, 10 en vooral 19 zijn verkregen in jaren zonder extreme droogte, tonen dit aan. Deze wijze van benadering is echter in strijd met de werkwijze van de fruitteelt in droge gebieden van Noord-Afrika, waar men de bomen op droge gronden extra wijd plant.

„De werkelijke opbrengst" geeft enigszins geflatteerde waarden, daar de ha-opbrengsten in praktijkpercelen verminderd worden door randverliezen, verliezen door slechte bomen, windeffecten etc. Hetzelfde geldt voor de „calculatie-opbrengst". Daar de „calculatie-opbrengst" meestal niet behaald zal worden, omdat de plantafstand nooit precies bepaald kon worden vóór het inplanten, moet een opbrengst die tussen de „werkelijke" en de „calculatie-opbrengst" in ligt, als de meest kenmerkende worden beschouwd.

De standaardafwijking van de opbrengst per boom is meestal vrij groot, vooral bij kleine opbrengsten kan deze meer dan 50 % van de opbrengst bedragen. Voor een goede waardering van de oogst is voor sommige plekken ook de gemiddelde vruchtdoorsnede bepaald – tabel 38 –.

[36]

2.2.1.2. *Verzamelde gegevens over de meer blijvende eigenschappen van de grond der proefplekken*

De volgende gegevens over de meer blijvende toestand van de grond zijn verzameld.

1. Bodemtype. De codering, benaming en voorlopige waardering van de bodemtypen waarop de proefplekken zijn gelegen werd ontleend aan de rapporten van DE BAKKER, 1950, BENNEMA en VAN DER MEER, 1952, STEUR c.s., 1955, en KUIPERS en DU BURCK, 1960, e.a. over de bodemkartering van bepaalde delen van Zeeland.

2. Poriënvolume. Hieronder wordt verstaan de ruimte van het totale grondvolume, die niet door gronddeeltjes maar door water en lucht wordt ingenomen. Het poriënvolume van de grond is meestal in het najaar bepaald.

Uit het onderzoek van BROWNING, 1939, en anderen is bekend, dat het poriënvolume niet geheel als een constante beschouwd mag worden, maar in het traject tussen veldcapaciteit en verwelkingspunt wel 10 % kan toenemen, met name door krimpverschijnselen van de grond. Deze opgave komt overeen met oriënterende poriënvolume-bepalingen, die door ons zijn uitgevoerd bij compacte poelkleigrond met 50 % afslibbare delen. Deze gaven een vergroting van het poriënvolume te zien met 5 volume-procenten, wanneer de grond uitdroogde tot ca verwelkingspunt, ten opzichte van het poriënvolume van de grond bij veldcapaciteit.

De monsters voor de bepaling van het poriënvolume werden doorgaans in 6-voud, per laag van 20 cm dik, in een proefplek genomen. De hoogte van de monsters was doorgaans 10 of 20 cm, de doorsnede ca 8 cm.

Onder de kruinen van twee proefbomen werden 2 × 2 monsters genomen en 2 monsters uit het centrum van de proefplek. De standaardafwijking van het poriënvolume blijkt meestal kleiner dan 10 % van de waarde van het poriënvolume te zijn, of wel 1-5 % van het totale volume van het monster – tabel 31 –. De absolute grootte van de standaardafwijking is gelijk gesteld aan de standaard-afwijking van het volume grond(deeltjes).

Voor alle gronden is bij de berekening van het volume der gronddeeltjes uitgegaan van eenzelfde soortelijk gewicht van de grond. Als soortelijk gewicht is aangenomen 2,6. Dit blijkt een iets te lage waarde te zijn, zodat het poriënvolume doorgaans enkele procenten van zijn absolute waarde te laag is berekend. Voor controle is bij een aantal gronden het soortelijk gewicht namelijk bepaald [1]). Het gemiddelde soortelijk gewicht van de geanalyseerde gronden met minder dan 4,5 % humus ligt bij 2,67. Het s.g. van de humusarme zwaardere gronden komt dicht bij de waarde van 2,70. Humusrijke gronden met 4-5 % humus bezitten een s.g. van ongeveer 2,60. Zeer humeuze gronden zijn nog lichter.

De bepaling van het s.g. is uitgevoerd in een pyknometer gevuld met water. Door het aanbrengen van een grote onderdruk (ca 1 atm.) en door langdurig schudden (tot 3 uur) is getracht de grond zo goed mogelijk vrij van lucht te maken. Een vergelijking van het s.g., zoals door ons gevonden en zoals door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek te Oosterbeek is bepaald, toonde geen belangrijke verschillen aan.

3. Veldcapaciteit. De veldcapaciteit is berekend als gemiddelde van de vochtbepalingen van grond in ongeroerde ligging, die in februari of begin maart werden uitgevoerd. Deze grootheid is bepaald nadat de vorst uit de grond was getrokken en enkele dagen na regenval. Alleen bij grond-

[1]) De gegevens zijn voor belangstellenden ter inzage.

lagen die meer dan 50 cm boven het grondwater lagen is het voorjaarsvochtgehalte gelijk gesteld aan de veldcapaciteit – zie ook 2.1.1.2. [7] –. Indien een grondlaag in het voorjaar nooit ver genoeg boven het grondwater lag, is het vochtgehalte van deze laag in het late najaar soms als veldcapaciteit aangenomen. Dit is echter alleen onder omstandigheden gedaan, waarbij op grond van het verloop van de regenval en de grondwaterstand aangenomen mocht worden, dat het bovenliggende deel van het profiel weer op veldcapaciteit was gekomen. Indien een grondlaag nooit op voldoende afstand van het grondwater was gelegen, is het vochtgehalte bij pF = 1,9 als veldcapaciteit van deze laag aangenomen. Daar de veldcapaciteit geen scherp omschreven punt is, moet ook worden afgezien van een opgave van de standaardafwijking van deze grootheid. Van jaar tot jaar is een schommeling van de veldcapaciteit van 2-3 gewichtsprocenten zeer wel mogelijk, zonder goed aanwijsbare oorzaak.

4. Verwelkingspunt. Het verwelkingspunt van de verschillende grondlagen is berekend met behulp van de formule uit 2.1.1.2. [8], of is afgelezen uit de lijnen van fig. 5.

5.6.7. Granulair-analyse, $CaCO_3$-gehalte, humusgehalte. De granulair-analyse, de bepaling van de percentages $CaCO_3$ en humus zijn uitgevoerd door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek te Oosterbeek.

8. Chemische analyse. De chemische analyse van de grond is uitgevoerd met de Morgan-Venema-methode volgens de voorschriften van SCHUFFELEN, MULLER en VAN SCHOUWENBURG – zie 3.1.2. –

[37]

2.2.1.3. *Verzamelde gegevens over de water- en luchthuishouding van de proefplekken*

1. Grondwaterstand. De grondwaterstand werd bepaald door het meten van de diepte onder maaiveld van de waterspiegel in een vertikale ijzeren buis, die in de proefplek werd geplaatst. Deze buis is geperforeerd vanaf het diepste punt, 2-3 m onder maaiveld, tot ca 50 cm onder de oppervlakte. Het binnendringen van zand door deze perforaties werd tegengegaan door de buis te omwikkelen met een strook jute. Na verloop van vier jaar bleek slechts een enkele grondwaterstandsbuis in het ongerede te zijn geraakt. Door afzetting van ijzeroxyden op de jute-omkleding rond de perforaties, reageerde de waterstand in deze buis niet meer op de grondwaterstand. Door het boren van een gat in de grond naast een waterstandsbuis is de geschiktheid van de laatste snel te controleren.

2. Gewichtspercentage vocht. Het vochtgehalte van de grond, uitgedrukt als percentage van de droge grond, werd doorgaans bepaald van lagen met een dikte van 20 cm. Het bleek niet zinvol de dikte van deze lagen kleiner te nemen, aangezien verschillen in het vochtgehalte van lagen met een dikte van ca 10 cm niet betrouwbaar aangetoond kunnen worden bij de gevolgde werkwijze. De lagen van 0 tot 10 cm en 10 tot 20 cm geven doorgaans het grootste verschil in vochtgehalten te zien.

De horizontale vochtverdeling over de proefplek geeft slechts kleine verschillen te zien. Er bestaat een aanwijzing dat het vochtgehalte van de bovengrond onder de boomkruin relatief iets hoger ligt. Daar dit naar verhouding hogere vochtgehalte ook in de winter wordt waargenomen, ligt het voor de hand dit verschil te wijten aan de betere bodemstructuur van de grond onder de bomen, waar de bovengrond minder belopen en bereden wordt – zie b.v. tabel 33 –. De vochtbepaling werd gewoonlijk uitgevoerd aan een monster samengesteld uit 6 submonsters, die uit de proefplek werden genomen. Evenals bij de bepaling voor het poriënvolume, zijn ook bij de bemonstering voor de vochtbepaling 2 × 2 grondmonsters onder de kruin van twee diagonaalsgewijs tegenover elkaar staande bomen genomen en twee monsters uit het centrum van de proefplek. De standaardafwijking van de vochtbepaling blijkt niet vaak groter dan 10% van de waarde van het vochtgehalte te zijn, of wel 0,5 tot 2,0 gewichtsprocenten vocht, of wel 0,7 tot 2,7 volumeprocenten vocht. – zie tabel 32 –. De grootte van de standaardafwijking is in overeenstemming met de opgave van VERHOEVEN, 1953, I 3 en 4. De grootte van de standaardafwijking loopt vanaf het voorjaar tot de zomer meestal iets op, hetgeen uit de plaatselijke vochtonttrekking door de wortels van het gewas te verklaren valt – zie tabel 32 –. Het laatstgenoemde is eveneens een verklaring voor de grootte van de standaardafwijking op grotere diepte, dieper dan 1 m. Deze diepe grondlagen zijn gewoonlijk slechts in tweevoud bemonsterd. De afwijkingen van het vochtgehalte van plaats tot

plaats in diepe grondlagen zijn in het droge najaar van 1953 bepaald. Een verdere afname van de standaardafwijking van weinig naar niet doorwortelde grondlagen valt niet waar te nemen.

3. Volumepercentage vocht. Het volumepercentage vocht, uitgedrukt als dikte van een laag water per grondlaag, is berekend uit het gewichtspercentage vocht en het volumepercentage van de grond en een aangenomen s.g. van de grond = 2,6. Het volumepercentage van de grond is constant aangenomen zoals vele anderen o.a. MITSCHERLICH en BEUTELSPACHER, 1938, bij een soortgelijk onderzoek ook deden. Dit berekende volumepercentage vocht bezit een zelfde standaardafwijking als het gewichtspercentage vocht dat betrokken wordt op de verse (niet gedroogde) grond. De standaardafwijking van het volumepercentage vocht blijkt van 4-20% te kunnen bedragen, of wel van 2-11 mm vocht per laag grond van 20 cm. Meestal is deze standaardafwijking niet groter dan 7 mm per laag van 20 cm dik – zie tabel 34 –.

Grafisch kan de vochttoestand van de grond op overzichtelijke wijze weergegeven worden met de z.g. vochtladder van DE ZEEUW, 1954. In deze grafische voorstelling (zie b.v. fig. 54 en 55)wordt de hoeveelheid opneembaar vocht (het aanwezige aantal mm vocht – het aantal mm vocht bij het verwelkingspunt) van de verschillende grondlagen vertikaal onder elkaar uitgezet, zodat op het oog reeds een indruk van de totale hoeveelheid opneembaar vocht in een profiel kan worden verkregen. De punten van dezelfde laag op verschillende tijdstippen worden met elkaar verbonden. Nu komt het wel voor – zie fig. 30 b.v. –, dat de bovenlagen sterker uitdrogen dan tot het verwelkingspunt, zodat een negatieve vochttoestand aangeduid zou moeten worden. Daarom is in onze afbeelding van de vochtladder het niet beschikbare vocht aangegeven als dikte van de sport van de vochtladder. Deze dikte kan dan eventueel inkrimpen als de grond droger wordt dan op het verwelkingspunt. Bij het aflezen van de hoeveelheid beschikbaar vocht in onze vochtladder, moet nu op de totaal uitgezette hoeveelheid vocht een aantal aftrekposten in rekening worden gebracht. Dit is echter een constante, tenzij de bovengrond verder dan tot het verwelkingspunt is uitgedroogd.

4. Vochtspanning volgens de tensimeter. De vochtspanning in de grond, gemeten als de onderdruk van het water in een poreuze pot, die op een bepaalde diepte in de grond is geplaatst, werd bepaald volgens aanwijzingen van RICHARDS c.s. 1937, en ROGERS, 1938. De poreuze potten werden geleverd door de fa. Goedewaagen te Gouda. Ze werden vooraf gekeurd op een voldoende uniforme doorlatendheid. Als manometers zijn alleen kwikmanometers gebruikt. Behalve de pot, een plastic verbindingsstuk tussen pot en stijgbuis en een rubber stop op de glasbuis, waren de tensimeters geheel van glas. Van de opstelling geeft fig. 51 een indruk. Aan de zuidzijde van de apparaten is, ter bevestiging van de manometers en voor afscherming tegen de zon, een plank aangebracht ,die tot 25 cm in de grond doordringt. De poreuze potjes werden vroeg in het voorjaar vertikaal in de grond gebracht. Twee à drie dagen voór de aflezing werden alle tensimeters gecontroleerd en eventueel ingelekte lucht werd vervangen door water. De plaats van de tensimeters is, in verband met de grondbewerking, dichtbij de stam gekozen, een andere plaatsing leek om praktische overwegingen niet mogelijk. Het bleek trouwens, dat het verschil in de tensimeteraflezingen op verschillende plaatsen van een proefplek in een tamelijk vochtige periode, bij lage pF-waarden, geen grote waarde krijgt, zodat de plaatsing van de tensimeter bij de stam geen grote afwijkingen opgeleverd zal hebben – zie tabel 35 –.

Een bron voor spreiding in de tensimeteraflezing is ook het dagelijkse temperatuursverloop. Op warme dagen geeft de tensimeter 's nachts hogere vochtspanningen aan. De grootte van deze schommeling – tabel 36 – werd van dezelfde orde van grootte bevonden als door andere auteurs, b.v. RICHARDS c.s., 1937, is opgegeven.

In onze gevallen kon de dagschommeling vrijwel verklaard worden uit de uitzetting van het water in de glasbuis, die de verbinding van de poreuze pot met de glasmanometer vormt. Een invloed van de vochtopname door plantenwortels in de nabijheid van de tensimeterpot, zoals door REMSON en RANDOLPH, 1958, werd verondersteld, is niet waargenomen. De hoge onderdruk, voornamelijk van de tensimeters in de hogere grondlagen na de vorstnacht van 20 tot 21 maart 1953, moet op andere wijze worden verklaard. Bij een sterke afkoeling van de bovengrond vindt een snel vochttransport, waarschijnlijk in dampfase, naar deze afgekoelde lagen plaats, zodat de tensimeters een sterke vochtonttrekking (negatieve vochtspanning) te zien geven. De tensimeters in de diepste grondlagen

FIG. 51. De opstelling van tensimeters plek I.

FIG. 51. *A set of tensiometers. Plot Nr. I.*

vertonen een nauwelijks merkbare dagelijkse gang. De inhoud van de glasverbindingsbuis wordt bij deze meters relatief minder sterk verwarmd, zodat zij niet snel verandering in de aflezing te zien geven. In het geval van nachtvorst vindt geen vochttransport uit de diepe lagen naar de oppervlakte plaats.

De pF, volgens aanwijzingen van de tensimeter, ligt te laag, zoals door WIND, 1952, werd gevonden en door KAUSCH, 1955, duidelijk is aangetoond. Er kan een niet verwaarlocsbaar verschil bestaan tussen de vochtspanning in de bodem en de onderdruk in de tensimeterpot, zodat er een aanmerkelijke vochtspanningsgradient rondom de tensimeterpot bestaat. Dit is te verwachten, omdat de vochtspanning in de tensimeterpot na het vullen van de tensimeter doorgaans lager is, dan in de aangrenzende grond, terwijl dit verschil niet aanstonds en ook niet geheel zal verdwijnen – zie de bespreking van de vochtspanningsgradient rondom de poreuze potten in de vochttrappenproef in 2.1.1.4. [17] –.
Wij vonden iets soortgelijks. De vochtspanning volgens de tensimeter lag – zie fig. 10 – steeds lager dan de vochtspanning die gevonden werd uit de relatie van het vochtgehalte met de vochtspanning – zie ook 2.1.1.3. –.
5. Radiculair gemiddeld percentage beschikbaar vocht. Zoals in 2.1.1.3. is uiteengezet kan in een bepaalde bodemlaag gesproken worden van een hoeveelheid voor de plant opneembaar vocht. Van de aanwezige hoeveelheid moet, om de opneembare hoeveelheid te vinden, de hoeveelheid vocht afgetrokken worden, die bij het verwelkingspunt nog in deze bodemlaag aanwezig is. Deze hoeveelheid opneembaar vocht kan in procenten worden uitgedrukt van de hoeveelheid beschikbaar vocht. (De hoeveelheid vocht aanwezig bij veldcapaciteit minus de hoeveelheid bij het verwelkingspunt). Wanneer het grondwater dicht onder de beschouwde grondlaag staat, is het percentage beschikbaar vocht meestal groter dan 100 %. Indien een grondlaag verder uitdroogt dan tot het verwelkingspunt, hetgeen bij de bovengrond in droge perioden niet zelden voorkomt, dan kan het percentage beschikbaar vocht zelfs negatief worden. Uit de percentages beschikbaar vocht van alle profiellagen kan een gemiddeld percentage berekend worden.

In 2.1.2.1. [27] is betoogd, dat de vochtopname uit de wortelzone nagenoeg evenredig zal zijn met de worteldichtheid, zolang de vochtspanningsverschillen in de wortelzone niet te groot zijn. Hieruit volgt, dat de hoeveelheid opneembaar vocht in de verschillende lagen van de wortelzone beter gewaardeerd kan worden met behulp van de worteldichtheid. Deze gegevens leidden ons tot de invoering van het begrip radiculair gemiddeld percentage beschikbaar vocht.

Het wordt berekend uit de volgende formule:

$$\sum_{o}^{n} \left(\frac{\text{h.h. aanwezig opneembaar vocht in laag n}}{\text{max. h.h. beschikbaar vocht in laag n}} \times \text{percentage fijne worteltjes in laag n} \right) =$$

= het radiculair gemiddeld percentage beschikbaar vocht.

n = aantal grondlagen uit de wortelzone, ieder met eenzelfde dikte.

Indien alle lagen even sterk doorworteld waren zou het radiculair percentage vocht (= de afkorting van het radiculair gemiddeld percentage beschikbaar vocht) gelijk zijn aan het gemiddelde percentage beschikbaar vocht in het doorwortelde deel van het bodemprofiel. Bij het radiculair percentage vocht wordt echter meer waarde toegekend aan de vochttoestand in de dichtdoorwortelde lagen. De standaard-afwijking in het „radiculair percentage" vocht is voornamelijk afhankelijk van de standaardafwijking die in de bewortelingsopname optreedt. Veelal zal deze niet groter dan 20% zijn.

Bij meerjarige gewassen zal de bepaling van het radiculair percentage vocht het nuttigst zijn. Voor éénjarige gewassen met een wortelstelsel, dat zich gedurende het seizoen sterk wijzigt, heeft het radiculair percentage vocht alleen gedurende een zeer korte tijd betekenis.

6. Gemiddeld percentage beschikbaar vocht in de voedingszone. Zoals in 2.1.1.4. [21] werd uiteengezet, is de vochttoestand van de bovengrond, die zowel rijk is aan opneembare plantenvoedingsstoffen als aan wortels, van groot belang voor de plant. Daarom is het gemiddeld percentage beschikbaar vocht in de voedingszone bepaald. Wij verstaan er onder het gemiddelde percentage beschikbaar bodemvocht in de grondlagen van 0-40 cm diep. De betrouwbaarheid van het percentage beschikbaar vocht in de voedingszone (bij afkorting: het percentage vocht in de voedingszone) wordt voornamelijk bepaald door de betrouwbaarheid van de vochtbepalingen. Op een standaardafwijking in de vochtbepalingen van ca 10% moet gerekend worden. Daar de standaardafwijking van de veldcapaciteit, als bovengrens aan de hoeveelheid beschikbaar vocht, niet bepaald is, valt de absolute grootte van de standaard-afwijking niet aan te geven.

7. Volume lucht. Het volume van een grondlaag, dat niet door gronddeeltjes of water wordt ingenomen, vormt het volume lucht. Dit volume is evenals het volume water uitgedrukt in volumepercentages. Aan het volume lucht kleven de standaard-afwijkingen van het poriënvolume en van het volume water; 2-7 volumeprocenten – tabel 37 –. Evenals de vochttoestand door een vochtladder weergegeven kan worden, is ook de luchttoestand door een „luchtladder" weergegeven – zie b.v. de fig. 52, 53 en 64 –.

8. Koolzuurgehalte in de bodemlucht –. De kwaliteit van de bodemlucht wordt voor een belangrijk deel gekenmerkt door het daarin voorkomende volumepercentage CO_2. Het gehalte is bepaald vlg. de methode SCHUFFELEN c.s., 1954. De nauwkeurigheid van de bepaling is volgens de genoemde auteurs 0,2% CO_2 – tabel 39 geeft enige waarden van deze grootheid –.

[38] 2.2.1.4. *Beschrijving van de toestand op een aantal proefplekken in boomgaarden*

De gegevens van deze proefplekken zijn vastgelegd in de tabellen 38-40 of in de fig. I-X, (in deel 3) en 52-57.

Voordat deze plekken afzonderlijk behandeld zullen worden, moet de opmerking voorafgaan, dat de opbrengst en opdeproefplekken in zekere zin zijn gegeven als illustraties. Zij ondergaan niet alleen de invloed van de vochthuishouding. Andere factoren, die ook invloed kunnen uitoefenen op de opbrengsten, zijn echter bij de keuze van vergelijkbare proefplekken zoveel mogelijk gelijk gehouden. Wanneer deze overige factoren

sterk verschilden is dit bij de beschrijving van de plekken vermeld. Een ondubbelzinnige bepaling van het vochteffect op de opbrengst zou een polyfactoranalyse vereisen. Deze was bij het aantal beschikbare proefplekken echter niet uit te voeren. De opbrengstverschillen zijn dus waarschijnlijk, maar niet met volledige zekerheid, veroorzaakt door verschillen in de water- en luchthuishouding.
Omdat de vruchtbomen op een fruitperceel vrijwel overal dezelfde verzorging ontvangen, zijn bij voorkeur twee of meer proefplekken op eenzelfde perceel gekozen. Deze situatie is de meest geschikte voor een vergelijking van de reactie van het gewas en de toestand van de bodem bij een verschillende waterhuishouding in de proefplekken.

[39] *Kreekruggrond en poelgrond beplant met de appelrassen Schone van Boskoop en Jonathan; de proefplekken 18 en 17.*

De proefplekken 17 en 18 waren beide gelegen in eenzelfde perceel met appelbomen.
De hoofdbeplanting met struikvormbomen van het ras Schone van Boskoop was voor de bestuiving gemengd met Jonathan.
Op het gedeelte van het perceel dat uit kreekruggrond bestaat, was de groei van de bomen zo sterk, dat de helft gerooid moest worden om de resterende bomen voldoende ruimte te geven. De huidige plantafstand van 5 × 5 m op de poelgrond en ca 7 × 7 m op de kreekruggrond is nog maar nauwelijks voldoende. De bladstand van de bomen was steeds goed. De verdeling van de wortels over het profiel in de kreekgrond is fraai; 28 % van de fijne wortels reikt nog dieper dan 60 cm, 9 % dieper dan 80 cm. (De normale wortelverdeling in redelijke zeekleiprofielen geeft tabel 2). De beworteling in de poelgrond is te ondiep; 70 % van de fijne wortels bevindt zich in de lagen van 0-40 cm diep, tegen 50 % in normale profielen. Slechts 2 % komt dieper dan 80 cm, normaal bereiken 5 tot 10 % van de wortels deze diepte. Deze geringe worteldiepte vormt een van de oorzaken voor de kleinere omvang die de bomen op dit profiel hebben bereikt. – zie 2.1.1.4. [20] –. De gemiddelde opbrengst in de jaren 1949, 1950, 1952 en 1953 lag hoog. De Schone van Boskoop leverde gemiddeld in deze jaren een „werkelijke" opbrengst van ruim 50 ton per ha per jaar op de kreekruggrond, op de poelgrond van ruim 20 ton. De Jonathan gaf door meeldauwaantasting enigszins te lage opbrengsten; op de kreekgrond van 25 ton en 11 ton/ha op de poelgrond. De „calculatie-opbrengsten" moeten bijna alle lager becijferd worden dan de werkelijke opbrengst, omdat de beplanting in 3 van de 4 gevallen te nauw is voor een optimale belichting. Op de kreekgrond worden ze aldus 40 ton en op de poelgrond 17 ton bij Schone van Boskoop, op de kreekgrond 24 ton en op de poelgrond 15 ton voor de Jonathan.
De kreekruggrond, waarop proefplek 18 is gelegen, behoort bij een systeem van kreken, dat gevormd werd bij een inbraak in een oud poelgebied. Deze secundaire kreekgrond is niet zo hoog gelegen als de oudere kreekgronden in de oudelandpolders uit het zeekleigebied, hij is ook wat zwaarder en kalkrijker. Het profiel met de bijbehorende grondwaterstand blijkt zeer geschikt voor de groei van appelbomen. De profielopbouw is als volgt: De zware zavel, waaruit de bovengrond bestaat, gaat op 0,50 m over in zavel. Pas op een diepte van meer dan 1,20 m wordt dit profiel weer zwaarder. Dit is het geval in de overgangslaag naar verslagen en verspoeld veen, die op ca. 1,80 m aangetroffen wordt.

De poelgrond, waarop proefplek 17 is gelegen, lijkt weinig verjongd door de vorengenoemde inbraak. Deze zware, van oorsprong kalkarme lichte tot middelzware kleigrond vertoont nog steeds een slechte structuur. Door een intensieve ontwatering is deze structuur wel verbeterd, maar ze is nog verre van goed. Alleen de bovengrond verkeert door het hogere humusgehalte in een redelijke toestand. Poelgronden staan reeds lang bekend als slechte fruitteeltgronden.
Het poriënvolume van deze twee profielen vertoont minder verschil, dan men op het eerste gezicht zou verwachten. Het bedraagt 40 tot 50 %. Aan de scheuren in de grond ontleent het poelgrondprofiel een belangrijk deel van zijn poriënvolume. Dit volume is echter van geringere betekenis voor de plant, omdat het geen ontsluiting betekent tot het inwendige van de kluiten. Een kruimelige grond met een goede structuur is voor de plantenwortels veel beter ontsloten dan deze poelgrond met zijn prisma-structuur. Deze geringere waarde van lagen met een slechte structuur wordt door de lagere bijdrage tot het radiculair percentage vocht (dus via de ijlere beworteling in zulke lagen) voor een deel tot uitdrukking gebracht. Het totale effect van een slechte structuur op de water- en luchthuishouding van de plant is echter moeilijk kwantitatief aan te geven.
De hoeveelheid beschikbaar vocht is vooral in de ondergrond van de poelgrond lager dan normaal. Het bedraagt slechts een 12-tal gewichtsprocenten. Het betekent, dat dit profiel ruim 25 % te weinig beschikbaar vocht vasthoudt. De chemische bodemanalyse toont aan dat deze profielen niet tot voedingsziekten in de bomen aanleiding zullen geven.
De waterhuishouding in beide proefplekken is zeer verschillend. De kreekruggrond kan als een goed vochthoudende en redelijk opdrachtige grond gekenschetst worden. De poelgrond echter is meer gekenmerkt door uitersten in de vochttoestand. In de winter en in het voorjaar kan in vele jaren bijna van wateroverlast gesproken worden, terwijl in droge zomerperioden de bovengrond teveel uitdroogt.
De grondwaterspiegel in de kreekgrond bevindt zich midden in de winter op ruim 0,50 m onder maaiveld, in maart op 0,70 – 1,00 m en daalt gedurende de zomer en de herfst tot 1,50 à 2,00 m. Deze grondwaterstand kan als gunstig beschouwd worden voor de groei van de bomen; alleen de zeer lage grondwaterstanden in het najaar lijken bij een enigszins te droge wortelzone minder gewenst. De grondwaterspiegel in de poelgrond bevindt zich midden in de winter meestal omstreeks 0,30–0,50 m onder maaiveld, in maart ca 0,50 m en daalt daarna tot 0,80 à 1,20 m in het najaar. Ondanks de intensieve drainage – de drains liggen op 8 m afstand en zijn afgedekt met een dikke laag snoeihout – en de slootwaterstand die veel lager is dan de grondwaterstand, bleek de ontwatering maar nauwelijks voldoende voor een appelboomgaard. De grondwaterspiegel steeg nog te vaak boven een peil van 0,50 m onder het maaiveld.
De vochttoestand in de wortelzone was in de kreekgrond gunstig. Zowel het radiculair percentage vocht als het percentage vocht in de voedingszone duidden in de tijd van de scheutgroei op een redelijk goede vochttoestand; ze daalden in deze periode niet lager dan tot resp. 61 % en 55 %. In de laatste maanden voor de pluktijd komen ook geen uitgesproken lage vochttoestanden voor; toestanden met lagere percentages dan 25 werden niet waargenomen. In de poelgrond was de toestand veel minder gun-

stig. Het radiculair gemiddelde vochtgehalte en het vochtgehalte in de voedingszone daalden tijdens de scheutgroei soms tot resp. 40 en 30 %. In de periode kort voor de pluk was soms weinig beschikbaar vocht meer over.
De luchttoestand in de kreekgrond kan gunstig genoemd worden. In het groeiseizoen was in alle bodemlagen boven 0,60 m diepte meer dan 15 volumeprocent lucht aanwezig. In de poelgrond wordt een redelijke doorluchting, met meer dan 10 % lucht in de nog dicht doorwortelde laag van 0,40–0,60 m, soms pas bereikt in juni, of zoals in het natte jaar 1951, gedurende het gehele seizoen niet bereikt. De slechte doorluchting van de ondergrond dieper dan 0,60 m levert een goede verklaring voor de spaarzame ontwikkeling van de wortels in dit deel van het profiel. De kleinere afmeting van de bomen op de poelgrond kan aan de slechte ontwatering en door de bijbehorende ondiepere beworteling, ook aan het lagere vochtgehalte in de wortelzone toegeschreven worden. In de eerste jaren na het planten, toen de ontwatering nog slecht was, zijn verschillende bomen op de poelgrond door wateroverlast afgestorven. Na een verbetering van de drainage zijn geen bomen meer uitgevallen, maar zij bereikten niet de afmetingen van de bomen op de kreekgrond. De droge bovengrond in de zomer mag ook mede verantwoordelijk worden gesteld voor de tragere jeugdgroei van de bomen op de poelgrond. De vochtkarakteristiek van de poelgrond vertoont een steil verloop tot een vrij hoge vochtspanning, daarna wordt ze vlakker (fig. 7, no. 9 en 10). Dit betekent, dat het percentage beschikbaar vocht een te geflatteerde indruk van de vochttoestand geeft. Een groot deel van het beschikbaar vocht komt pas vrij bij hoge vochtspanningen en is dus moeilijk voor de plant beschikbaar.

[40] *Schorgrond en plaatgrond beplant met de appel Schone van Boskoop op hoogstam; de proefplekken 28 en 29*

De proefplekken 28 en 29 – zie fig. III en IV – liggen in een ca 50-jarige hoogstamboomgaard met als hoofdbeplanting het appelras Schone van Boskoop op hoogstam. Bij een eerste aanblik is het al opvallend, dat de bomen in de omgeving van proefplek 29, op de plaatgrond, kleiner zijn gebleven. In droge zomers stonden deze bomen er vaak minder fleurig bij, ze kregen teveel geel blad. Door de sterke onderstam met zijn intensieve beworteling zijn de bomen hoogstwaarschijnlijk behoed voor nog ernstiger reacties op de droogte (vergelijk proefplekken 9 en 9a). Voedingsziekten zijn niet waargenomen op beide plekken; wel lag de K/Mg-verhouding op plek 29 gevaarlijk hoog, zodat magnesiumgebrekverschijnselen in een nat jaar kunnen voorkomen. De beworteling in het schorgrondprofiel was redelijk goed. De beworteling in de laag van 0,80 tot 1,00 m diep ontbreekt echter, terwijl daar een kleine 10 % van de fijne wortels zou moeten voorkomen. In het plaatgrondprofiel is de beworteling veel te oppervlakkig. Dieper dan 0,40 m komt slechts 13 % van de fijne wortels voor, hetgeen $\frac{1}{4}$ is van het percentage dat daar aanwezig zou moeten zijn. Het is uit deze ondiepe beworteling verklaarbaar, dat de bomen op de plaatgrond kleiner zijn gebleven.
De opbrengst per ha is op de plaatgrond in alle jaren aanmerkelijk onder die van de schorgrond gebleven, alleen 1953 vormt hierop een uitzondering. Door dit gunstige jaar is het opbrengstverschil slechts 20 %. De „calculatie-opbrengsten" over de jaren 1950 tot en met 1953 zullen weinig verschillen, omdat de bomen op de plaatgrond te

wijd en op de schorgrond iets te nauw zijn geplant. Hierbij moet de abnormaal gunstige situatie in 1953 buiten beschouwing worden gelaten. Een gemiddelde calculatie opbrengst van 40 ton per ha op de plaatgrond kan zeker als goed beschouwd worden, maar het is duidelijk, dat deze alleen bereikt zou kunnen zijn, indien de plantafstand aangepast was aan de afmetingen van de bomen.
De schorgrond, waarop proefplek 28 ligt, behoort tot de goede fruitgronden uit het zeekleigebied. In deze aflopende, kalkrijke, zavelige profielen, waar geen zandlagen boven 1,00 m diepte voorkomen, ontwikkelt het fruit zich zeer goed. Een poriënvolume van ruim 50 % duidt ook op de goede structuur van de grond. Het lage poriënvolume en percentage humus van de bovengrond wijzen er echter op, dat deze bovengrond een betere structuur zou kunnen bezitten. Wellicht is het zwarthouden van de grond niet vreemd aan deze toestand. De maximale hoeveelheid beschikbaar vocht, die ca. 15 gewichtsprocenten bedraagt (ca 20 volumeprocenten) is gunstig. De chemische toestand kan ook redelijk genoemd worden, hoewel het fosfaatgehalte gevaarlijk hoog ligt.

De plaatgrond waarop proefplek 29 is gelegen, behoort tot een groot complex gronden, die door hun slechtere profiel in een ongunstig daglicht zijn komen te staan. Vooral in droge jaren kunnen op deze profielen bij land- en tuinbouwgewassen gevoelige oogstdepressies optreden. Het zavelige bovendek van dit profiel is slechts 40 cm dik en vormt praktisch de begrenzing van de beworteling. Het onderliggende zand bevat geen of uiterst weinig wortels. Of het lagere poriënvolume van dit zand de oorzaak van de ondiepe beworteling is, werd elders reeds uitvoerig besproken –GOEDEWAAGEN c.s., 1955–; het lijkt ons wel aannemelijk. Hierbij moet ook in aanmerking worden genomen, dat het poriënstelsel in het zand zeer stabiel is. Scheurvorming, zelfs een geringe krimp, treedt in het zand niet op. Daardoor zal een wortel ook geen kans krijgen om, via tijdelijke scheurtjes of lossere pakking van het zand, door te dringen.
De fysische toestand van de bovengrond is matig. Ook op dit profiel vallen het lagere poriënvolume en het lage percentage humus van de bouwvoor op. Het vochtbergend vermogen van de toch al dunne wortelzone is vrij laag, nl. 12 tot 14 gewichtsprocenten. De rijkdom aan kalium leidde, zoals reeds vermeld, tot een te hoge K/Mg-verhouding in het blad, die door de lage vochttoestand en matige stikstofvoorziening – zie 3.2.1. – evenwel nog niet tot zichtbaar magnesiumgebrek bij de boom leidde. Ook het fosfaatgehalte is op dit droge profiel te hoog – 3.2.3. –. Zinkgebrek is echter op dit perceel bij Schone van Boskoop niet waargenomen. Beide chemische factoren maken het milieu voor het fruit dus zeker niet gunstiger op deze proefplek ten opzichte van de voorgaande, hoewel dit nog geen grote invloed op de opbrengst behoeft te betekenen.

De vochttoestand in beide proefplekken is zeer verschillend. In de schorgrond was er steeds een ruime hoeveelheid opneembaar vocht aanwezig in het groeiseizoen. In de plaatgrond was het percentage beschikbaar vocht in de wortelzone af en toe slechts klein. De radiculair gemiddelde percentages vocht liepen in de groeiperiode van de bomen in de schorgrond niet verder terug dan tot 70 %, in de plaatgrond evenwel tot 40 %. De gemiddelde percentages beschikbaar vocht in de voedingszones liepen nog iets verder terug n.l. tot 60 % in de schorgrond en tot ruim 30 % in de plaatgrond. De

vochtspanning, gemeten als pF volgens de tensimeteraanwijzingen, liep in de schorgrond in het groeiseizoen van de bomen meestal niet hoger op dan tot 2,2, afgezien van de pF in de bovengrond. In de bovengrond kwamen wel hogere vochtspanningen voor. In de plaatgrond werden in de wortelzone en dieper dan 20 cm verscheidene malen vochtspanningen gemeten hoger dan 2,2; de pF-waarde 2,3 werd verschillende malen bereikt of overschreden[1].

Een oplossing voor het verschil in de waterhuishouding van deze profielen geeft het reeds genoemde verschil in beworteling. De ondiepe beworteling in de plaatgrond zal tot een grotere vochtopname, dus tot een lagere vochttoestand, in de wortelzone leiden. Een tweede oplossing wordt gegeven door de diepte van het grondwater. In de schorgrond loopt de grondwaterstand terug van 0,70 m in begin maart, 0,80 in half april tot ca 1,60 m eind september, in de plaatgrond in dezelfde periode resp. van 1,20 tot 1,30 en verder tot 1,70 m. Blijkbaar wordt in de schorgrond veel meer vocht aan het grondwater onttrokken dan in de plaatgrond. De hogere vochtspanningen in de diepere lagen van de wortelzone maken een geringer capillair vochttransport in de plaatgrond aannemelijk.

De luchttoestand van beide proefplekken gaf geen moeilijkheden. In het groeiseizoen was vrijwel altijd meer dan 20 volumeprocent lucht in de wortelzone aanwezig. Het percentage koolzuur – tabel 39 – liep in de bovengrond van de schor- en plaatgrond niet hoger op dan tot resp. ca 1 % en ca 2 %. In de diepere lagen, i.c. op 0,50 m, liep het percentage koolzuur iets hoger op nl. tot resp. 1,2 en 2,4 %. Het oplopen van het koolzuurgehalte vindt vaak plaats indien de bovengrond nat wordt, zodat de onderliggende grondlagen moeilijker hun koolzuur door diffusie kwijt raken. De vrijwel jaarlijks voorkomende, drogere toestand van de bovengrond en van de gehele wortelzone, geven de verklaring voor de tragere groei in de jeugd van de bomen op de plaatgrond. Een verklaring voor de uiteindelijk toch kleinere afmeting van deze bomen ligt in de frequentie van de droge toestand op de plaatgrond. Een tijdelijke achterstand in de groei wordt soms wel ingehaald – zie 2.2.2.2., de proefplekken H5 t/m H8 –. Een parallel met de slechtere groei in ondiep doorwortelde profielen, ook al zijn deze niet uitgesproken droog in de wortelzone, is te vinden in de groei van planten in potten met een verschillende diepte; zoals deze werd behandeld in 2.1.1.4., [(20].

Het vochtgehalte aan het eind van het seizoen tegen de vruchtrijping was nooit zo laag, dat de vruchten niet uitgroeiden. Hierbij heeft ook de uitgebreidheid en de grote bewortelingsdichtheid van het wortelstelsel van de hoogstam een gunstige rol gespeeld. Daardoor zijn de opbrengst-depressies in droge jaren meegevallen (vergelijk de proefplekken 9 en 9a).

[41] *Plaatgronden beplant met appel- en pererassen, de proefplekken 9 t/m 10 en 23 t/m 25.*

Wegens de moeilijkheden, die de waterhuishouding van plaatgronden in droge perioden oplevert en wegens de onbevredigende groei van vruchtbomen is een groter aantal proefplekken op plaatgronden gekozen dan op de andere bodemtypen.

[1] Door de late opstelling in het voorjaar van 1950, is de pF in dat jaar in de plaatgrond blijkbaar niet goed, te laag, bepaald. Een te laat in het voorjaar geplaatste tensimeter geeft onbetrouwbare aanwijzingen, daar de aansluiting van de poreuze pot aan de omringende grond onvolledig is.

De proefplekken 9, 9a en 10 – zie fig. V en VI – zijn alle op hetzelfde bedrijf gelegen, maar op verschillende percelen. Het bedrijf is bekend om zijn droogte-gevoelige gronden. Plek 9a is gekozen naast plek 10, om het effect van een besproeiing op plek 10 na te kunnen gaan. Deze besproeiing is alleen na 1952 in droge perioden toegepast. De beplanting was helaas niet uniform, wel zijn de cultuurzorgen en de bemesting nagenoeg dezelfde geweest op alle percelen. Hierdoor zijn alleen bomen van hetzelfde ras op dezelfde onderstam vergelijkbaar. Strikt genomen is een vergelijking van de vochttoestand van de grond ook alleen onder eenzelfde beplanting toegestaan, maar dit geldt minder streng dan bij de vergelijking van de bomen, omdat de vochtonttrekking bij verschillende onderstammen met dezelfde groeikracht geen grote verschillen te zien geeft.

De bomen op proefplek 9 zijn relatief het beste gegroeid, aangezien de Jonathan op de sterke zaailingonderstam op plek 10 verreweg de grootste boom had kunnen vormen. De beplanting is op alle plekken te nauw, op de plekken 9a en 10 voor rassen op zwakke onderstam bijna juist, maar voor de Jonathan op zaailingonderstam te nauw. Opvallend is de geringe hoogte, die de bomen op de slechtere plaatgronden – 9a en 10 – bereiken. Op alle plekken was de bladstand meestal goed, alleen trad er in sommige jaren enig magnesiumgebrek op, dat gezien de chemische bladanalyse, ook verwacht kon worden.

De beworteling was op proefplek 9 nog het beste. Dit was te danken aan een zavellaagje op 90 cm diepte. Enkele dikke wortels drongen door de scheidende zandlaag heen en vertakten zich sterk in het diepere zavellaagje. Hierdoor bevindt zich nog 24 % van de fijne wortels dieper dan 0,60 m. In plek 9a is de beworteling weer ondieper, slechts 10 % van de fijne wortels is dieper dan 0,60 m aanwezig. De ondiepste beworteling tenslotte is te vinden in plek 10, waar de beworteling vrijwel beperkt is tot de bovenste 0,50 à 0,60 m van het profiel. De oorzaken van de ondiepe beworteling zijn reeds eerder besproken – GOEDEWAAGEN c.s., 1955 –.

De „calculatie-opbrengsten" per ha, indien de plantafstand van de bomen dus juist was gekozen, gaven bij Jonathan op deze profielen geen grote verschillen te zien. De bomen op de ondiepst bewortelde profielen blijven doorgaans kleiner, zodat in het algemeen de opbrengst op de plaatgronden te laag ligt. Wanneer de plantafstand goed nauw wordt gekozen zoals op deze plekken, kan de produktie, zoals op de slechte proefplek 10, toch redelijk zijn. In een flink droog jaar, indien de wortelzone het verwelkingspunt bereikt zoals in 1949 en 1955, kan op deze ondiepe profielen evenwel veel bladval optreden – BUTIJN en VAN 'T LEVEN, 1956 –. De vruchten groeien in zo'n droog jaar ook niet uit, zodat een normale oogst niet kan worden behaald – fig. 30 –. Indien er een uitgesproken droog seizoen geweest was in de reeks van waarnemingsjaren – b.v. zoals in 1947, 1949, 1955 of 1959 – zouden de gemiddelde opbrengsten van de ondiepst bewortelde plaatgronden ook gevoelig lager uitgevallen zijn. In 1950 was er ook een kleinere oogst dan normaal, maar na de zeer droge zomer van 1949 en het vrij droge seizoen van 1950 is dit niet verwonderlijk.

Doordat beurtjaren in het ras Allington Pippin veel sterker optreden dan in Jonathan, is het opbrengstverloop van het eerste ras te onregelmatig om een goede beoordeling van het produktievermogen op de proefplekken te verkrijgen. Dit ras schijnt minder

droogtegevoelig dan Jonathan, dat ook reeds als tamelijk droogte-resistent bekend staat. Indien geen bladverwelking optrad, kon geen groot verschil in de afmetingen van de vruchten op de verschillende proefplekken worden waargenomen – tabel 38 –. Vorengenoemde plaatgrondprofielen zijn dus alle gekenmerkt door het ondiepe voorkomen van de zandondergrond onder de zavelbovengrond. De bovenste 0,40 m van de drie profielen is vrijwel even zwaar, maar in plek 9 komt op 0,90 m in de zandondergrond een zavelbandje voor. Dit brengt een dusdanige verandering in de bewortteling en de waterhuishouding teweeg, dat het profiel nauwelijks onder de plaatgronden gerekend mag worden. Dit geldt ondanks het feit, dat de zandondergrond in deze plek reeds op ruim 0,40 m onder de oppervlakte begint, evenals in proefplek 10. De zavelbovengrond in plek 9a begint op ruim 0,60 m, dus een 20 cm dieper. De sterke onderstam van de Jonathan op plek 10 heeft dit ras behoed voor nog nadeliger gevolgen van de droogte.

De structuur van de bovengrond in deze plekken is redelijk, het poriënvolume en het humusgehalte zijn echter niet groot. De zandondergrond bezit een vrij vaste pakking; het poriënvolume in het zand ligt nauwelijks boven 40 %. Het vochtbergend vermogen van het doorwortelde deel van het profiel is niet hoog; slechts 10–12 gewichtsprocenten. Dit feit, gecombineerd met de geringe bewortelingsdiepte, verklaart grotendeels de ongunstige reactie van de bomen in droge jaren.

De chemische toestand van de plekken is gunstig, uitgezonderd de hoge kalitoestand van de bovengrond.

De waterhuishouding in alle profielen is gekenmerkt door een goede vochttoestand in het voorjaar. Voordat het groeiseizoen van de scheuten evenwel verlopen is, kan het vochtgehalte gevoelig zijn gedaald, behalve in proefplek 9. In het laatst van het seizoen, bij de groei van de vruchten, kan de vochttoestand in plek 10 en in mindere mate ook in plek 9a, tot te lage waarden teruglopen, zoals in 1955 bleek – BUTIJN en VAN 't LEVEN, 1956 –. Deze toestand is ook te danken aan de grondwaterstand; in maart is deze in plek 9 ruim 0,50 m, in plek 9a ruim 1,00 m en in plek 10 ruim 1,10 m onder het maaiveld. Aan het eind van het seizoen, in oktober, zijn deze grondwaterstanden evenwel gedaald tot resp. ruim 1,40, 1,50 en 1,60 m onder maaiveld. De lage vochtgehalten, die 's zomers voorkomen in de zandlaag onder het zavelbovendek, tonen wel aan, dat bij grondwaterstanden dieper dan 0,50 m onder de zavellaag het capillair contact tussen grondwater en wortelzone nagenoeg verbroken is. Slechts gedurende de eerste maanden van het seizoen kan in de plekken 9a en 10 het grondwater meewerken aan de vochtvoorziening van de wortelzone. Het radiculair vochtpercentage en het percentage vocht in de wortelzone liepen in juli in alle profielen af en toe tot 40 % terug. De besproeiing op plek 10, in 1953 en volgende jaren, zorgde hier na juni voor hogere vochtgehalten dan in plek 9a. Onder natuurlijke omstandigheden zou dit niet het geval zijn geweest. In de plekken 9 en 9a en in de controle plek (niet beregend) bij plek 10, daalde de vochttoestand na juni soms nog sterk. In augustus 1949 en 1955 werd op plek 10 het verwelkingspunt bereikt. Op plek 9 werd dit punt nooit bereikt, hoewel de bovengrond daar ook sterk uit kan drogen, veelal nog sterker dan in de andere plekken. Het radiculair percentage vocht in de nazomer bleef in plek 9 meestal het hoogst. De vochtspanningen waren volgens de tensimeter het hoogst in

plek 10. Vóór juli werden op de plekken 9 en 9a, in de lagen dieper dan 20 cm geen pF-waarden hoger dan 2,2 aangetroffen. In plek 10 werd deze waarde vaker overtroffen. Na juni werden speciaal in plek 10 soms lage vochtgehalten gevonden. Dit hindert niet indien een gedeelte van het doorwortelde profiel tegelijker tijd een hoger vochtgehalte vertoont, zoals in plek 9. Het geeft echter nadelige gevolgen als een groot deel van de wortelzone een zeer laag vochtgehalte bezit, zoals in plek 10.

De stoofperenaanplant op de plekken 23, 24 en 25 is ook reeds beschreven door DE BAKKER, 1950, onder: „de slechte plek in boomgaard 5". Het betreft een perenaanplant, die op enigszins verschillende plaatgronden is gelegen – zie ook fig. V en VI –. Plek 23 ligt op een vrij redelijk, maar nog te dun profiel, met 0,60 m zavel op zand. Plek 24 vertoont in het profiel een zandlaag op 0,60–0,80 m diepte, die daarna weer door een zavellaag van 20 cm dikte wordt gevolgd.
Plek 25 ligt op het meest ongunstige profiel, met een bovendek van nauwelijks 0,50 m zavel gevolgd door zand.
De afmetingen van de bomen lopen sterk uiteen. De kroondoorsnede van de bomen op de meest gunstige plek is ruim 2 m groter; het hoogteverschil is ca. 2,50 m. Behalve enige bladverbranding door bespuiting in droge jaren, was de bladstand goed.
Door de sterke zaailingonderstam, die voor de dichte beworteling van de grond verantwoordelijk is, zijn de bomen blijkbaar behoed voor verwelking in droge zomers. Bomen op zwakkere onderstammen in de omgeving, vertoonden dan wel symptomen van vochttekort. De behaalde werkelijke opbrengsten per ha liepen geheel parallel met de boomafmetingen en bewortelingsdiepte. De percentages wortels dieper dan 0,60 m waren in de plekken 23, 24 en 25 resp.: 16, 18 (voornamelijk in de zavellaag van 0,80–1,00 m diep) en 8 %, terwijl de „werkelijke opbrengsten" 45, 54 en 33 ton per ha bedroegen. Wanneer echter de „calculatie-opbrengsten" per ha worden berekend, blijkt de hoge „werkelijke" produktie op plek 24 veroorzaakt te zijn doordat de bomen ruimte van de buurbomen besloegen en dus eigenlijk een veel lagere produktie per ha opleveren. De „calculatie-opbrengsten" bedroegen 52, 40 en 46 ton per ha. Door de nauwe beplanting op plek 24 geeft de hoge produktie per boom een misleidende indruk van de produktie per ha. Hoe de produktie bij een juiste plantafstand geweest zou zijn viel niet nauwkeurig te berekenen. Naarmate de aanplant dichter is wordt de berekening van de „calculatie-opbrengsten" uit de „werkelijke" opbrengsten meer speculatief. Het is inmiddels wel duidelijk, dat indien op een soortgelijk perceel als waarop de proefplekken zich bevonden, de juiste plantafstand voor ieder profiel gekozen zou kunnen worden, de produktie per oppervlakte-eenheid van plek tot plek minder verschil zou vertonen. Bij de praktische uitvoering ontmoet een gevarieerde plantafstand over een korte afstand bij de fruitteler evenwel zoveel bezwaren, dat aan deze verschillende eisen aan de plantafstand maar ten dele voldaan zal kunnen worden. Daardoor zullen de slechte plekken doorgaans te wijd en de goede plekken te dicht beplant worden.
Aan de beperkte invloed die droogteperioden op de bomen uitoefenden, hebben naast de sterke onderstammen zeker ook het grote poriënvolume en het betrekkelijk grote percentage beschikbaar vocht (14 tot 17 gewichtsprocenten) in de wortelzone meege-

werkt. Alleen in de slechtste plek (25) daalt het poriënvolume in de wortelzone gevoelig onder de 50%. Ook het humusgehalte van de wortelzone in deze plek is zeer laag, namelijk 1,35%, terwijl in de andere plekken het gemiddelde humusgehalte in de laag 0-40 cm nog 1,8% is.
De grondwaterstand in deze plekken wordt enigszins beïnvloed door een diepe sloot, die dichtbij plek 23 in het voorjaar het water wegtrekt. De jaarlijkse gang van het grondwater voltrekt zich van maart - oktober op plek 23 van ca 1,45 m tot 1,80/2,00 m onder het maaiveld, op plek 24 van 1,10/1,20 tot 1,40/1,80 m onder het maaiveld en op plek 25 van 1,20/1,30 tot 1,50/1,70 m onder maaiveld. De daling van de grondwaterstand is dus het geringst bij het slechtste profiel. Toch heeft de dalende grondwaterstand weinig invloed op de slechte ondiepe profielen. Ook bij deze plekken raakt een goede capillaire watertoevoer uit het grondwater vroeg in het seizoen verstoord; namelijk indien de grondwaterspiegel meer dan ca 0,50 m onder de wortelzone (onder de zavellaag) daalt. Beide ondiepe profielen – 24 en 25 – zijn als droogtegevoelig te kenschetsen. De pF volgens de tensimeteropstelling in plek 24 was meermalen hoger dan 2,3 voor het einde van de periode met scheutgroei. Zoals in 2.2.1.3. is opgemerkt, zal de vochtspanning afgeleid met de apparatuur van DONATH, dan nog aanmerkelijk hoger liggen. Deze matige vochttoestand wordt ook weerspiegeld in de vrij lage radiculaire percentages vocht en percentages vocht in de voedingszone tijdens het groeiseizoen. Deze lagere vochtgehalten worden ook vroeger in het seizoen bereikt, vergeleken met b.v. plek 28, zodat ze hier de scheutgroei meer zullen schaden.

Het is intussen aannemelijk, dat de vochttoestand tijdens het onderzoek geen goede afspiegeling was van de toestand tijdens de jeugd van de bomen. Tijdens ons onderzoek daalde in plek 25, begroeid met de kleinste bomen, de vochttoestand in de zomer iets minder dan in plek 23, begroeid met grotere bomen. De bomen met de ondiepere beworteling in plek 25 zullen in de jeugd ongetwijfeld meer nadeel ondervonden hebben van de grotere schommelingen in de vochttoestand, dan de bomen op plek 23. Indien deze groeiremming door de droge grond ieder jaar in de jeugd voorkomt, zullen de bomen deze achterstand ook nimmer inhalen en ook uiteindelijk kleiner blijven.

De vochttoestand op plek 23 met de diepe beworteling bleek verreweg het beste. Het radiculair percentage vocht daalde in deze plek niet beneden 70%, het percentage vocht in de voedingszone niet beneden 60%.
Het volume lucht liet in de wortelzone van deze plekken in het groeiseizoen te wensen over. In het groeiseizoen was het in de wortelzone steeds hoger dan 15 volume procenten. In plek 25 lag het soms wat hoger dan in de andere plekken, maar doorgaans wordt het daar gedrukt door de lage poriënvolumina. Het koolzuurgehalte van de bodemlucht op 0,20 m en 0,50 m diepte liep in 1954 pas na het groeiseizoen op, tot waarden van meer dan 2%. Dit lijkt niet van grote invloed.

[42] *Verjongde poelgronden met hoge grondwaterstand, beplant met de appel Zoete Ermgaard; de proefplekken 1 en 2*

De boomgaard, waarin deze proefplekken zijn gekozen, ligt in een laag gebied, waarin hoge tot zeer hoge grondwaterstanden voorkomen – fig. VII en VIII –. Hoewel de bomen van deze aanplant geen grote hoogte bereiken, kan de algemene toestand niet ongunstig genoemd worden. Enkele lagere plekken in het terrein, vormen een uit-

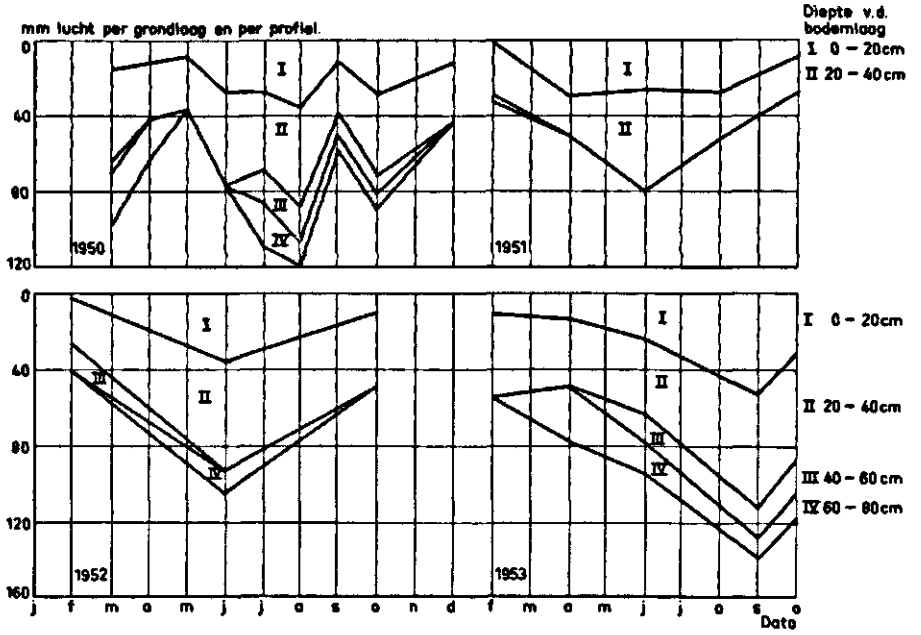


FIG. 52. Luchtladder van proefplek no. 1.

FIG. 52. *Air ladder of observation plot Nr. 1.*
Ordinate: mm of air in the soil layers indicated.

zondering. Op deze plekken zijn, hoogstwaarschijnlijk door wateroverlast, enkele appelbomen afgestorven. Meer verspreid, niet in doorlopende rijen, staan in deze boomgaard appelrassen die gevoeliger zijn voor wateroverlast dan de Zoete Ermgaard, zoals Schone van Boskoop en Transparent de Croncels e.a. Deze rassen maken een redelijke indruk, hoewel de bomen niet hoog genoemd kunnen worden. Minder gevoelige fruitgewassen als peer en pruim zijn eveneens aanwezig.

De rij struikvorm Zoete Ermgaard, waarin de proefplekken zijn gelegen, heeft ook enkele uitgevallen bomen in een kleine inzinking van het terrein op 40 m afstand van plek 1. Blijkbaar kan de beplanting niet veel hogere grondwaterstanden verdragen, dan in de beschreven plekken voorkomt. De ontwikkeling en bladstand van de bomen op de proefplekken was goed. Een boom op plek 1 vertoonde een enkele tak met enige symptomen van zinkgebrek, maar dit leek van weinig betekenis.

De behaalde opbrengst, van resp. 15 en 18 ton per ha op plek 1 en plek 2, is bevredigend voor dit ras en zou bij een nauwere plantafstand tot ruim 20 ton per ha op te voeren zijn. Het is duidelijk, dat de grootste bomen op plek 2 ook hier weer de grootste werkelijke opbrengst per ha opleveren, maar bij een juiste plantafstand, zou plek 1 praktisch dezelfde opbrengst kunnen opleveren als plek 2. De grootte van de vruchten gaf geen verschillen te zien – tabel 38 –. De bewortelingsdiepte, beperkt door de hoge grondwaterstand, blijkt zeer ondiep in plek 1 (slechts 13 % van de dunne wortels komt dieper voor dan 0,40 m) en vrij ondiep in plek 2 (slechts 12 % van de dunne wortels komt dieper voor dan 0,60 m).

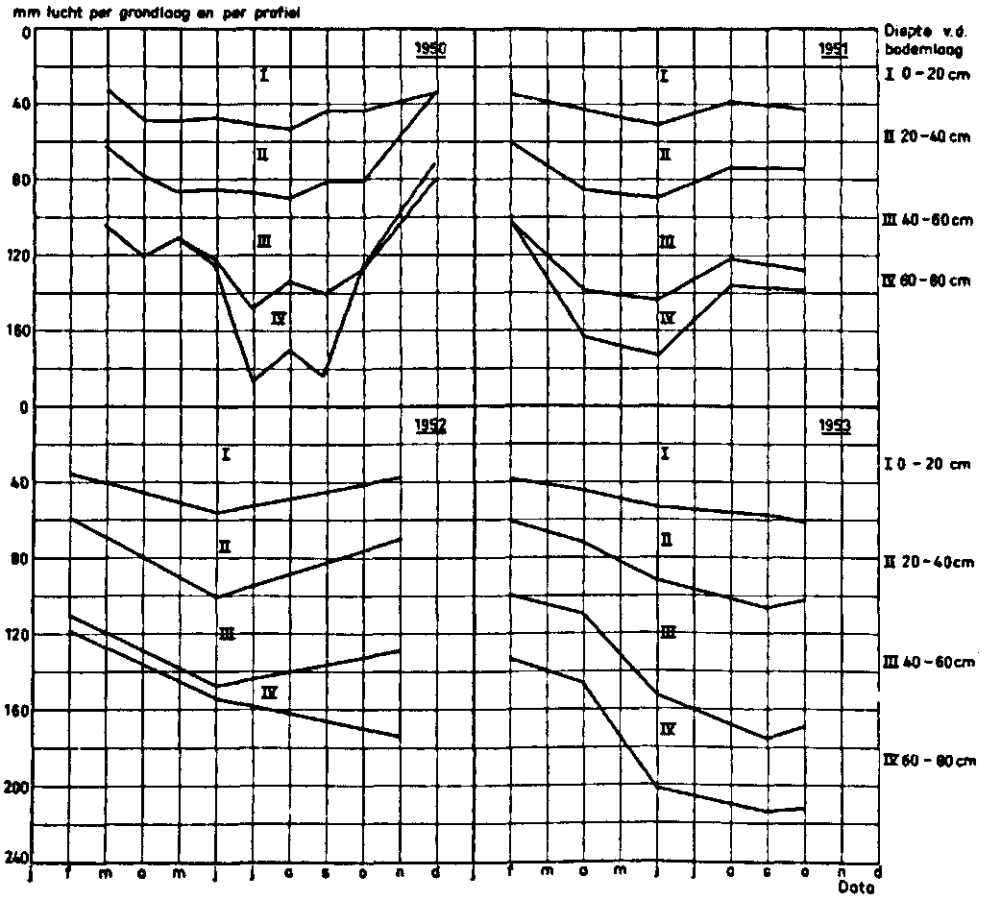


FIG. 53. Luchtladder van proefplek no. 2.

FIG. 53. *Ibidem fig. 52, plot 2.*

Waarschijnlijk doordat dit perceel vroeger grasland is geweest, kan de fysische toestand van de wortelzones in deze profielen goed genoemd worden. Het is aannemelijk dat, door het hoge kalkgehalte in de bovengrond van plek 1, het poriënvolume daar nog iets hoger ligt dan in plek 2.

Poriënvolumina van iets minder dan 50 % tot meer dan 55 % moeten gunstig genoemd worden. [1]. Daar het grondwater hier het meeste vocht levert voor de plantengroei is de exacte bepaling van het vochtbergend vermogen niet van grote betekenis. Het veen onder de wortelzone blijkt nog een hoeveelheid chloor naar de hoger gelegen grondlagen af te geven. Naast de hoge grondwaterstand kan ook het chloor de beworteling in de laag 0,40 – 0,60 m van plek 1 beperkt hebben, maar een grote invloed van chloor

[1] Het vochtbergend vermogen van deze profielen is niet bepaald, omdat de veldcapaciteit uit de periodieke vochtbepalingen niet bepaald kon worden door de hoge grondwaterstanden in de winter.

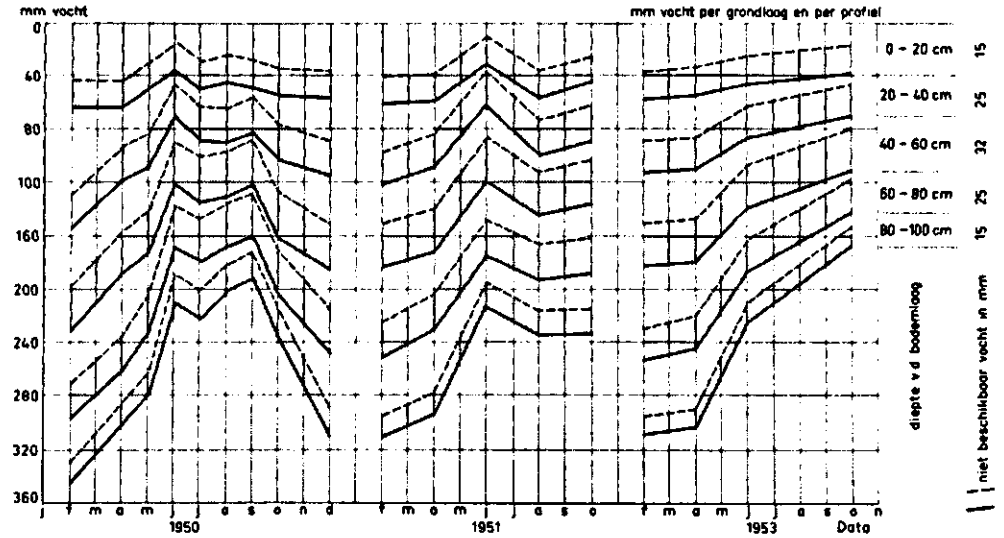


FIG. 54. Vochtladder van proefplek no. 5.

FIG. 54. *Moisture ladder of plot Nr. 5.*
Ordinate: mm of water in the soil layers indicated.
The „rungs" of the ladder contain the unavailable moisture (= niet beschikbaar vocht).

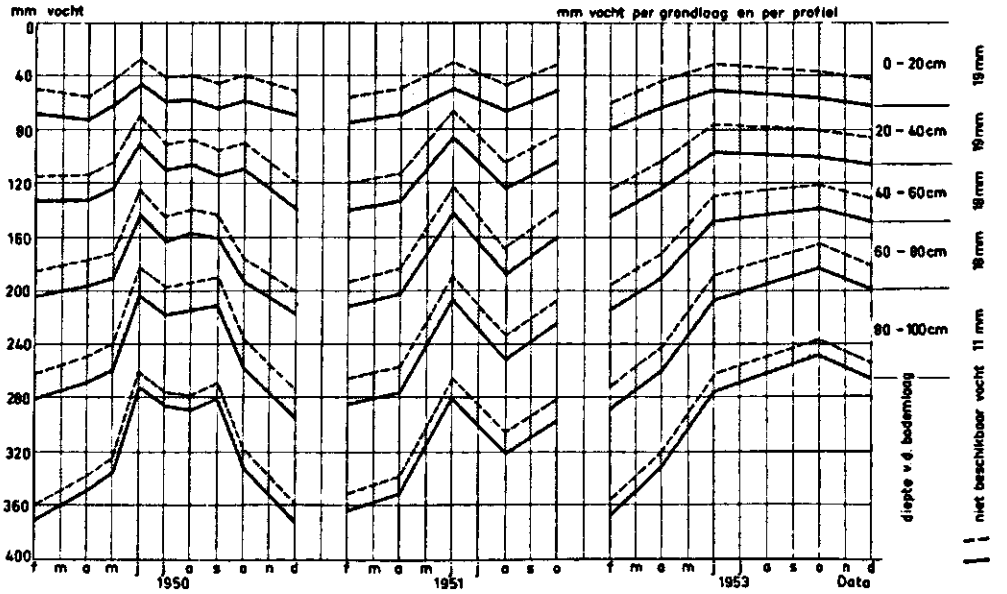


FIG. 55. Vochtladder van proefplek no. 6.

FIG. 55. *Ibidem fig. 54. plot 6.*

is niet aannemelijk. Ook in droge zomers was geen spoor van chloorbeschadiging aan de vruchtbomen waar te nemen.

De hoge grondwaterstanden zijn kenmerkend voor deze plekken. Begin maart is de gemiddelde grondwaterstand ruim 0,40 m onder het maaiveld. In de zomer daalt ze tot 0,70 – 0,90 m in plek 1, of tot 0,70 – 0,80 m in plek 2. Door het hogere vochtgehalte van het profiel begint de stijging van het grondwaterpeil hier weer vroeg in het najaar; meestal stijgt deze reeds in september, terwijl dieper ontwaterde fruitpercelen pas een stijging in oktober of november te zien geven.

Het volume lucht wordt in de lagen dieper dan 0,40 m pas na juni van enige (al is het van geringe) betekenis in plek 1 – fig. 52 en 53 –. Voordien is er vrijwel geen lucht aanwezig, zodat ook weinig wortels in deze lagen verwacht kunnen worden. In plek 2 komt soms vóór juli nog wel een betekenende hoeveelheid lucht in de laag van 0,60 – 0,80 m voor. In natte jaren is deze hoeveelheid echter zeer gering. De spaarzame beworteling in de lagen dieper dan 0,60 m is dus verklaarbaar. Het volume lucht in de bovenste grondlagen was door de goede structuur niet onbevredigend; volume percentages lager dan 10 kwamen in het groeiseizoen zelden voor. Zowel het radiculair gemiddelde vochtgehalte als het gemiddelde vochtgehalte in de voedingszone geven de hoge vochtigheid van deze profielen goed aan. In de wortelzone daalt het radiculair gemiddelde vochtgehalte in plek 1 niet onder 80 %, in plek 2 niet onder 90 % in het groeiseizoen. Het gemiddelde percentage beschikbaar vocht in de voedingszone daalde in deze periode niet beneden 80 % in beide plekken.

De hoge gemiddelde percentages beschikbaar vocht in het voorjaar laten ook zien, dat de groei van de bomen in deze natte gronden pas laat in het seizoen onder optimale omstandigheden plaatsvindt – vergelijk de vochttrappenproef uit 2.1.1.4. [17] –. In plek 1 komen, ook in normale jaren, midden mei nog percentages vocht in de voedingszone voor, van ruim 100 %. Doordat een natte grond in het voorjaar ook langer koud blijft, wordt het groeiseizoen in deze proefplekken dus aanmerkelijk bekort. Dit is een van de oorzaken van de kleinere afmetingen van de bomen.

[43] *Lichte kreekruggrondprofielen met diepe en ondiepe grondwaterstanden, beplant met de appel Schone van Boskoop; de proefplekken 4, 5 en 6*

Door zandwinning uit een hoog gelegen kreekrugprofiel werden binnen eenzelfde appelperceel twee bodemprofielen met sterk uiteenlopende grondwaterstanden verkregen. Na het uitgraven van het diep gelegen zand is de 0,80 m dikke zavelige bovengrond van het oorspronkelijke profiel op plek 5, namelijk weer teruggezet op een zelfde soort zandondergrond als eerst aanwezig was. Hierdoor konden twee bijna vergelijkbare profielen vergeleken worden met een grondwaterstandsverschil van bijna 1,00 m, – fig. IX en X, 54 t/m 57 –.

De bomen op het hooggelegen niet vergraven profiel, waarop plek 4 is gelegen, bereikten slechts een matige hoogte en kroondoorsnee. In de „zandput" – plek 5 – daarentegen werden de grootste bomen aangetroffen. In het onvergraven profiel werd plaatselijk een licht storende kalkarme kleilaag in de wortelzone aangetroffen – plek 6–. Daar deze storende band in plek 4 niet dik is, wordt zijn invloed niet van groot belang geacht op de afmetingen en de beworteling van de bomen en op de waterhuishouding

FIG. 56. Schone van Boskoop/Z op een ontzand lichtzavelig kreekrugprofiel (proefplek 5); goede grondwaterstand. Opname augustus 1949..

FIG. 56. *Plot Nr. 5 in the dry month of august 1949.*
Schone v. Boskoop on a moist sandy silt loam with a good water table.

van het profiel. De boomafmetingen van de Schone van Boskoop op plek 4 konden niet nagegaan worden, omdat het ras daar niet aanwezig was. Op een iets afwijkende plek met een lichte profielstoring beneden de wortelzone, op 0,80 – 1,00 m diepte, konden wel afmetingen van vergelijkbare Schone van Boskoop bepaald worden. Het bleek, dat deze bomen wat groter waren dan de bomen op het meest gestoorde profiel (plek 6).

Zowel het verschil in hoogte als het verschil in kroondoorsnede was ongeveer 1½ m op een totale hoogte van 4,50 m en een kroondoorsnede van een kleine 7 m van de bomen op het droogste profiel. De verschillen in de werkelijke opbrengsten per ha waren dan ook aanzienlijk. Op plek 5 werd 78 ton per ha geoogst, op plek 6, 53 ton per ha. Daar de beplanting veel te dicht is in de zandput, komt de „calculatie opbrengst" op 27½ ton per ha. De calculatie opbrengst op plek 6 (waarschijnlijk ook op plek 4) van de Schone van Boskoop ligt echter ook op 27½ ton per ha. Ook hier blijkt op droogtegevoelige grond bij een goede plantafstand de opbrengst per ha op peil te kunnen zijn. Alleen in zeer droge zomers zoals in 1949, verminderde de opbrengst zichtbaar op de hoge profielen. Het verwelkingspunt van de grond werd dan benaderd, getuige het iets flauw hangende en soms gele blad (fig. 56 en 57). Aan de tussengeplante peren waren de gevolgen van de droogte in 1949 veel beter waar te nemen dan aan de appelbomen.

FIG. 57. Schone van Boskoop/Z op een lichtzavelig kreekrug profiel met een storende kleibank (proefplek 6); diepe grondwaterstand. Opname augustus 1949.

FIG. 57. *Plot Nr. 6, in the dry month of august 1949. Schone van Boskoop/S on a comparable soil profile as in fig. 56 but with a clay horizon at 40-60 cm and with a deep groundwater level.*

Hoewel het diep licht zavelige profiel in de plekken 4 en 6 een diepe beworteling doet verwachten, blijkt de wortelzone zich toch tot 0,80 m diepte te beperken. Dieper worden slechts resp. 11 en 4 % van de fijne wortels aangetroffen. Het zand op 0,80 m diepte in plek 5 beperkte de beworteling tot 0,80 m. In de storende kalkarme kleilaag van plek 6 is de beworteling tamelijk ijl.

De structuur van de grond in deze profielen is redelijk. Het poriënvolume evenals het humusgehalte is echter niet hoog. Doordat de grondwaterschommeling zich diep in het profiel afspeelt, is het poriënvolume van de ondergrond in de hoge proefplekken 4 en 6 groter.

Behalve in plek 5, „de zandput", is de bovengrond zeer rijk aan kali; met het oog op magnesiumgebrek te rijk. Ook het fosforgehalte van de grond is gevaarlijk hoog. Toch werden geen gebrekssymptomen aan de vruchtbomen waargenomen. Het vochtbergend vermogen van deze grond is gunstig, in de meeste grondlagen wordt omstreeks 15 gewichtsprocenten beschikbaar vocht gevonden. Alleen in de storende kalkarme kleilaag van plek 6 is het vochtbergend vermogen veel te laag; n.l. slechts 10 % beschikbaar vocht.

De grondwaterstanden zijn diep voor een zeekleigebied. De zomerdaling van de grondwaterspiegel loopt in de plekken 4, 5 en 6 van resp. 1,70, 0,80 en 1,80 m in maart,

tot resp. 2,30, 1,50 en 2,40 m in september en oktober. Alleen in plek 5 is er in de winter een directe invloed van het grondwater op de wortelzone. Het volume lucht is dan ook geen beperkende factor voor de wortelgroei in deze profielen.
Het radiculair percentage vocht kan sterk teruglopen in het seizoen van de scheutgroei. In plek 5 daalde dit cijfer niet beneden 50 %, in plek 4 soms tot ca 30 % en in plek 6 tot ca 35 %, voordat de maand juli was aangebroken. Ook het percentage vocht in de voedingszone toont duidelijk de droogte-gevoeligheid van de hoge profielen. In een behoorlijk droge tijd daalde dit gehalte in de plekken 4 en 6 tot bijna 10 %, maar bleef in plek 5 nog altijd ruim 40 %, voor de maand juli aanbrak. In de latere maanden werden, in de jaren waarin de waarnemingen zijn verricht, geen lagere vochttoestanden aangetroffen. Een goede indruk van de vochttoestand in de plekken 5 en 6 geven de „vochtladders", – zie fig. 54 en 55 –. Het is dus denkbaar, dat de scheutgroei op de hoge plekken in de jeugd van de bomen in verscheidene jaren beperkt werd door vochttekort. Dit was blijkbaar de oorzaak van de kleinere afmeting van de bomen op volwassen leeftijd. Bij een juiste plantafstand behoeft dit evenwel niet te leiden tot een aanzienlijk lagere opbrengst aan fruit van de beplanting op volwassen leeftijd. Ook door verschillende bodembehandelingsmaatregelen zou de opbrengst per boom op een hoger peil gebracht kunnen worden en daarmee de kosten per ha verlaagd. Verhoging van het grondwaterpeil of beregening van de plekken 4 en 6 en diepploegen van plek 6 zal het fruitgewas in staat stellen een opbrengst op te leveren, zoals in plek 5, de „zandput", is behaald.

[44] 2.2.1.5. *Korte beschrijving van de toestand op een aantal proefplekken in boomgaard en in bouwland*

Als aanvulling op de voorgaande uitvoerige beschrijving van de toestand op een serie proefplekken, volgt hierna een korte weergave van de toestand op een aantal andere proefplekken. Het beeld, dat op deze plekken is verkregen, versterkt de indrukken die in het voorgaande zijn verkregen. De voornaamste gegevens van deze serie proefplekken zijn opgenomen in de tabellen 41 en 42.
De produktieve perenaanplant op proefplek 16, met een vrij zwaar profiel, bezit een goede vochttoestand in de wortelzone. Dit is voornamelijk te danken aan de goede beworteling, die zich tot 0,80 m uitstrekt. Deze is het gevolg van een gunstig bodemprofiel en de grondwaterstand. De grondwaterspiegel daalt in het groeiseizoen van 0,60 à 0,70 m tot 1,00 à 1,20 m onder het maaiveld. De luchttoestand in het groeiseizoen is ook nog gunstig te noemen, aangezien meer dan 10 % lucht in de wortelzone aanwezig is. De gegevens van deze plek geven de toestand op een zwaardere grond weer, met een hoger grondwaterpeil dan bij plek 18.
Bij de proefplekken 19 en 20, in eenzelfde perenperceel gelegen, valt het eveneens op dat (zoals bij de plekken 9 - 10 en 23 - 25) op een diep ontwaterde plaatgrond de opbrengsten van een nauwgeplant perceel nog redelijk kunnen zijn. Deze opbrengst op het plaatgrond-profiel is nog bijna 70 % van de opbrengst op een goed schorgrondprofiel. In zeer droge zomers is het verschil veel groter. De bovengrond in de plaatgrond droogt ook hier sterker uit dan in de schorgrond. Later in het seizoen, tegen de rijping van het fruit, is het gehele profiel in de schorgrond niet zelden droger dan in de

plaatgrond. De grotere en relatief nauwer staande bomen op de schorgrond zijn hiervan de oorzaak. Het verschil in grootte van de bomen zal ook hier aan de grotere uitdroging van de bovengrond in de plaatgrond toegeschreven moeten worden.
De slechtere groei op proefplek 21 ten opzichte van plek 22, beide gelegen in eenzelfde appelperceel, lijkt maar gedeeltelijk te verklaren uit het verschil in de vochthuishouding. Het verschil in het percentage beschikbaar vocht in de wortelzone is 10 à 20 %. *Volgens de tensimeter-aanwijzingen overschreed de vochtspanning in plek 21 voor* juli evenwel nooit een waarde van pF = 2,6, maar in plek 22 liep de pF wel op tot waarden hoger dan 2,8. Het lichtere zavelprofiel van plek 21 is niet veel ondieper doorworteld dan het zavelprofiel van plek 22. Het magnesiumgebrek en de meer slempige bovengrond leidden ons inziens in de eerste plaats tot het achterblijven in groei op plek 21.
Een slechtere plek in een kersenaanplanting op kreekgrond, bleek het gevolg te zijn van een plaatselijk ondieper doorwortelbaar profiel. De bomen hierop, op plek 7, waren kleiner dan op het dieper doorwortelbare profiel 8. De vochthuishouding op plek 7 was ongunstiger dan op plek 8.
Een vergelijkbare toestand komt voor op de proefplekken 12 en 13 in een appelboomgaard. Plek 12 ligt op een vrij dunne plaatgrond, plek 13 op een schorgrond-profiel. Het verschil in de vochttoestand vóór juli in deze profielen is aantoonbaar, maar het is niet groot. Na het groeiseizoen, tijdens de maand augustus, putten de grote bomen op plek 13 de grond veel sterker uit dan de kleine bomen op plek 12. De appelbomen zijn aanmerkelijk kleiner op de plaatgrond. Het verschil in produktie kan klein zijn bij een aangepaste plantafstand, maar in werkelijkheid bedroeg het 20 %. Alleen in zeer droge jaren komen grote verschillen voor in de produktie. Dit is het geval wanneer het blad gaat verwelken in droge perioden – fig. 58 en 59 –. De beworteling blijft ook hier strikt beperkt tot de zavellagen.
Plek 11 geeft een voorbeeld van een hoogstamboomgaard beplant met de appel Schone van Boskoop. De bomen verkregen slechts een matige ontwikkeling – vergelijk de kroondoorsnede op plek 28 –. Deze beperkte ontwikkeling is in overeenstemming met de lage radiculair gemiddelde percentages vocht en percentages beschikbaar vocht in de voedingszone. In droge zomers verwelkten de bomen.
De situatie op de plekken 7, 8, 11, 12 en 13 vertoont dus veelal overeenkomst met de toestand op de uitvoeriger behandelde plekken 28 en 29, 9-10 en 23-25.
Een beschouwing van de toestand op de plekken 14 en 15, uit een perenaanplant, leidde tot de conclusie, dat – zoals bij de plekken 1 en 2 – een zeer hoge grondwaterstand in de winter en een hoge grondwaterstand in de zomer wel de afmetingen van de bomen beperkten, maar geen beschadiging van het gewas gaven. In het lage kreekbeddingsprofiel van plek 15 kwamen in de winter vaak grondwaterstanden voor, die haast tot aan het maaiveld reikten, terwijl in plek 14 de grondwaterstand in die periode niet vaak hoger dan tot 0,50 m onder het maaiveld steeg. De invloed van de hoge grondwaterstanden in de zomer, is in de plek 15 goed merkbaar; dieper dan 0,60 m worden geen wortels aangetroffen, terwijl op plek 14 nog 4 % van de fijne wortels dieper dan 0,80 m voorkomen. De zomergrondwaterstand in plek 14 daalt ca 0,60 m dieper (tot ca 1,40 m) dan in plek 15. De luchttoestand in plek 14 was goed, maar in de

FIG. 58. Ellison's Orange/M II op een droogtegevoelige plaatgrond (bij proefplek 12). Opname augustus 1949.

FIG. 58. *Plot Nr. 12 in the dry month of august 1949.*
Ellison's O/M II on a dry „plaat soil", consisting of ca 40 cm of silt loam underlain by rather coarse sand. Shallow rooted tree.

bodemlagen van plek 15 kwam dieper dan 0,60 m slechts zelden meer dan 10 % lucht voor.
Een vergelijking van de afmetingen van de appelbomen op de plekken 67 en 68 met de vochttoestand van de bodem, leidt tot de conclusie, dat bij eenzelfde bewortelingsdiepte, een verschil van 20 % (radiculair gemiddeld) beschikbaar vocht in de eerste helft van het seizoen op den duur toch aanleiding geeft tot een aanzienlijk verschil in de boomafmetingen.

Een vergelijking van de situatie in de akkerbouw met de toestand in de fruitteelt kan van belang zijn voor de voorspelling van de groei van fruit op gronden die bij de akkerbouw in gebruik zijn. Ook voor de coördinatie van maatregelen voor de akkerbouw en de fruitteelt, b.v. die op het gebied van het polderbeheer, kan de kennis van de toestand in de akkerbouw van betekenis blijken te zijn. Daarom worden enkele voorbeelden gegeven van de vochttoestand op plaat- en schorgronden, beteeld met akkerbouwgewassen (tabel 42). De produktie van de gewassen is bij eenzelfde verzorging van het gewas en de bodem op schorgrondprofielen meestal hoger dan op plaatgronden.

FIG. 59. Ellison's Orange/M II op een goed schorgrond profiel (bij proefplek 13). Opname augustus 1949.

FIG. 59. *Plot Nr 13. Ibidem fig. 58.*
A good „schorprofile" consisting of 80 cm of silt loam underlain by coarse sand. Rather deep rooted tree.

Diepploegen, waarmee zowel de beworteling als de waterhuishouding in het profiel verbetert, geeft op den duur meestal wat hogere opbrengsten. In de beginperiode, als de bovengrond zich nog niet gezet heeft, geeft vooral het stuiven van het plaatzand veel moeilijkheden. Plek 53, op een gediepploegd perceel, naast het niet gediepploegde perceel waarop plek 54 was gelegen, gaf behalve een diepere beworteling een minder lage vochttoestand in het groeiseizoen en bijgevolg hogere opbrengsten te zien.
In het algemeen komen de grootste verschillen in de vochttoestand van schor- en plaatgrond tot uiting na de maand mei, maar vaak is voordien al een slechtere stand van het gewas waar te nemen. Dit kan veroorzaakt worden doordat de bovengrond in de plaatgrond-profielen meer uitdroogt, vooral als gevolg van de ondiepe beworteling

FIG. 60. De groei van Luzerne op een gedraineerd perceel plaatgrond, dat doorsneden werd door kreekjes, waar een meer slibhoudend profiel ontstond.
Proefplek 51 (een diep slibhoudend kreekprofiel) op de voorgrond,
Proefplek 52 (40 cm zavel op plaatzand) meer op de achtergrond.
De stroken hoger opgegroeide Luzerne staan op het vergraven profiel boven de drains.
Opname augustus 1949.

FIG. 60. *Lucerne growing on a tile drained parcel mainly consisting of „plaat soil" profiles but traversed by former creeks which left better profiles. On the foreground plot Nr. 51 (a deep sandy loam) profile of a former creek; on the background plot Nr. 52 (a shallow sandy loam profile over sand) on the „plaat soil" profile.*
The ridges of higher grown lucerne follow the disurbed soil profile over the tile draines where a deeper root penetration occurs. August 1949.

die in deze profielen voorkomt. Verschillende landbouwgewassen, evenals vruchtbomen, reageren op een droge voedingszone met een beperkte bovengrondse ontwikkeling. In zeer droge jaren en met gewassen die veel vocht verbruiken, kunnen grote verschillen in opbrengst voorkomen. In dit geval geven de gewassen op de plaatgronden een tijdelijke of blijvende verwelking te zien. Op de plaatsen waar drainsleuven zijn gemaakt, staan de gewassen dan veel guller – fig. 60 –. Dit moet in de eerste plaats worden toegeschreven aan een betere watervoorziening, die het gevolg is van een diepere doorworteling en van een meer slibhoudend profiel.
Op profielen waar de akkerbouwgewassen minder goed groeien, gedijt ook het fruit minder goed. Omdat verschillende akkerbouwgewassen hun groeiperiode vroeger beeindigen dan fruit, ontsnapt de akkerbouw vaak grotendeels aan een late droogte-

periode. Anderzijds zijn de jonge akkerbouwgewassen met een nog weinig ontwikkeld wortelstelsel veel gevoeliger voor een droge toestand in de (boven)grond.
Doordat fruitgewassen meerjarig zijn en een blijvend gewas vormen, tonen ze de invloed van jarenlang voortgezette, minder gunstige groeivoorwaarden veel opvallender dan de akkerbouwgewassen, die na een of enkele groeiseizoenen weer verdwijnen, of periodiek worden gemaaid.

[45] 2.2.2. DE INVLOED VAN DE BODEMBEHANDELING OP DE WATER- EN LUCHTHUISHOUDING VAN DE GROND

Nadat in de voorafgaande paragrafen een algemeen beeld is gegeven van de waterhuishouding in zwartgehouden boomgaarden, wordt in deze paragrafen de invloed nagegaan van enkele belangrijke bodembehandelingsmaatregelen, als het bedekken en laten begroeien van de grond. Verder wordt aandacht geschonken aan de gewassen, die worden gebruikt als groenbemesting, of als grasbegroeiing en aan de bedekking met stro.

Door verschillende onderzoekers is melding gemaakt van de vochtconserverende werking van een mulch, een dode bodembedekking. Ook de toename van het beschikbaar vocht onder een mulch is reeds door ANTHONY, 1931, beschreven. Een uitvoerige bespreking van de mulch-effecten, aan de hand van een uitgebreide literatuurstudie, geven JACKS c.s., 1955. De invloed op de vochttoestand van de grond blijkt zeer belangrijk, maar ook de invloed op de temperatuur en op de minerale voeding van de plant kunnen van groot belang zijn. Uit de meer klassieke onderzoekingen op het gebied van het mulch-effect, willen we alleen noemen het werk van RUSSEL, 1939, SHAW en SOUTHWICK, 1936, STEPHENSON en SCHUSTER, 1945.

Het onderzoek van RUSSEL werd uitgevoerd met potten. Het bleek, dat een 4 cm-dikke mulchlaag de evaporatie tot 9 % van de verdamping vanaf vochtige zwarte grond kon reduceren. Indien de zwart gehouden grond opdroogt, wordt het verschil veel kleiner. Een dikkere strobedekking met meer dan 20 ton stro per ha gaf in RUSSEL's proeven geen verdere afneming van de evaporatie. Het onderzoek van SOUTHWICK, STEPHENSON en SCHUSTER werd in boomgaard uitgevoerd. Het toonde grote verschillen aan in het vochtgehalte van de grond onder een mulch en in onbedekte grond.

De uitputting van de vochtvoorraad in de grond door de onderbegroeiing is reeds lange tijd bekend. Veel oudere literatuur op dit gebied geven KEMMER en SCHULZ, 1938. Het nadelige effect van gras werd ook opgemerkt door ANTHONY c.s., 1948. Wanneer men vochtconcurrentie moet vermijden in de eerste helft van het groeiseizoen, zal de begroeiing pas ingezaaid moeten worden in de tweede helft van de zomer. De vochtonttrekking door deze gewassen vindt dan later plaats. Er ontstaan meestal grotere verschillen in het vochtgehalte van de voedingszone tussen zwarte grond en begroeiing, wanneer de begroeiing in de voorzomer is ingezaaid. Dit werd ook door LÖHRKE, 1956, in Oost-Duitsland vastgesteld. Verschillende gewassen zijn bekend door hun sterke vochtopname – zie o.a. BROWNING, 1946 –. Luzerne b.v. wordt mede daarom niet aanbevolen voor jonge aanplantingen op normale of drogere bodemprofielen. Ook door het uitgebreide werk in East Malling – zie b.v. GOODE en WHITE, 1957 – is de invloed van de begroeiing op de vochttoestand aan het licht gebracht. GOODE, 1955a,

nam waar, dat onder vaak gemaaid gras een hoger vochtgehalte in de grond aangetroffen wordt. Dit valt ook te verwachten wegens de ondiepere beworteling die een frequent gemaaide grasmat krijgt – KLAPP, 1951, CRIDER, 1955 –.

De invloed van de grondbewerking op het gemiddelde vochtgehalte van een bodemprofiel bleek meestal niet van grote betekenis. Voornamelijk de bovengrond ondergaat de invloed van deze bewerking. VERHOEVEN, 1953, die zijn waarnemingen in zuidwest-Nederland uitvoerde, kon evenmin een grote invloed van een oppervlakkige grondbewerking vaststellen.

[46] 2.2.2.1. *Beschrijving van de toestand op een aantal proefplekken in Zeeland onder invloed van de bodembehandeling*

De invloed op korte termijn van enkele sterk verschillende bodembehandelingsmaatregelen is nagegaan op een serie kleine proefplekken. De gegevens van deze proefplekken zijn op overeenkomstige wijze verzameld als bij de serie proefplekken, die in het voorafgaande zijn besproken – zie tabel 43 en de fig. XI - XIV –. Daar de meeste behandelingen slechts over een tijd van 3 à 4 jaar zijn uitgevoerd, is de nadruk gelegd op de invloed van de bodembehandeling op de vocht- en luchttoestand van de proefplekken. De ligging van de plekken is aangegeven op fig. 49. Er zijn 4 series van plekken aangelegd, iedere serie – I - VI, 57 - 59, 60 - 62 en 63 - 65 – is gelegen in dezelfde aanplanting, zodat ze, behalve de bodembehandeling, dezelfde fruitteeltkundige verzorging ontvingen.

De volgende systemen van bodembehandeling zijn op de proefplekken in vier verschillende fruitpercelen nagegaan:

1. De grond is blijvend met stro bedekt. De eerste maal wordt een bedekking naar 40 ton droog stro per ha aangebracht. In ieder volgend voorjaar wordt de bedekking aangevuld met 20 ton stro per ha. De strolaag is meestal voldoende dik om een onkruidbestrijding overbodig te maken – de plekken I, 57, 60 en 63 –.
2. De grond wordt gedurende het gehele jaar zwartgehouden. Het aantal grondbewerkingen is zoveel mogelijk beperkt en ze zijn zo ondiep mogelijk uitgevoerd – de plekken II, 58, 61 en 64 –. Op een helft van plek II is een intensievere en soms diepere bewerking uitgevoerd. De diepere bewerking bestond uit spitten i.p.v. schoffelen.
3. De grond blijft gedurende het gehele jaar met gras begroeid. Het uitgezaaide grasmengsel op deze plekken bevat geen grove grassen – de plekken III, 59, 62 en 65 –. Op de helft van plek III is de maaifrequentie opgevoerd van eenmaal per maand, zoals op de overige plekken is uitgevoerd, tot tweemaal per maand. Na juli werd niet meer gemaaid. Soms is ook in een vroegere periode niet gemaaid, als de grasgroei te gering was om een maaibeurt noodzakelijk te maken.
4. De grond wordt met groenbemestingsgewassen beteeld – de plekken IV, V en VI –. Het begin van de groeiperiode van de groenbemesters viel zoveel mogelijk na, of op zijn vroegst samen met het eind van de periode met de grootste scheutgroei van de vruchtbomen. Doorgaans werden eenjarige gewassen geteeld. Na de groeiperiode van de groenbemesting, of na het uitrijden van het gewas, werd door een bewerking de grond onbegroeid gehouden en kreeg slechts een lichte begroeiing met on-

kruiden. Op de plekken V en VI werd aan de grond resp. 20 ton stadscompost en 40 ton stalmest per ha per jaar verstrekt.
Op de plekken I tot VI is de bemesting zodanig uitgevoerd, dat de toevoer van hoofdelementen voor iedere plek dezelfde is. Alleen de met gras begroeide plek III kreeg 100 kg N/ha extra. De plekken op de overige percelen kregen dezelfde bemesting.

De beplanting op de plekken I tot VI was nauw, zodat de ondergrond vrij sterk beschaduwd was. Per proefplek waren 2 perebomen Précoce de Trévoux op zaailing onderstam en 2 bomen op de kweeonderstam als proefbomen aanwezig – zie ook tabel 43 en fig. XI –. Omdat de plekken I en II meer op een met plaatgrond vergelijkbaar bodemtype stonden, waren de bomen daarop minder goed ontwikkeld, dan op de plekken III en IV, die op een goede schorgrond stonden. Wegens het optreden van een zandlaag in een diepere laag van de wortelzone, namen de plekken V en VI een tussenpositie in, tussen I en II enerzijds en III en IV anderzijds. Wegens deze bodemkundige- en beplantingsverschillen, kon de reactie van het gewas op de bodembehandeling niet scherp nagegaan worden. Ook aangaande het effect van de bodembehandeling op de vochttoestand van de grond kon alleen een kwalitatieve indruk worden verkregen.
De vochttoestand van de grond in deze aanplanting was redelijk op de schorgrondprofielen, matig op de met plaatgrond vergelijkbare profielen (veldjes I en II). Het radiculair percentage vocht op deze plekken daalde vrijwel nooit beneden 50 %. Het percentage beschikbaar vocht in de voedingszone daalde in het groeiseizoen soms tot lage waarden (tot 30 %). De grondwaterstand is vrij diep; ze daalt van 0,50 – 1,00 m in maart tot 1,50 – 1,90 m aan het begin van de herfst. Deze lage grondwaterstand is een van de oorzaken van de diepe beworteling in deze profielen. In de goede schorgrondprofielen is nog ca 30 % van de fijne wortels dieper dan 0,80 m aanwezig. De invloed van de bodembehandeling op de beworteling was na drie jaar nog onduidelijk. Uit fig. 61 – vergelijk fig. 62 – blijkt dat er een groot aantal zeer oppervlakkige worteltjes onder het strodek voorkomt. Dit is bij andere bewortelingsopnamen nog duidelijker naar voren gekomen.

De plekken 57 tot 59 zijn beplant met de peer Précoce de Trévoux op de kweeonderstam – zie tabel 43 en fig. XII –. Deze aanplant was amper volgroeid, zodat er nog vrij veel licht op de grond kon vallen. Vergeleken met de voorgaande plekken was de grond hier veel zwaarder. De grondwaterstand was aanmerkelijk hoger. De beworteling van deze bomen was goed, maar niet zeer diep (20 % van de fijne wortels bevond zich dieper dan 0,80 m), hetgeen uit de hoge grondwaterstand verklaard kon worden. De grondwaterstand daalde van 0.40 m in maart tot ca 0.90 m in september en bleef een groot deel van het groeiseizoen in de wortelzone. Enige kwel (van zeewater) naar deze plek, die in een buitenpolder tegen de Zandkreek was gelegen, zal de verklaring kunnen geven voor deze hoge grondwaterstand. Het is zelfs verwonderlijk, dat de beworteling zich nog zo diep uitstrekte, aangezien in het groeiseizoen het volume lucht beneden 0,80 m bijna verwaarloosd kan worden.
Het poriënvolume van dit profiel is vrijwel normaal. Het zal echter, gezien het scheuren van deze zware grond, niet constant zijn. Het volume lucht kan in de droge tijd wel

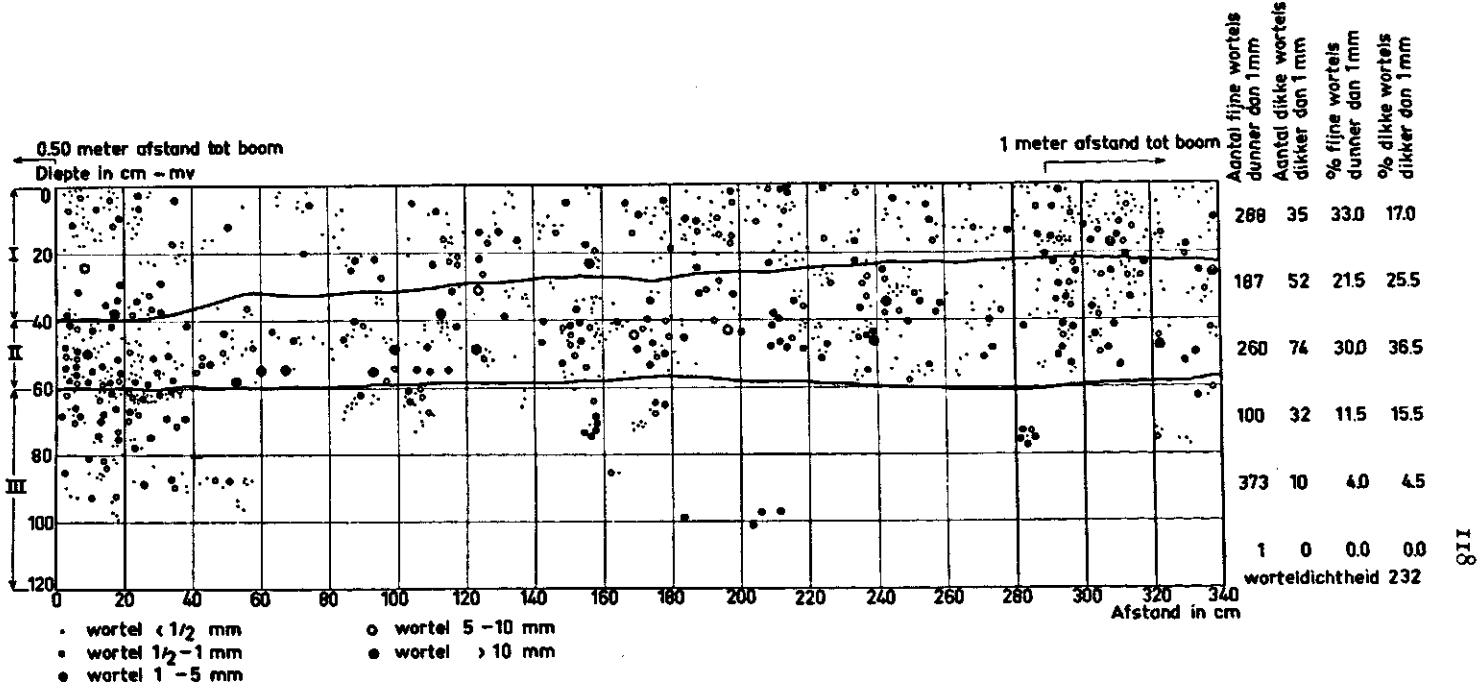


FIG. 61. Beworteling van de peer Précoce de Trévoux op zaailing. Proefplek I. Strobedekking.
I. Donkerbruingrijze zavel, plaatselijk vermengd met stukjes puin en as.
II. Lichtgrijze lichte zavel, vermengd met donkergrijze zavel. Plaatselijk vrij veel lichtbruine roest.
III. Lichtgrijs zand, enkele dunne slibbandjes.
Beneden 1 meter geen slibbandjes; weinig wormen.
N.B. Links en rechts van de profielkuil, waarop deze afbeelding betrekking heeft, bevindt zich een boom Précoce de Trévoux/Z.

FIG. 61. *Root system of the pear Précoce de Trévoux/S in straw mulched plot Nr I as it can be observed in a soil profile starting at a distance of 50 cm from the trunk (left) and extending in a radial direction. At a distance of 1 m from the right of the profile occurs another Précoce tree (of this tree also roots are present in this figure).*
At the left under fig. 61 root diameter.
At the right side of figure number of roots < 1 mm, number of roots > 1 mm, percentage of roots < 1 mm, percentage of roots > 1 mm.
Worteldichtheid = rooting intensity.
Compare with fig. XI.

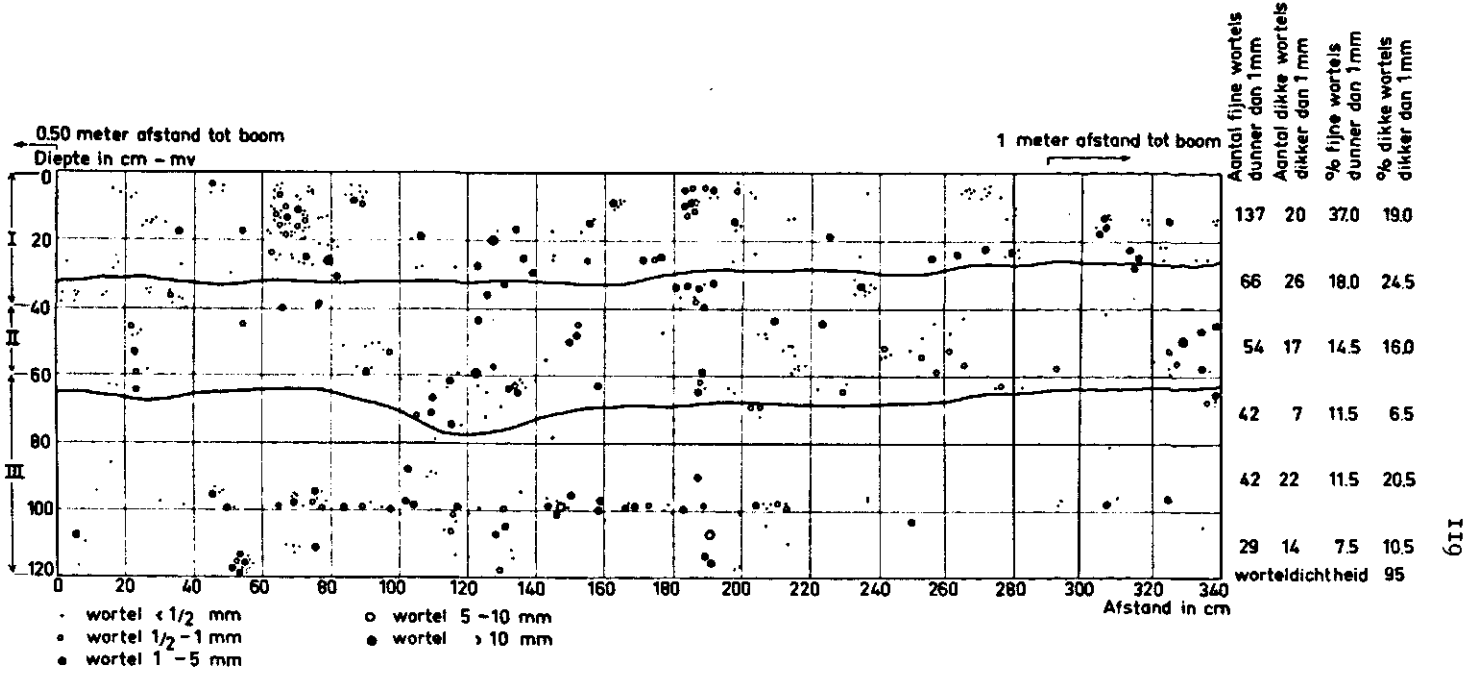


FIG. 62. Beworteling van de peer Précoce de Trévoux op Zaailing. Proefplek III. Grasbegroeiing.
I. Donkergrijze zavel.
II. Lichtgrijze lichte zavel, plaatselijk vermengd met donkergrijze zavel.
III. Fijn lichtgrijs zand, met enige bruine roest; op ongeveer 100 cm een slibbandje van plm. 10 cm dikte. Weinig wormen.
N.B. Links en rechts van de profielkuil, waarop deze afbeelding betrekking heeft, bevindt zich een boom Précoce de Trévoux/Z.

FIG. 62. *Ibidem fig. 61. Plot Nr. III permanent sward, frequently mown.*

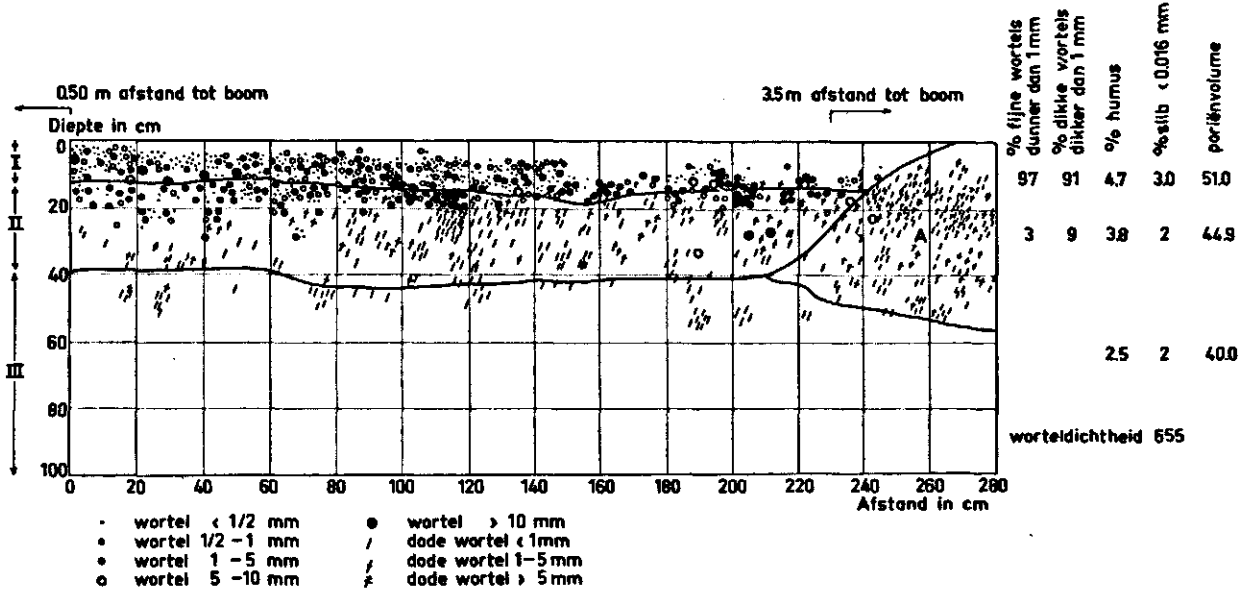


FIG. 63. Beworteling van de appel Yellow Transparent/Z. Proefplek 61.
I. Zwartgrijs humusrijk zand.
II. Grijs zand, veel donkerbruine roest.
III. Lichtgrijs zand, lichtbruine roest.
Weinig wormen. A Gedichte greppel, humeuze grond.
N.B. Links en rechts van de profielkuil, waarop deze afbeelding betrekking heeft, bevindt zich een boom Yellow Transparant/Z.

FIG. 63. *Rootsystem of Yellow Transparant/S in clean cultivated plot Nr 61.*
Many dead roots (= dodewortels at the left under fig. 63) present, due to previous high water tables.
A. Filled up ditch.
Compare with fig. XIII.

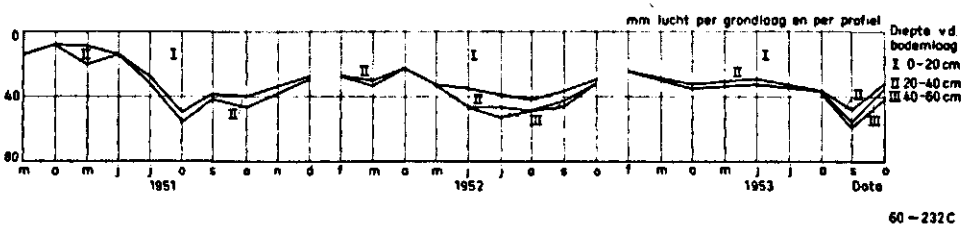


FIG. 64. Luchtladder van proefplek no. 61.

FIG. 64. *Air ladder of observation plot Nr. 61 (compare with fig. 52).*

eens 5 % hoger uitvallen, dan is berekend. (Het poriënvolume werd in het najaar bepaald). De vochttoestand van de grond was redelijk goed. Het radiculair percentage beschikbaar vocht in de zwartgehouden grond daalde niet beneden 50 %. In de voedingszone liep het percentage beschikbaar vocht tot 40 % terug. Uit de trage beweging van het vocht in dit zware profiel, is deze droge bovengrond bij een vrij hoge grondwaterstand te verklaren.

Op een vochtig duinzandprofiel lagen de dicht beplante plekken 60 en. 62, met de appel Transparent de Croncels op zaailing onderstam – zie tabel 43 en fig. XIII –. Op een gedeelte van dit perceel, dat een weinig lager is gelegen, trad ernstige schade op gedurende de hevige voorjaars-regenval met bijbehorende hoge grondwaterstanden in 1951. Het profiel bestaat uit een humusrijk zwart bovendek dat ca 0,40 m dik is. De vochtberging in het humeuze deel van het profiel is zeer goed. Het was door de hoge grondwaterstanden in het voorjaar evenwel moeilijk, om de veldcapaciteit te bepalen door middel van vochtbepalingen in grondmonsters uit deze plek. Door het hoge vochtgehalte, dat doorlopend in deze grond aanwezig is, valt ook het poriënvolume niet gemakkelijk te bepalen. Het lijkt waarschijnlijk, dat het poriënvolume in de zomer hoger ligt dan het volume dat op de figuur is vermeld. Door de hoge grondwaterstand is de beworteling zeer oppervlakkig, slechts 6 % van de fijne wortels bevindt zich dieper dan 0,40 m.
Tijdens de wortelopname, die na het zomerseizoen van 1951 werd uitgevoerd, bleken zich vele dode wortels in de lagen dieper dan 0,20 m te bevinden – fig. 63 –. De grondwaterstand zinkt gewoonlijk vanaf 0,50 m onder maaiveld in maart tot 0,70 – 0,90 m in september. Door ondergrondse toevoer uit een naburig hoger duingebied, wordt het grondwater hier aangevuld. De vochttoestand is meestal gunstig; in natte jaren blijkt de grond zelfs te nat. In zwartgehouden grond daalde het percentage opneembaar vocht niet beneden 75 % in de voedingszone (die hier praktisch alle wortels bevat). De luchttoestand in de grondlagen dieper dan 0,20 m is zeer slecht; meestal komt pas na juni een meetbare hoeveelheid lucht voor in dit gedeelte van het profiel – zie de „luchtladders" fig. 64 –.

De plekken 63, 64 en 65 zijn gelegen op een vrij droge duinzandgrond – zie tabel 43 en fig. XIV –. De aanplant is niet tot een bevredigende ontwikkeling gekomen. De bomen bleven te klein, zodat er veel licht op de grond viel.
De aanplant in deze boomgaard is ook vrij onregelmatig. Ze wordt gevormd door ver-

schillende appelrassen op sterke onderstam. Door deze verschillen van veldje tot veldje, kon het effect van de verschillende bodem behandelingen niet scherp worden bepaald. In zeer droge zomers vertoonden de bomen op deze plek af en toe een slechtere bladstand; te veel geel blad met bladval waren de symptomen. De humushoudende bovenlagen zijn ca 0,50 m dik op dit humusarme profiel. De beworteling beperkt zich tot een laag van 0,60 m dikte. Het lage poriënvolume (37 %) in de ondergrond is ook niet gunstig voor de beworteling. De grondwaterstand zinkt van 0,40 à 0,50 m onder maaiveld in maart, tot 0,70 à 1,00 m in september. De vochttoestand van dit profiel is zeer afwisselend. Indien de grondwaterstand flink zakt, kan men zeggen dat ook het gehele doorwortelde profiel droog wordt getrokken. In de zwarte grond wisselt het radiculair percentage vocht van 60 tot 200 %. In de voedingszone daalde het percentage beschikbaar vocht soms tot nauwelijks 40 %. In de grondlagen ondieper dan 0,60 m is de luchttoestand van de grond gunstig.

Tijdens de korte duur van de behandeling kwamen geen sprekende reacties van het proefgewas op de verschillende percelen naar voren. Alleen op de stroplek I werd meer ijzergebrek in de bomen waargenomen, dan op de vergelijkbare plekken.

Vooral de strobedekking had een grote invloed op de vochttoestand van de bodem. Op alle plekken bleek het vochtgehalte onder de strobedekking hoger te liggen dan in zwartgehouden grond, terwijl met name het vochtgehalte in de voedingszone hoger lag. In plek I (met een strobedekking) daalde het percentage beschikbaar vocht in de voedingszone slechts iets beneden 70 %, vergeleken met een daling tot 40 % in zwarte grond bij plek II. De vochtspanning liep op een diepte van 10 à 20 cm onder stro slechts zelden hoger op dan tot pF = 2,0 volgens de tensimeter. De veldcapaciteit onder stro blijkt enkele gewichtsprocenten hoger te liggen, waardoor de grond daaronder een grotere hoeveelheid beschikbaar vocht bindt.

Het volume lucht in de wortelzone van de proefplekken I – VI was steeds gunstig. Het percentage koolzuur in de bodemlucht gaf weinig verschillen te zien al naar de bodembehandeling. Onder stro lag het koolzuurgehalte in het groeiseizoen echter vaak hoger, in de koudere tijd van het jaar ook wel lager – zie tabel 39 –. De invloed van het strodek op de vochttoestand maakt de eerste waarneming verklaarbaar. Daar de strobedekking de bodemtemperatuur verlaagt en daarmee de ademhalingsintensiteit van de bodemorganismen, kan de laatste waarneming wellicht ook bevredigend worden verklaard.

Op de met stro bedekte plek 57 op zware grond bleven het radiculair percentage vocht en het percentage vocht in de voedingszone boven 60 à 70 %, terwijl in de vergelijkbare zwart gehouden plek 58 het radiculair percentage tot 50 % en het percentage vocht in de voedingszone tot 40 % terugliep. Onder invloed van de strobedekking op deze zware grond wordt het volume lucht in de laag van 0–20 cm te gering, het komt op een peil van ca 5 % te liggen bij veldcapaciteit. Enkele blauwe plekjes in de grond waren na een strobedekking van enkele jaren reeds te zien, maar dit verschijnsel kon door de overstroming van de proefplek in 1953 niet verder nagegaan worden. De strobedekking lijkt op den duur voor de luchttoestand van deze grond bedenkelijk.

Op plek 60, gelegen op een vochtig duinzand profiel, behield de voedingszone onder stro maximaal 20 % meer beschikbaar vocht vergeleken met de zwartgehouden plek

61. Bij een vochtig profiel zal dit verschil weinig voordelen opleveren. In een natte tijd kan het zelfs schade aan het gewas veroorzaken.
Op de droge duinzandplek 63 heeft de strobedekking niet geheel aan de verwachtingen beantwoord, omdat de grond onder het strodek ook sterk uitdroogde. Op andere met stro bedekte percelen zijn op dit type gronden grotere verschillen in het vochtgehalte van stropercelen en zwartgehouden percelen waargenomen. Het is waarschijnlijk (en dit geldt ook voor de plekken 57 en 60), dat de omringende vier grensbomen van deze kleine proefplekken meer dan de normale hoeveelheid vocht opnamen onder het strodek. Dit zal niet zozeer tot uitdrukking komen in vochtige, maar wel in drogere bodemprofielen.

De strobedekking heeft, naast zijn vermogen tot beperking van de directe verdamping uit de grond, ook de gunstige eigenschap de groei van het onkruid tegen te gaan. Dit geldt uiteraard alleen indien de bedekking dik genoeg is. Voor een behoorlijke verstikking van onkruid blijkt een jaarlijkse aanvulling met 20 ton droog stro per ha van niet te grove strosoorten (geen koolzaad-, blauwmaanzaadstro e.d.) op een bestaande strobedekking noodzakelijk te zijn. Op een aantal proefplekjes, begrensd door vier bomen, bleek dat een strobedekking van 12 ton per ha geen zwakkere werking heeft ten aanzien van de beperking van de verdamping, dan een zwaardere strobedekking. Zelfs een bedekking van 50 ton per ha, gaf geen geringere verdamping[1]. Een strobedekking, die het onkruid voldoende verstikt, heeft tegelijkertijd de maximaal bereikbare vochtconserverende werking.

In tegenstelling tot een strobedekking, heeft een blijvende begroeiing met gras de bodem sterker doen uitdrogen dan zwarthouden. Deze uitdroging geldt vooral voor de voedingszone en vooral in de tijd met de meeste scheutgroei van de vruchtbomen. In plek III liep het percentage beschikbaar vocht in deze periode wel tot 30 % terug onder gras, terwijl de pF (volgens de tensimeter) in de voedingszone meermalen een waarde van 2,5 overschreed. In zwarte grond liep het percentage beschikbaar vocht terug tot ruim 40 %. In plek 59 liepen het radiculair percentage vocht en het percentage beschikbaar vocht in de voedingszone 10 % sterker terug dan in zwarte grond, maar ze werden op een matig peil gehandhaafd. Een grasbegroeiing zal op deze plek dus niet veel schade aan de vochthuishouding van de vruchtbomen veroorzaakt hebben. Hetzelfde geldt voor plek 62, waar het kleine verschil in vochttoestand, bij een over het algemeen hoog vochtgehalte van de bodem in alle plekken, nauwelijks nadeel opgeleverd kan hebben. Dit wil niet zeggen, dat gras door zijn concurrerend vermogen ten aanzien van de stikstofvoorziening van de boom, geen nadeel kan opleveren. In de stand van de proefbomen kwam dit echter niet tot uitdrukking. De grasbegroeiing was in droge perioden, ondanks maandelijks maaien, in staat het vochtgehalte in de voedingszone van plek 65 aanzienlijk uit te putten. Het grootste verschil met zwarte grond in de percentages beschikbaar vocht in een droge tijd, bleek 25 % te bedragen. Op een laag vochtniveau betekent dit veel voor de plantengroei. De invloed van de grasbegroeiing op deze plek moet als zeer ongunstig worden beschouwd.
Het verschil in maaifrequentie op plek III had weinig invloed op de bodemvochtigheid. De hoogste vochtgehalten kwamen voor onder het minst gemaaide gras. Dit laatste lijkt niet direct aannemelijk. De beworteling van minder frequent gemaaid gras is zelfs iets intensiever en iets dieper – tabel 44 –, maar het is verklaarbaar uit de

[1]) Voor belangstellenden zijn de betreffende gegevens ter inzage.

slechtere stand van het gras. Door het zwaardere zwad, bij eenmaal maaien per maand, werd het onderliggende gewas soms verstikt, waardoor kale plekken ontstonden.

De groenbemestingsgewassen hebben hun invloed ook vooral in de voedingszone laten gelden. Gras is een begroeiing, die in het voorjaar vroeg en intensief vocht onttrekt aan de bodem. Andere gewassen vangen de groei wat later aan, vertonen een tragere begingroei, of worden pas later gezaaid.
Hieruit is het verklaarbaar, dat in het voorjaar de bovengrond onder gras veelal droger is dan bij meerjarige groenbemesters. Op deze regel zijn echter vele uitzonderingen. De behandeling van de begroeiing, het maaien en de bemesting, spelen hierbij ook een rol. Later in het seizoen, in de zomer, is de grond onder groenbemesting niet zelden droger dan onder een (meermalen gemaaide) grasbegroeiing – zie o.a. fig. XI [1]) –. Vooral door de groeitijd van de onderbegroeiing goed te kiezen, kan een te sterke uitdroging van de grond in het voorjaar en in de voorzomer worden vermeden. Indien tijdens het voorjaar door de begroeiing de bovengrond te snel wordt drooggetrokken, dan is men op later gezaaide gewassen aangewezen om de vochttoestand van de voedingszone op een gunstig peil te houden. Deze gewassen groeien dus gedurende de nazomer, de herfst en eventueel gedurende de winter. Ze worden in het voorjaar weer uitgereden. Aan het einde van de zomer, in augustus en september, is de bovengrond in de regel vochtig, doordat de regenval de verdamping gaat overtreffen. Een drogere bovengrond in deze tijd heeft veel minder nadelen dan in het voorjaar. Mocht de nazomer zeer droog zijn, dan is de groei van de laatstgenoemde gewassen veelal te zwak, om een ernstige vochtconcurrentie op te kunnen leveren.

De compost- en stalmestbemesting op de plekken V en VI hebben geen grote invloed gehad op de vochttoestand van de grond; de compost had zelfs zeer weinig invloed. Het spitten van de grond op de helft van plek II gaf in het voorjaar slechts een kortstondige en oppervlakkig blijvende uitdroging. Ook vaak wieden gaf op deze plek weinig gevolgen ten aanzien van de waterhuishouding.

De verschillen in de vochttoestand komen dus vooral naar voren in de voedingszone tijdens de scheutgroei van de bomen. Stro houdt deze zone het vochtigst, gras trekt ze het droogst, terwijl groenbemesting vrij weinig verschillen geeft met zwarthouden. Wegens de invloed van de vochttoestand in de voedingszone op de stikstofvoorziening van het gewas – zie 2.1.1.4. [21] – is een grasbegroeiing dus ongunstiger en een strobedekking gunstiger dan een zwartgehouden grond.

De grote invloed van de schaduw in boomgaard bij het onderzoek naar de invloed van de bodembehandeling in de grond, valt af te leiden uit de vochtbepalingen uit 1953 op een plek plaatgrond. Daarop lagen een stuk braakliggend bouwland en een stuk beweid grasland, die aan elkaar grensden. Het bouwland werd voortdurend oppervlakkig bewerkt.
Het bodemprofiel bestond uit een bovendek van 60 cm lichte zavel, dat op matig grof zeezand rustte. De grondwaterstand verliep van ruim 1,00 m onder maaiveld in het voorjaar, tot ca 1,70 m in het najaar.

[1]) Voor belangstellenden is een groter aantal gegevens hierover ter inzage.

De vochttoestand in de droge tijd liep sterk terug. In het grasland was toen nog ca 25 %, in het onbegroeide bouwland nog ca 75 % van het vocht beschikbaar in de voedingszone. Deze verschillen zijn in boomgaard doorgaans kleiner. Het is aannemelijk, dat door de beschaduwing van de grond in boomgaard een sterke daling van het vochtgehalte in de bodem door de begroeiing wordt voorkomen.

[47] 2.2.2.2. *De resultaten van het bodembehandelingsproefveld op het fruitteeltdemonstratiebedrijf te Hoofddorp*

Het effect van een langdurig voorgezette bodembehandeling kon op het proefveld te Hoofddorp nagegaan worden – tabel 43, de plekken H5 tot H8 –. De reactie van het gewas op de bodembehandeling zal slechts in het kort worden behandeld, de vochttoestand van de bodem meer uitvoerig. In een afzonderlijke publikatie – BUTIJN en SCHUURMAN, 1957 – is reeds aandacht aan dit proefveld geschonken.

De aanleg van het proefveld dateert van 1938. De proefvakken hebben een oppervlakte van ca 25 are. De belangrijkste bodembehandelingsmaatregelen, strobedekking, zwarthouden, groenbemesting en grasbegroeiing werden vergeleken. De strobedekking werd zo dik gehouden, dat geen last van onkruid werd ondervonden. De zwartgehouden grond werd vanaf het voorjaar tot half juli onkruidvrij gehouden.
Groenbemestingsgewassen werden meestal midden in de zomer gezaaid. In de latere jaren waren het doorgaans geen vlinderbloemigen, aanvankelijk wel.
Reeds in het derde jaar na het inplanten kregen de grasvakken hun begroeiing. Het gras werd enkele malen per jaar gemaaid. Kweekgras vormde een niet onbelangrijk deel van het grasbestand.
De aanplant bestond uit verschillende appelrassen op merendeels zwakkere onderstammen. De stand van het gewas op deze goede grond was in de latere jaren, afgezien van enige voedingsziekten, behoorlijk.
De aanvankelijk waargenomen groei-, opbrengst- en standsverschillen, die vooral ten nadele van de grasbegroeiing en ten voordele van strobedekking uitvielen, verdwenen geleidelijk naarmate het proefveld ouder werd. De produktie lag op een behoorlijk peil (ca 20 ton per ha) op 15-jarige leeftijd. Het produktieverschil tussen de stro- en de grasveldjes bedroeg op deze leeftijd nog 20 %. Het was opvallend, dat de steeds voortgaande stijging van het produktiepeil, die bij alle behandelingen werd waargenomen, na het 10e jaar minder duidelijk optrad in de zwartgehouden veldjes.
De aanvankelijk gele bladstand van de bomen in gras, is in de loop der jaren vrijwel normaal geworden. Na het 10e jaar kwamen enkele voedingsziekten naar voren; in de stroveldjes ijzer- en magnesiumgebrek; in de zwartgehouden veldjes vooral magnesiumgebrek.
Het stikstofgebrek in de grasveldjes kon na 1950 niet meer waargenomen worden. Bij de chemische bladanalyse kon op de grasveldjes wel bij enkele rassen een wat lager stikstofgehalte worden aangetoond.
De beworteling in dit profiel is vrij diep; in de zwartgehouden plek H7 wordt bijvoorbeeld 30 % van de fijne wortels dieper dan 0,80 m aangetroffen.
De oppervlakkigste beworteling komt onder het strodek voor (30 % van de fijne wor-

tels in de laag 0-20 cm), de minst oppervlakkige onder de grasbegroeiing (10 % van de fijne wortels in de laag 0–20 cm).
Voor de bestudering van de bodemeigenschappen werden een aantal proefplekken gekozen, die op dezelfde plaats in een rij met eenzelfde ras in de verschillende proefvakken waren gelegen.
Het bodemprofiel is zeer geschikt voor de fruitteelt. Het wordt gevormd door een kalkrijke oude zeeklei met een aflopend profiel, dat onderin lichtzavelig en fijnzandig blijft. In het grasvak, plek H8, komt een zwaardere kleilaag voor op een diepte van 0,20 – 0,40 m. Deze kan de produktie van dit proefperceel iets, maar niet aanmerkelijk, hebben benadeeld. Het humusgehalte is niet door de strobedekking of groenbemesting, maar alleen onder invloed van de grasbegroeiing iets verhoogd; ca ½ % in de 15 proefjaren. De aanvankelijk lage kali- en fosforgehalten zijn in de loop der jaren flink toegenomen, vooral het kaligehalte onder de strobedekking. Het poriënvolume vertoont weinig verschil al naar de behandeling. Dit volume, dat omstreeks 50 % bedraagt, blijkt volgens de wijze van berekening uit 2.2.1.2. door de grasbegroeiing 3–5 % verhoogd te zijn[1]. Onder de strobedekking is er een tendens te bespeuren naar een lager poriënvolume.
De veldcapaciteit was door het geringe aantal bepalingen van de bodemvochttoestand niet geheel bevredigend vast te stellen. Het gehalte aan beschikbaar vocht is vrij hoog in deze grond; een kleine 20 gewichtsprocenten. In de zwart gehouden plek is de hoeveelheid beschikbaar vocht enkele procenten kleiner; in het strovak iets groter, doordat de veldcapaciteit daar iets hoger ligt. De grondwaterstand verloopt van 0,70–1,00 m onder maaiveld in maart tot 1,70 – 2,00 m in het najaar.
In het najaar vooral, loopt de grondwaterstand op (ca 0,30 m) van plek H8 naar plek H5. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door ondergrondse watertoevoer uit een aangrenzende sloot naar de zijde van het perceel waar de plekken H5 en H6 zijn gelegen. Strikt genomen zijn de verschillen in de vochttoestand door deze watertoevoer dus niet vergelijkbaar. Er is evenwel aangenomen, dat de verschillen door deze toevoer niet groot zullen zijn, gezien de diepe grondwaterstanden die in de nazomer voorkomen.
De vochttoestand in het perceel is gunstig. In de zwartgehouden grond bijvoorbeeld daalde in de groeiperiode het radiculair vochtgehalte niet beneden 70 %, het vochtgehalte in de voedingszone niet beneden 60 %. De pF, afgeleid uit vochtkarakteristieken van de grond, steeg in de voedingszone in het groeiseizoen vrijwel niet boven 3,0. De behoorlijk diepe beworteling werkte het ontstaan van lagere waarden niet in de hand. De luchttoestand van de bodem kan niet ongunstig genoemd worden. Het volume lucht onderin de wortelzone was in het groeiseizoen vrijwel steeds groter dan 5 à 10 %; in de voedingszone meestal groter dan 15 %. Het percentage koolzuur in de bodemlucht bleef laag. Onder het strodek lag dit gehalte het hoogst – tabel 39 –.
De strobedekking gaf de hoogste vochtgehalten in de grond. Het radiculair gemiddeld percentage beschikbaar vocht daalde zelden beneden 90 %, terwijl het percentage beschikbaar vocht in de voedingszone niet beneden 80 % daalde. De pF van de voe-

[1] Doordat steeds met een s.g. van de grond gelijk aan 2,6 is gerekend, zal het poriënvolume iets te groot zijn berekend in de humusrijkere bovengrond.

dingszone kwam nauwelijk boven de waarde 2,5. De luchttoestand is minder goed dan bij de andere behandelingen. Deze luchttoestand is op de grens van bevredigend, getuige de reductiekleuren, die plaatselijk (in de rijsporen) in de bovengrond optraden en het hogere koolzuurgehalte.
De grasbegroeiing leidde tot de laagste vochtgehalten in de grond. Het radiculair gemiddelde vochtgehalte daalde in de groeiperiode tot 70 %. In de voedingszone daalde het percentage beschikbaar vocht tot 50 %, de pF steeg verschillende malen boven de waarde 3,5. De diepe beworteling voorkwam een sterkere daling van het radiculair gemiddelde.
De groenbemesting gaf een vochthuishouding die weinig verschilt van die onder zwartgehouden grond. Door de betere structuur van de bovengrond is ze in het groeiseizoen vaak nog gunstiger. In het groeiseizoen daalden het radiculair gemiddelde vochtgehalte en het vochtgehalte in de voedingszone niet beneden resp. 90 en 65 %, terwijl de pF in de voedingszone niet hoger dan tot ca 3,0 opliep.

Uit het voorgaande blijkt, dat de verschillen die de bodembehandeling teweegbracht, vooral in de bovengrond voorkomen. Het verschil in de beworteling, het poriënvolume, de vocht- en luchttoestand zijn het grootst in de voedingszone. Het strodek werkte enerzijds gunstig bij het vochtig houden van de bovengrond, dus op het beschikbaar houden van voedingselementen, anderzijds minder gunstig op de lucht-huishouding. Door de oppervlakkige beworteling onder stro kan de voedingszone het gehele seizoen benut worden. De grasbegroeiing als andere uiterste, droogde vooral de voedingszone uit, waardoor zowel de vocht- als stikstofopname (in de jeugd van de bomen wellicht ook de kaliopname) moeilijker verliepen. Door een diepere beworteling heeft de fruitboom zich behoorlijk „verweerd" tegen vochttekorten (zie het geringe verschil in de radiculaire percentages beschikbaar vocht), maar door deze diepere beworteling blijft de voedingszone t.o.v. zwart gehouden grond, te spaarzaam doorworteld. Het gras kon profiteren van deze beworteling door een bijna onbeconcurreerde opname van voedingselementen.
Op jeugdige leeftijd heeft de bodembehandeling een sterkere invloed gehad, blijkens de waargenomen slechte bladstand van de bomen in het gras. Bij een ondiepere beworteling en minder beschaduwing van de grond – zie 2.3.1.1. –, kan de bodembehandeling ook een veel grotere invloed uitoefenen, dan in een volwassen boomgaard met een diepere, meer aangepaste beworteling en waar meer schaduw van de bomen op de grond valt.

[48] 2.2.2.3. *Waarnemingen op het bodembehandelingsproefveld te Nieuwland*

In de voorgaande paragrafen is betoogd, dat een grasbegroeiing een ongunstige, een strobedekking een gunstige invloed op de vruchtbomen uitoefent. Dit effect wordt voor een groot deel veroorzaakt door de invloed van de bodembehandelingsmaatregelen op de vochthuishouding en via de vochthuishouding op de stikstofhuishouding. In enkele nog jonge bodembehandelingsproefvelden is nu getracht, de nadelige werking van gras door geschikte bodembehandelingsmaatregelen te ondervangen en zo mogelijk een nog betere opbrengst te verkrijgen dan in zwart gehouden grond.
Verschillende waarnemingen uit het oudste van deze proefvelden, gelegen te Nieuw

en St. Joosland, zijn in overeenstemming met het voorgaande betoog.
De beplanting van het proefveld bestaat uit de appelrassen Golden Delicious en Jonathan op de onderstam M II. De bomen waren bij het begin van de proef ruim 10 jaar oud. Kort voor de aanleg was de grond pleksgewijs met gras begroeid, daarvoor werd de grond steeds zwartgehouden. Het bodemprofiel bestaat uit kalkrijke zavelige bovenlagen, op ca een halve meter gevolgd door lichtere zavel tot meer dan 1 meter diepte. Storende lagen zijn niet aanwezig. De wortelzone strekte zich uit tot ca 0,80 m. De grondwaterspiegel bewoog zich van ca 0,70 m onder maaiveld in maart naar een peil van ruim 1,00 m in mei en bereikte een peil van ca 1,40 m aan het eind van september. Het veldje met groenbemesting behield in de periode met de voornaamste scheutgroei van de boom doorgaans meer dan 50 % beschikbaar vocht in de voedingszone. De vochttoestand kon dus bevredigend worden genoemd. Op het proefveld werden enkele veldjes uitgezet, waar – bij gebrek aan meer proefbomen – enkele van de meest belovende bodembehandelingsmaatregelen werden uitgevoerd. Bij de standaardbehandeling (het vergelijkingsobject) werd de grond zwartgehouden in het voorjaar en in de voorzomer. Daarna volgde een begroeiing met een groenbemestingsgewas. Een bemesting naar 100 kg N per ha werd in het voorjaar verstrekt. In andere objecten werden de stikstofbemesting en (door beregening) de vochthuishouding van de bodem gevarieerd – zie tabel 18 –.
De reactie van het gewas op de veldjes 3 tot 6 is nader beschouwd. Ten opzichte van het groenbemestingsveldje (no. 3) was het resultaat op veld 4, waar slechts met 100 kg N werd bemest op een blijvende grasmat, zeer onbevredigend. Indien 200 kg N per ha werd verstrekt op een blijvende grasmat (veld 5), was de scheutgroei wel aanmerkelijk beter, maar de opbrengst nog onvoldoende. Wanneer door beregening het vochtgehalte van de grond dichtbij de veldcapaciteit werd gehouden en daar naast een bemesting met 200 kg N per ha werd gegeven (veld 6), kon gemiddeld nagenoeg dezelfde opbrengst behaald worden van de bomen in gras, als van de bomen in groenbemesting, terwijl de scheutgroei slechts weinig achterbleef.
Deze reactie van de scheutgroei en de opbrengst op de behandeling werd weerspiegeld door het stikstofgehalte van het blad. Dit gehalte was in de meest produktieve en groeizaamste objecten het hoogst.
De oorzaken van deze gewasreactie zijn te vinden in de bodemtoestand. Het gras heeft zonder beregening niet alleen de bodem sterk uitgedroogd, maar ook het nitraatgehalte van de grond zeer verlaagd – vergelijk het lagere gehalte in grasveldje 4 met het hogere gehalte in groenbemestingsveld 3, die beide dezelfde bemesting ontvingen–. Wanneer wordt beregend, neemt het nitraatgehalte van de grond onder gras niet toe, maar het daalt – vergelijk de lagere gehalten in het beregende veld 6 met die in het onberegende veld 5, terwijl beide velden dezelfde bemesting kregen –. Dit is te wijten aan het onvermogen van een plant, om uit een te droge voedingszone het nitraat op te nemen – zie het behandelde in 2.1.1.4., [20] en [21] –.
De waarnemingen op dit proefveld wijzen er dus op, dat de nadelige werking van de grasbegroeiing op een goed zeekleiprofiel, door een extra stikstofbemesting en door een intensieve beregening geheel of nagenoeg opgeheven kan worden. In hoeverre deze bodembehandeling ook op lange termijn rendeert ten opzichte van andere be-

handelingen, valt uit de waarnemingen op dit proefveld over een periode van vier jaar niet op te maken. De oplossing van dit vraagstuk vraagt langlopende proeven, waarbij velerlei gegevens, vooral ook aangaande de arbeidskosten voor de beregening, worden verzameld.

2.2.3. SAMENVATTING EN BESPREKING VAN DE INVLOED VAN ENKELE SYSTEMEN VAN BODEMBEHANDELING OP DE VOCHTTOESTAND IN DE BODEM EN DE PRODUKTIE VAN BOOMGAARD

Voor een beter begrip van de invloed van de bodembehandeling op de vochttoestand, is in de eerste plaats de waterhuishouding in normale zwartgehouden boomgaarden in Zeeland nagegaan. Dit werd beschreven in 2.2.1.4. en 2.2.1.5.

[49] #### 2.2.3.1. *Samenvattende beschrijving en bespreking van de toestand in zwartgehouden boomgaarden*

De vocht- en luchttoestand in een aantal fruitpercelen in het zuidwesten van Nederland is nagegaan. In deze boomgaarden groeiden voornamelijk gangbare appel- of pererassen op matig of sterk groeiende onderstammen. De „werkelijke produktie" per ha bleek op droogtegevoelige en zeer natte bodemtypen vaak te laag. Dit was meestal te wijten aan onvoldoende groei van de bomen. Het is echter opmerkelijk, dat indien de plantafstand zo wordt gekozen, dat de boomkruinen in volgroeide toestand elkaar minstens raken, of iets in elkaar doordringen, de produktie op alle profielen goed kan zijn. Wanneer kleinere oppervlakten slechte grond binnen een goed fruitperceel voorkomen, dan is de aanpassing van de plantafstand aan de groeiverschillen op de uiteenlopende bodemprofielen doorgaans onvoldoende, zodat op deze percelen als regel een te lage opbrengst wordt behaald. Deze toestand treedt vaak op, indien bij voorbeeld een klein gedeelte van een perceel goede schorgrond bestaat uit plaatgrond. Een volledige aanpassing van de plantafstand aan het bodemprofiel levert meestal te veel bezwaren op voor de bewerking van het perceel. Zeer droogtegevoelige gronden, waarop in droge zomers het fruitgewas tekenen van verwelking vertoont, leveren gemiddeld, ook bij een voldoende dichte beplanting, een te lage opbrengst. Op deze bodemprofielen, merendeels op de z.g. plaatgronden, kan de produktie in droge seizoenen ver achter blijven. De opbrengst per m vruchtdragende taklengte, dus ook de „calculatie opbrengst", is dan onvoldoende. De plaatgronden bezitten een profiel met een slechts dunne goed doorwortelbare slibhoudende bovenlaag, op slibarm slecht doorwortelbaar zand in de ondergrond.

De proefplekken lagen in appel- en perepercelen, gedeeltelijk op goede, onderin lichtere, kalkrijke zeekleiprofielen, tendele op plaatgronden en ook voor een klein deel op duinzandgronden. In het gewas kwamen weinig plagen of ziekten voor. Op sommige proefplekken op de kalkrijke gronden kwamen magnesium- en ijzergebrek voor. Deze voedingsziekten hebben de opbrengst in de meeste gevallen niet ongunstig beïnvloed. De beworteling van appel en peer op de goede zeekleiprofielen strekt zich doorgaans dieper uit dan 0,80 m; een kleine 10 % van de fijne wortels van appel en ruim 10 % van de fijne perewortels komen dieper dan 0,80 m voor. De bovenste 0,40 m van het

profiel in de zwartgehouden boomgaarden bevat doorgaans de helft van het aantal wortels – tabel 2 –.
Zoals hiervoor is behandeld – 2.1.2.2. – beperken een hoge voorjaarsgrondwaterstand en een te geringe hoeveelheid lucht in de grond tijdens de zomer, de diepte van de beworteling. Hieraan kan het te wijten zijn, dat ook in profielen zonder storende lagen de bewortelingsdiepte beperkt blijft.
Gronden, die als droogtegevoelig bekend staan, bezitten vrijwel altijd een ondiepe beworteling, hetgeen wil zeggen, dat de wortelzone dunner is dan 0,50 m. Profielen met een diepere beworteling vertonen wel enige ongunstige reacties tijdens droogte, maar zelden uitgesproken schade. De droogteschade op de diep doorwortelde profielen uit zich voornamelijk in een geringe scheutgroei. Op de ondiep doorwortelde droge profielen laat niet alleen de scheutgroei te wensen over, maar in droge seizoenen blijft, wanneer de bomen verwelken, ook de vruchtgroei achter.
Het poriënvolume in deze gronden loopt uiteen van 40–60 volumeprocenten; gemiddeld ca 50 %. Een groot aantal grondlagen, vooral de zandondergronden (plaat- of duinzand), bezit geen bevredigend volume aan poriën; minder dan 45 %. In slechte zandlagen bedraagt dit percentage ca 40 %, of is zelfs lager.
Het volumepercentage beschikbaar vocht varieert van 10 gewichtsprocenten in de humusarme zandgronden tot ruim 20 % in de goede zavelgronden en humusrijke zandgronden.
Het grondwaterpeil daalt in de goede zeekleigronden van ca 0,60 m in maart tot ca 1,60 m in oktober, om nadien geleidelijk weer te stijgen tot op of boven het voorjaarspeil. Op de plaatgronden ligt het grondwaterpeil meestal wat lager en vertoont een kleinere seizoensschommeling. In de duingronden hangt het grondwaterpeil zeer sterk af van het seizoen. In de goede duingronden daalt het vanaf ca 0,40 m in maart tot ca 1,00 m in oktober en stijgt weer nadien. Duingronden met een veel diepere grondwaterstandsdaling zijn zelden bij de fruitteelt in gebruik. De grondwaterspiegel ligt veelal in het voorjaar niet direct onder de wortelzone, maar de benedengrens van deze zone wordt pas omstreeks half mei bereikt. Het dieptepunt in de grondwaterstand in een gemiddeld jaar, wordt bij de meeste landbouwgronden 2 tot 4 weken vroeger bereikt dan in boomgaard.[1] Dit valt toe te schrijven aan de langere periode waarover de boom vocht uit de grond opneemt. Een grondwatertoevoer (kwel) uit de omgeving, uit sloten of naburige percelen zal meestal slechts in geringe mate bij de zeekleigronden opgetreden zijn; op de goede duinzandgronden was enige kwel voorwaarde voor een goede vochttoestand.
In de profielen met een goede grondwaterstand wordt tot half juli, door capillaire vochtbeweging, een aanmerkelijke hoeveelheid grondwater naar de wortelzone gebracht. Later in het seizoen is de vochttoestand van de bodem van niet zo groot belang, zolang de grond het verwelkingspunt niet benadert. De diepere grondwaterstand zal daarom in de laatste helft van de zomer meestal weinig bezwaren geven.

[1] De gegevens over de grondwaterstand in landbouwgronden zijn ontleend aan mededelingen van ir. Van 't Leven, Commissie Waterbeheersing en Ontzilting Zeeland.

De jaarlijkse gang van het vochtgehalte in de grond kan als volgt gekarakteriseerd worden: De bovengrond (0-40 cm diep) droogt vanaf maart tot juni het eerst en het meest uit. In juli of augustus is de gemiddelde vochttoestand van de bovengrond doorgaans weer hoger dan in de voorafgaande maanden. De ondergrond droogt meestal geleidelijk uit en is op niet te grote diepte in de maanden na juni niet zelden droger dan de bovengrond. Na augustus of september wordt, van boven af, ook de onderste helft van de wortelzone weer vochtiger. Eind oktober, of in november wordt de veldcapaciteit in het gehele profiel meestal weer bereikt.
Voor een juiste waardering van de waterhuishouding in de bodem zijn enkele nieuwe maten voor de vochttoestand ingevoerd. Deze maten geven de vochttoestand in een profiel beter weer dan de gebruikelijke gemiddelden voor de vochttoestand in het gehele bodemprofiel. De vochttoestand wordt daarom weergegeven als het radiculair gemiddelde percentage beschikbaar vocht (het qua bewortelingsdichtheid gewogen percentage beschikbaar vocht in alle doorwortelde lagen). De invloed van de vochttoestand op de minerale voeding van de plant wordt het beste door het percentage beschikbaar vocht in de voedingszone (in de lagen van 0–40 cm diep) weergegeven. Vooral de laatstgenoemde maat voor de vochttoestand blijkt bevredigend samen te hangen met de reacties van het gewas. Het radiculair gemiddelde percentage beschikbaar vocht daalt in de periode van de scheutgroei in de goede profielen niet verder dan tot 70 à 60 %. In de periode daarna gaat de daling voort, maar dit heeft weinig invloed op de scheut- en vruchtgroei. In droge profielen daalt het radiculair gemiddelde wel tot 30 % of lager.
Het gemiddeld percentage beschikbaar vocht in de voedingszone (0–40 cm diep) daalt in de goede profielen in het groeiseizoen niet verder dan tot 50 %; in regenarme jaren in droge profielen wel tot 20 % of nog lager.

HERRMANN, 1951, trof minimum waarden aan van het percentage beschikbaar vocht in boomgaarden in West-Duitsland van 30 % in de laag van 0-25 cm en van 40 % in de laag van 0-50 cm. Het blijkt, dat deze percentages beschikbaar vocht in de voedingszone, overeenkomen met vochttoestanden in boomgaarden op goed vochthoudende bodemtypen in ons land.

De pF (bepaald met de tensimeter) op 30 cm diepte, stijgt in goede profielen niet boven een waarde van 2,5. In droge profielen worden waarden tot 3,0 of (niet meer met de tensimeter meetbare) hogere, vaak aangetroffen.
In de voedingszone was tijdens het groeiseizoen de luchttoestand doorgaans bevredigend; er was meer dan 10 volumeprocent lucht aanwezig. Een doorworteling van de diepere lagen schijnt niet plaats te vinden, indien het volume lucht daar in de zomer niet boven 5 % stijgt.

[50] 2.2.3.2. *Samenvattende beschrijving en bespreking van de invloed die enkele systemen van bodembehandeling uitoefenen op de vochttoestand van de bodem*

De bodembehandelingsmaatregelen die de grootste invloed uitoefenen op de vocht- en luchthuishouding van de bodem, zijn bedekking en begroeiing.
De strobedekking heeft de grootste invloed op het tegengaan van de evaporatie van uit de grond. De verdamping vanaf het grondoppervlak blijkt tot een fractie van de normale teruggebracht te worden door een strobedekking.

De strobedekking verhoogt het vochtgehalte van de voedingszone ten opzichte van zwarte grond, hetgeen op niet al te natte gronden gunstig is voor de minerale voeding van de plant – zie 2.1.1.4., [21] –. In redelijk goede fruitteeltgronden, zoals resp. de proefplekken I t/m III, H 5 t/m H 8, liep het radiculair gemiddelde percentage beschikbaar vocht in beide series onder stro niet verder terug dan tot 80 à 90 %, in de periode met de sterkste scheutgroei – zie tabel 43 –. Dit is een hoger percentage dan in zwart gehouden grond werd aangetroffen, in de series I t/m III en H5 t/m H 8, resp. 60 en 75 %. De invloed van de strobedekking op het gemiddeld percentage beschikbaar vocht in de voedingszone blijkt van groter belang. In de voorgenoemde series proefplekken I t/m III en H 5 t/m H 8 liep het percentage beschikbaar vocht in de voedingszone niet verder terug dan tot resp. 70 en 85 %, terwijl in zwarte grond dalingen optraden tot resp. 45 en 65 %. Op vochtige profielen, op de plekken 57 t/m 62, is de invloed van mulchlagen op de vochttoestand eveneens vastgesteld. Deze kunnen daar zelfs aanleiding geven tot een te hoog vochtgehalte in de grond.
De gunstige vochttoestand onder de strobedekking wordt mede veroorzaakt, doordat er een grotere hoeveelheid beschikbaar vocht in de grond onder het strodek geborgen kan worden.

Een begroeiing, vooral door bladrijke hoge gewassen, heeft de sterkste uitdroging van de grond tengevolge. In het voorjaar zijn de vroegst groeiende gewassen, dus meestal de grassen, ook de grootste vochtopnemers. In de zomer is het verschil in vochtopname door gras en groenbemesting sterk afhankelijk van het groeistadium en de behandeling van de gewassen. Op de series proefplekken I t/m III en H 5 t/m H 8, bleek de grasbegroeiing het radiculair gemiddeld percentage beschikbaar vocht in de tijd met de sterkste scheutgroei te reduceren tot resp. 50 en 75 %, terwijl in zwarte grond deze percentages terugliepen tot resp. 60 en 75 % – zie tabel 43 –. Een grotere invloed heeft de begroeiing evenwel op het percentage beschikbaar vocht in de voedingszone. In laatstgenoemde proefplekken waren de laagste percentages in de voedingszone van de plekken I t/m III en H 5 t/m H 8 resp. ca 30 en 50 %, terwijl de laagste percentages in zwartgehouden grond resp. 45 en 65 % bedroegen.
De vochttoestand bij de voornaamste bodembehandelingen, bedekking, zwart houden en begroeiing, zal (vooral in de voedingszone) gunstiger zijn bij de eerstgenoemde en het ongunstigst bij de laatstgenoemde.

De invloed van de maaifrequentie op de vochtonttrekking door gras, is in ons onderzoek niet uitvoerig onderzocht. Het resultaat, doorgaans een iets hoger vochtgehalte onder minder vaak gemaaid gras, kon verklaard worden uit de ontstane holle zode. Dit resultaat is in tegenspraak met de Engelse ervaring. Een ondiepere beworteling onder frequenter gemaaid gras is in onze, evenals in Engelse proeven vastgesteld.
De oppervlakkige grondbewerking is in het algemeen van minder betekenis voor de vochttoestand, dan de bedekking en begroeiing. Een bewerking van de bovengrond laat deze laag sneller uitdrogen in het voorjaar. Een invloed van deze bewerking op de vochttoestand in de diepere bodemlagen is niet vastgesteld. Een oppervlakkige bewerking had nog minder invloed in de zomer. In een boomgaard met veel schaduw, valt van de grondbewerkingsinvloed minder te verwachten dan in het open veld. De

geringe hoeveelheid zonne-energie, die de grond bereikt en de lage windsnelheid beperken onder de bomen de potentiële verdamping sterk, ten opzichte van de verdamping in het open veld – zie 2.3.1.1. –.

De luchthuishouding van de grond is nauw gekoppeld aan de waterhuishouding. Door de sterke invloed van het stro op het vochtgehalte van de bovengrond heeft deze behandeling ook invloed op de kwaliteit van de bodemlucht. Het koolzuurgehalte in de grond wordt door een strobedekking verhoogd. Het verschil kan 1–1,5 volumeprocent koolzuur bedragen. Het optreden van ijzergebrek in het gewas wordt hierdoor bevorderd – zie 3.3.1.2. –.

[51]

2.3. DE SAMENHANG VAN BODEMKUNDIGE EN KLIMATOLOGISCHE FACTOREN MET DE VOCHT- EN LUCHTTOESTAND VAN DE GROND IN BOOMGAARD

De vocht- en luchttoestand van de grond wordt bepaald door de invloed van verschillende factoren, zoals het weer, de plantenverdamping, de bodemgesteldheid, de grondwaterpeil-regelingen e.d. Deze factoren beïnvloeden dus ook de fruitproduktie. Wegens de invloed van deze factoren zijn de volgende relaties nader bestudeerd:

1. De samenhang van het weer en de vochttoestand van de grond in boomgaard.
2. De samenhang van de begroeiing onder de vruchtbomen met de vochttoestand in de grond in boomgaard.
3. De samenhang tussen de grondwaterstand en de vochttoestand van de grond in boomgaard op een goed bodemprofiel uit het zuidwestelijk zeekleigebied en op een droogtegevoelig duinzandprofiel.

In de eerste twee relaties is alleen de totale hoeveelheid vocht in een bodemprofiel beschouwd – zie 2.3.1. –. In de laatstgenoemde relatie is ook de verdeling van het vocht over de wortelzone nader omschreven – zie 2.3.2. –.

[52]

2.3.1. HET VOCHTVERBRUIK UIT DE GROND

De verdamping van een volgroeid gewas verloopt opmerkelijk parallel met de verdamping van een vrij wateroppervlak – zie b.v. GRAY c.s., 1955, HANSEN, 1954, en PENMAN, 1949 –. De verdamping van vrij water b.v. in de vorm van een dun waterlaagje op vloeipapier wordt door de omstandigheden in de atmosfeer en de straling bepaald. Deze parallelitieit geeft dus aan, dat de verdamping van een volgroeid gewas slechts in beperkte mate door gewaseigenschappen wordt beïnvloed. De samenhang tussen de verdamping van vrij water en van een gewas wordt o.a. in de Verenigde Staten benut bij de regeling van de wateraanvoer naar nieuw ontgonnen droge gebieden. In deze gebieden was het klimaat meestal wel bekend en hieruit liet zich de waterbehoefte van de gewassen afleiden – zie BLANEY en CRIDDLE, 1950 –. Over de samenhang tussen de verdamping van vrij water en door het gewas en de berekening van de verdamping is in Engeland baanbrekend werk verricht door PENMAN, 1950, 1956.

Voor de statistiek van de droogteschade in de landbouw is de betrekking tussen de verdamping van het gewas en vrij water van veel betekenis – zie o.a. VAN BAVEL, 1953,

STOLP, 1952 –. De grootte van de oogst blijkt namelijk zeer gevoelig voor de mate waarin de verdamping de regenval in de zomer overtreft. – VAN DUIN en SCHOLTE UBING, 1954, 1955 –. Voor het adviseren bij een aanvulling van de bodemvoorraad aan vocht, kan de verhouding tussen het vochtverbruik door het gewas en de verdamping van vrij water, die of gemeten of snel uit de weersfactoren kan worden berekend, eveneens van groot belang zijn – ROGERS en GOODE, 1952, CZERATZKI en KORTE, 1955 –.
Het voorgaande gaf aanleiding extra aandacht te besteden aan enkele methoden voor de meting of berekening van de verdamping van een vrij wateroppervlak.

[53] 2.3.1.1. *Verdampingsmetingen en berekeningen*

Er bestaan verschillende apparaten voor de bepaling en formules voor de berekening van de verdamping van vrij water. Een van de eenvoudigste apparaten voor de bepaling van de verdamping is een open bak of pan. Een andere eenvoudige meting van de verdamping kan ook plaatsvinden met het apparaat van PICHE – zie b.v. DE VRIES en VENEMA, 1954 –.
Verschillende onderzoekingen hebben geleid tot de opstelling van formules, die uit weersfactoren de berekening van de verdamping van vrij water mogelijk maken. Voor onze omstandigheden is de voorkeur gegeven aan de formule van PENMAN, 1949, 1950, 1952, 1956, die fysisch beter gefundeerd is – zie o.a. VAN WIJK en DE VRIES, 1954 – dan de formules van THORNTHWAITE, BLANEY en CRIDDLE – zie o.a. VISSER, 1954 –.
De verdamping volgens de formule van PENMAN is voor een grote reeks van jaren voor verschillende plaatsen in ons land berekend door KRAMER, 1957. De gevonden

FIG. 65. Overzicht van de waarnemingsplaats voor de bepaling van de verdamping, temperatuur en luchtvochtigheid in boomgaard te Wilhelminadorp.

FIG. 65. *General view of the orchard plot for observation of evaporation, temperature, humidity etc. Wilhelminadorp.*

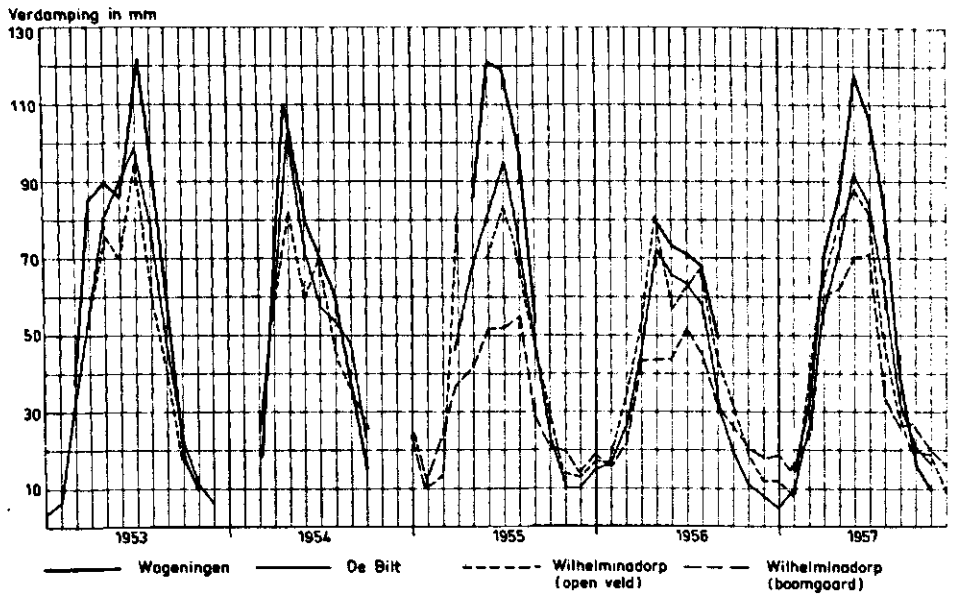


FIG. 66. Verdamping van een vrij wateroppervlak. Metingen met verdampingspannen.

FIG. 66. *Evaporation of water from an open pan.*

waarden voor de verdamping uit vrij water en de berekende verdamping volgens PENMAN komen te Wageningen redelijk overeen – RYTEMA, 1958 –.

Om een vergelijking mogelijk te maken van het vochtverbruik door een gewas met de verdamping van vrij water, zijn te Wilhelminadorp, zowel in het open veld, als in een boomgaard – zie fig. 65 – o.a. een verdampingsbak, een Piche-evaporimeter en enkele luchtthermometers opgesteld. Periodiek is naast de luchttemperatuur ook de luchtvochtigheid gemeten. Met behulp van de gegevens uit deze waarnemingsplekken, de windsterktemetingen en het percentage zonne-uren, die door het K.N.M.I. te Vlissingen worden bepaald, is de verdamping volgens PENMAN in het open veld berekend. In het merendeel van deze berekeningen is gebruik gemaakt van het nomogram van RIJKOORT, 1954, waarin stralingsgegevens voor De Bilt zijn opgenomen.

De uitkomsten van de verdamping uit verdampingsbakken op verschillende plaatsen zijn weergegeven in fig. 66 (Op regendagen is in plaats van de – doorgaans foutieve – gemeten verdamping van de bak te Wilhelminadorp, een verdamping aangehouden, die de bak volgens de Piche-verdampingsmeter vertoond zou hebben). Het resultaat van de berekeningen voor het open veld volgens PENMAN is vermeld in tabel 45.

Voor de beoordeling van de mogelijke verdamping door de ondergroei is kennis van de verdampingsomstandigheden in boomgaard dicht bij de grond van groot belang.

Op een aantal dagen is de verhouding bepaald tussen de hoeveelheid zonne-energie, die de grond in het open veld en die de grond in boomgaard bereikt, evenals de verhouding van de windsnelheden binnen en buiten een boomgaard op 0,50 m hoogte. Met behulp van de aldus bepaalde reductiefactoren is, uit de windsnelheid en het percentage zonneschijn gemeten te Vlissingen, uit de straling

FIG. 67. Regenmeter voor de bepaling van de neerslag die de grond onder de bomen in de boomgaard bereikt.

FIG. 67. *Raingauge used for determining precipitation that reaches the soil surface under a tree.*

te De Bilt en uit de boomgaard-temperatuur en -luchtvochtigheid, de potentiële verdamping in deze boomgaard dichtbij de grond berekend.

In de zomermaanden blijkt volgens onze berekeningen – tabel 45 – de potentiële verdamping dicht bij de grond in een boomgaard doorgaans 50–75 % te bedragen van de potentiële verdamping in het open veld. Dit stemt nagenoeg overeen met de verhouding tussen de waargenomen verdamping uit een verdampingsbak in boomgaard en in het open veld.

Zonder op de verklaring hiervoor in te gaan, moet vastgesteld worden, dat de verdamping van vrij water niet alleen op verschillende plaatsen uiteenloopt, maar ook op dezelfde plaats aanmerkelijke verschillen te zien geeft, indien deze op uiteenlopende wijze is gemeten, of is berekend – zie tabel 46 –. Met een gewijzigde constante voor de invloed van de wind in de formule van PENMAN, 1956, zal het verschil tussen de gemeten en berekende verdamping in Zeeland gedeeltelijk, maar zeker niet geheel, verdwijnen.

Wanneer men het verschil in de gemeten en in de berekende verdamping op dezelfde plaats in aanmerking neemt – zie tabel 46 – is het duidelijk, dat alleen de vergelijking van deze waarden met het uit vochtbalansen vastgestelde vochtverbruik van grond en gewas uiteindelijk zal moeten uitwijzen, welke berekende of gemeten verdampingswaarde de beste maat voor het werkelijke vochtverbruik mag heten.

[54] 2.3.1.2. *Neerslagmetingen*

Uit bosbouwliteratuur zijn vele gegevens bekend over de regen, die door de boom wordt onderschept en dus niet de grond bereikt. Bij de opstelling van de vochtbalans van de grond, kan in dit geval een gedeelte van de neerslag niet meegerekend worden. Ook voor de beoordeling van de groeiomstandigheden van de ondergroei in boomgaard, zou deze interceptie van belang kunnen zijn.

Verscheidene auteurs uit de bosbouw noemen intercepties, die variëren van 10–40 %

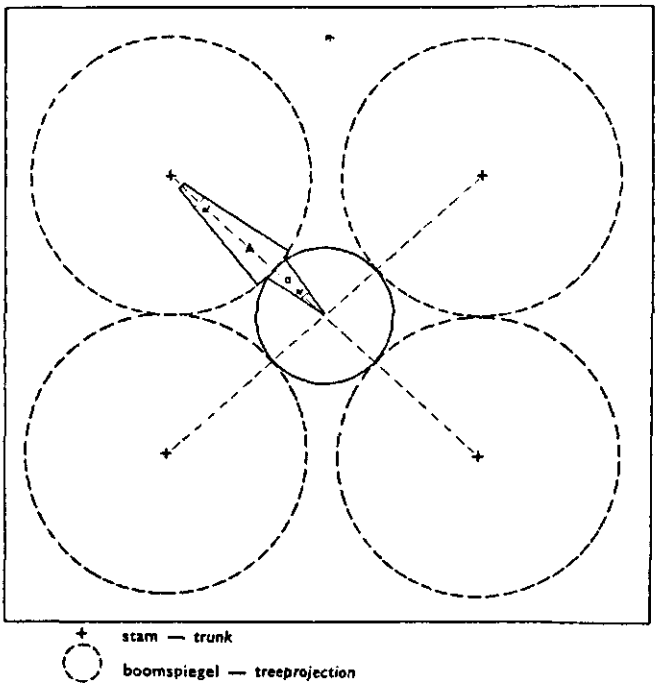


FIG. 68. Schema van fig. 67. Regenmeter met gelijk relatief oppervlak (A + a) in de twee cirkelvormig voorgestelde onderdelen van de eenheid van beplanting.

FIG. 68. *Scheme of fig. 67. Raingauge possessing an equal catching area in two circles pretty well covering the whole area of a plantation unit.*

– zie o.a. BODEUX, 1954, BÜHLER, 1906, EBERMAYER, 1900, KIRWALD, 1944, KITTREDGE, 1948 en OVINGTON, 1954, WIND, 1958 I –. BÜHLER, KIRWALD, KITTREDGE en OVINGTON geven op, dat van de onderschepte regen slechts enkele procenten langs de stam de grond bereikt. Uit kleine buien bereikt naar verhouding minder regen de grond. De altijd groene naaldbomen onderscheppen natuurlijk meer regen dan de bladverliezende loofhoutgewassen.

LINSKENS, 1952, ging in West-Duitsland de regenval na onder een grote appelboom, Schone van Boskoop met een doorsnede van 6 meter. Dit onderzoek leverde als resultaat, dat aan de zuidwest-zijde van de boom meer regen valt dan aan de zuid- en zuidoost-zijde. De boom vangt als een parapluie de regen, die veelal uit het westen neervalt, aan de westzijde op, zodat de ondergrond aan de oost- en zuid-zijde droger blijft. Bij een dichte bebladering valt relatief meer regen aan de buitenzijde van de kroon.

In warme klimaten, zoals in Zuid-Frankrijk, wordt de verdamping tijdens de regenbui soms in mindering gebracht op de totaal gevallen neerslag – CHAPTAL, 1944 – bij de opstelling van de vochtbalans van de grond.

Ons onderzoek naar de regenval onder vruchtbomen is uitgevoerd onder een struikvorm appelboom en een pereboom van dezelfde vorm – zie b.v. fig. 67 –.
De regenval uit een sector van de cirkels, die de kroonprojectie en de open ruimte tussen 4 bomen voorstellen in de betreffende aanplant, is opgevangen aan vier zijden van de proefboom. Aldus werd de gemiddelde neerslag opgevangen van een representatief stuk van de beplanting – zie fig. 68 voor het schema van het oppervlak waarvan de neerslag is opgevangen –. De regenmeters met de speciale vorm werden wekelijks aan een andere zijde van de boom geplaatst, zodat de regenval aan alle zijden onder de boom vergeleken kon worden met de regenval in een regenmeter in het open veld.
Zonder op de verklaring hiervoor in te gaan, moet hier de volgende waarneming worden vermeld. Onze grote „sectorregenmeters" vingen 10 à 15% meer neerslag op in het open veld dan de gestandaardiseerde regenmeter. De regenval in het open veld, genoemd in tabel 47, is voor dit verschil gecorrigeerd.

De hoeveelheid regen, die de grond onder onze goed gesnoeide, matig sterk groeiende vruchtbomen bereikt, blijkt weinig te verschillen van de regenval die in het vrije veld de grond bereikt – zie tabel 47 –. De interceptie bedraagt slechts 0–9%, gemiddeld 5% van de regenval. De lijzijde van de boom krijgt, zoals bij LINSKENS, iets minder neerslag dan de loefzijde.

De bijdrage van de dauw aan de neerslag is verwaarloosd, hoewel deze niet geheel verwaarloosd mag worden – 2.1.1.4. [18] en tabel 11 –. Deze bijdrage tot de neerslag is niet bepaald. Een nauwkeurig weegbare lysimeter opent voor deze bepaling meer perspectieven.
HANSEN, 1954, acht verschillende besproeiingen met een kleine dosis even effectief als enkele grote, indien dezelfde hoeveelheid water per oppervlakte wordt gegeven. Volgens gegevens van HESSE, 1956, kan dit niet juist zijn. In zijn „Klein-Lysimeter" zag hij een snellere gewichtsvermindering van zijn potten tijdens het opdrogen van bedauwde planten, dan wanneer de planten daarna onbedauwd gingen transpireren. De verdampingsstroom uit de grond door de plant, verloopt blijkbaar iets langzamer dan de verdamping van vocht op de oppervlakte van het blad. Neerslag in de vorm van dauw zal dus voor de plant ook niet geheel gelijkwaardig zijn aan de neerslag die de grond bereikt en daar wordt opgenomen.

[55] 2.3.1.3. *Vochtbalansen van boomgaard*

Bij de opstelling van de vochtbalans van de grond staat het doel voor ogen, om het totale vochtverbruik van het gewas te berekenen. Dit is voor een aantal van onze proefplekken uitgevoerd. Deze plekken zijn deels uitvoerig, deels beknopt behandeld in 2.2.1.4. Ze vertegenwoordigen goede tot redelijk goede zwartgehouden boomgaarden, zoals deze tijdens het onderzoek in Zuidwest-Nederland werden aangetroffen. Het vochtverbruik omvat de verdamping vanaf de grond, eventueel ook van de onderteelt en de verdamping door het fruitgewas en van de neerslag die zich op het fruitgewas bevindt (interceptiewater); tesamen de zogenaamde evapotranspiratie. De vochtbalans voor een bepaalde periode omvat de volgende posten:

Vochttoevoer	*Vochtverlies*
1. Regenval.	3. Verdamping vanaf de grond en vanaf het gewas, verdamping door het gewas.
2. Grondwateraanvoer van elders naar de proefplek (kwel).	4. Grondwaterafvoer naar elders (drainage, ontwatering, inzijging).
	5. Verandering van de vochtinhoud van het bodemprofiel.

Wanneer de vochtbalans aldus wordt opgesteld, zal de vochttoevoer gelijk zijn aan het

vochtverlies. Indien de posten 1, 2, 4 en 5 bekend zijn, kan post 3 berekend worden. In de zomer omvat post 3 het gevraagde vochtverbruik uit het profiel.

ad 1. De regenval, bepaald in het vrije veld te Wilhelminadorp is in deze post opgenomen. Voor dauwvorming is geen toeslag op de neerslag gegeven. Dauw die in de regenmeter wordt afgetapt is bij de neerslag geteld. Aftrek voor oppervlakkige afstroming van regenwater van de proefplekken naar elders is evenmin toegepast. Volgens veldwaarnemingen is de oppervlakkige afstroming niet belangrijk geweest.
ad 2. Daar de grondwaterstand later in de zomer in omringend bouwland iets hoger zal zijn dan in boomgaard – zie 2.2.3.1. – en ook de slootwaterstanden dan veelal iets hoger zijn dan de grondwaterstand in de proefplekken[1], is een lichte kwel in principe niet verwaarloosbaar. De ligging van de sloten ten opzichte van de proefplekken en de afstand van deze plekken tot de buurpercelen (veelal meer dan 20 m) leiden tot de veronderstelling dat deze wateraanvoer van geringe betekenis zal zijn. De proefplekken waren doorgaans op dezelfde wijze beplant en ontvingen dezelfde bodembehandeling als de omgeving, zodat grondwatertoevoer uit andere gedeelten van hetzelfde perceel niet aannemelijk is. Hierom is de kwel bij de opstelling van de vochtbalansen buiten beschouwing gelaten.
ad 4. De ontwatering voert in de voorjaarsmaanden februari tot april, nadat in de bovenste grondlagen de veldcapaciteit is bereikt en het normale voorjaarsgrondwaterpeil zich heeft ingesteld, meestal nog veel water af, doordat het grondwater af en toe aanmerkelijk boven het slootwateroppervlak stijgt. In dezelfde tijd, maar ook nadien, zal door de daling van het slootwaterpeil nog een deel van het grondwater door ontwatering of drainage verloren kunnen gaan. Deze afvoer is echter moeilijk te bepalen. Later in de zomer is de grondwaterstand veelal lager dan het slootpeil zodat deze kans op ongecontroleerd vochtverlies kleiner wordt. Bij de opstelling van de vochtblans is aangenomen, dat het verlies aan grondwater vanaf half februari tot half april niet voor rekening komt van de evapotranspiratie. Na half april is aangenomen dat de grondwaterdaling het gevolg is van de evapotranspiratie.

Indien er een hevige regenval optrad, die in zo'n geval vaak gemarkeerd wordt door een grondwaterstijging, is geen vochtbalans voor de betreffende periode opgesteld. De kansen op een oncontroleerbare waterafvoer naar elders zijn dan te groot. Na zware regenbuien in de zomer is verschillende malen waargenomen, dat de regen het grondwaterpeil verhoogde, terwijl het bovenliggende profiel nog niet op veldcapaciteit gekomen was. Dit is b.v. bij proefplek 28 waargenomen op 4-7-1952 (neerslag 39 mm) en 7-8-1954 (neerslag 24 mm), minder duidelijk op 22/23-6-1953, (neerslag 25 mm) en 1-8-1953 (neerslag 28 mm). Bij proefplek 24 op 4-7-1952 en op 22/23-6-1953.

ad 5. De verandering van de vochtinhoud van het bodemprofiel is bepaald door de vergelijking van de vochtgehalten en de verschillende grondlagen boven het grondwater. Omstreeks het midden van iedere maand is de vochttoestand van het profiel tot 1 m diepte bepaald. Middenin de zomer, omstreeks de maand juli en aan het eind van het seizoen, eind september of in oktober, is de vochttoestand van de bodemlagen dieper dan een meter, maar boven het grondwater, weer nagegaan. De verandering in de vochtinhoud van het profiel beneden 1 m diepte is regelmatig verdeeld over de periode tussen de twee zomer-bemonsteringen.
ad 3. De evapotranspiratie, de som van de verdamping vanaf de bodem, door en vanaf het gewas, is tenslotte de sluitpost op de vochtbalans. Deze bevat dus ook alle fouten, die in de andere posten zijn gemaakt. De grondwateraf- en toevoer naar de proefplekken zijn wel de meest storende factoren bij deze opstelling. Zonder een uitvoerig onderzoek waren deze fouten echter niet nader te analyseren. Omdat de verdamping vanaf het gewas in deze post is begrepen, is de interceptie – zie 3.2.1.2 – van de neerslag niet in post 1 begrepen.

[1] Deze gegevens zijn voor belangstellenden ter inzage.

Een boomgaard blijkt, volgens de opgestelde vochtbalansen, vanaf half maart tot half oktober, dus bijna het gehele zomerseizoen, ruim 500 mm vocht te verbruiken – tabel 48 –. In het gehele seizoen zal het vochtverbruik waarschijnlijk een hoeveelheid van 550 mm benaderen. De helft van deze hoeveelheid wordt in slechts drie maanden verbruikt. In deze maanden, half april tot half juli, valt de voornaamste periode van de scheutgroei. Vanaf half juni tot half september vindt bij het najaars- en winterfruit het grootste vochtverbruik plaats; 80–100 mm per maand. Zomerfruit zal in deze periode een geringere hoeveelheid verbruiken. Voor de hoeveelheid drainwater in een boomgaard zal dus overblijven de jaarlijkse neerslag, verminderd met de evapotranspiratie vanaf half april tot half oktober, verminderd met de evapotranspiratie vanaf half oktober, tot de najaarsbladval en verminderd met de winter-evaporatie vanaf het grondoppervlak. Meer dan ca 150 mm drainwater zal er gemiddeld van de ruim 690 mm neerslag, die er in de omgeving van Vlissingen valt, – PUBLIKATIE 140-7 K.N.M.I. – dan ook niet afgevoerd worden.

Dit is eveneens af te leiden uit gegevens over grondwaterstanden, die frequent worden waargenomen, gecombineerd met gegevens over de regenval en de verdamping. In een periode, waarin de neerslag geheel door ontwatering wordt afgevoerd en niet wordt gebruikt voor aanvulling van de vochtvoorraad in de bodem, vertoont de grondwaterstand in goed ontwaterde profielen namelijk een onrustig verloop; iedere snelle stijging na een regenbui wordt gevolgd door een betrekkelijk snelle daling door de ontwatering. Deze perioden met drainage zijn uit dagelijkse of wekelijkse opnamen van de grondwaterstand in enige fruitpercelen gedurende 7 seizoenen bekend – tabel 49 –.

De neerslag, die in deze periode viel, verminderd met de hoeveelheid die direct vanaf het grondoppervlak verdampte, levert, indien de vochtvoorraad in de bodem ongewijzigd blijft (zoals gewoonlijk het geval is gedurende de winter), de hoeveelheid drainwater op, die door de grond stroomde. De hoeveelheid, die direct vanaf het oppervlak verdampt, is in de winter meestal niet groot. Ze is gelijk gesteld aan de verdampte hoeveelheid van een vrij wateroppervlak in een boomgaard – fig.66 –.

De berekende hoeveelheid, door de ontwatering afgevoerde, neerslag vertoonde opmerkelijke verschillen in de drainage-perioden 1952/1953 tot 1958/1959 – tabel 49 –. Het voorafgaande weer, de regenval en de verdamping, hebben uiteraard grote invloed op deze hoeveelheid. Na de droge zomer van 1955 was de hoeveelheid drainwater klein; – nauwelijks 40 mm –, na de natte koude zomer van 1954 daarentegen groot – bijna 250 mm –. Gemiddeld is over deze 7 seizoenen een kleine 130 mm neerslag per seizoen door drainage afgevoerd. Nu komen er in deze reeks relatief erg veel droge winters voor – zie de onderste rij getallen in tabel 49 –, zodat de drainage, gemiddeld over een lange reeks van jaren, wel iets meer – 140 tot 150 mm – zal bedragen.

In een soortgelijk onderzoek naar het vochtverbruik in boomgaard op de Marschböden van het Neder Elbegebied–ROTHE, 1933 –, werd een verbruik van 580 mm per seizoen gevonden; in de periode van mei tot augustus 250 mm. In het bestudeerde gebied kwamen veel hoge grondwaterstanden voor en de boomgaarden lagen in gras. De capillaire toevoer van grondwater was volgens ROTHE in deze zware gronden van weinig betekenis, evenals de toevoer van water uit de perceelscheidingsloten. VERHOEVEN, 1953, kwam tot een dagelijks vochtverbruik door landbouwgewassen in de zomer op geïnundeerde grond in zuidwest-Nederland, van eveneens ongeveer 3 mm. Dit betekent evenwel, dat akkerbouw, met voor een deel vroegrijpende gewassen, 50 tot 100 mm minder vocht per seizoen zal verbruiken dan boomgaard. VERHOEVEN geeft voor de jaarlijkse drainage uit bouwland een hoeveelheid van 200 mm.

MASCHHAUPT, 1938, vond een gemiddelde drainage van ruim 200 mm bij akkerbouwgewassen te

Groningen in lysimeters zonder grondwater. Met een lysimeter-installatie berekende MAKKINK, 1953, 1955, 1957, evapotranspiratiewaarden voor grasland van nauwelijks 350 tot ruim 400 mm in de maanden mei tot en met september; voor het gehele jaar nauwelijks 400 tot ruim 600 mm. Ook uit deze onderzoekingen komt de aanwijzing, dat vooral akkerbouwgewassen en in mindere mate ook grasland, een kleiner deel van de neerslag verbruiken dan boomgaard.

De evaporatie vanaf de grond onder vruchtbomen is niet zonder betekenis. Van nog meer belang is echter de evapotranspiratie van de ondergroei – zie de betekenis van de vochttoestand van de voedingszone in 2.1.1.4. [21] –. De bepaling van de evaporatie en transpiratie van de ondergroei was echter door een eenvoudige bemonstering van onze proefplekken nauwelijks mogelijk. De grondwaterbeweging naar de binnen een groot perceel gelegen kleine proefplekken, die veelal een verschillende bodembehandeling ontvingen en de invloed van de capillaire opstijging, maken de opstelling van een vochtbalans bij een uiteenlopende bodembehandeling bij voorbaat vruchteloos.

Voor het verkrijgen van enige indruk van de evaporatie van de grond en de evapotranspiratie van de grasondergroei in boomgaard, werd in 1953 en/of in 1954 een kleine proef uitgevoerd. Het gewichtsverlies van ingegraven potten met grond, al of niet met redelijk kort gehouden gras begroeid, is nagegaan – fig. 19 –. De potten waren 20 cm diep. Ze werden beplant met zo uniform mogelijke graszoden van een goede grasmat uit een weiland. Uit het gewichtsverlies (gecorrigeerd voor toename door neerslag) van deze potten liet zich de verdamping berekenen. Door het natte weer tijdens de nazomer van 1953 en de zomer van 1954, liep het regenwater soms over de rand van de potten, of raakte de grond veel sterker verzadigd dan in natuurlijke ligging, zodat een te hoog vochtverbruik werd berekend.

De voorlopige indruk uit onze oriënterende proef – tabel 51 – geeft aan, dat de evaporatie ruim de helft van de totale evapotranspiratie kan bedragen. De grasbegroeiing zal in het vochtverbruik niet veel meer dan 20 % boven de evaporatie van de onbegroeide grond uitkomen – tabel 50 –.

Hoog gras, in een voldoende dicht bestand, zal nog wel iets meer kunnen verbruiken dan kortgehouden gras – zie MAKKINK, 1951c –.
Deze resultaten sluiten enigszins aan bij de gegevens uit de bosbouwliteratuur, waar de verdamping in het bos vaak de helft of minder van de verdamping buiten het bos is. BÜHLER, 1906, geeft een verdamping van 55 % in beukebos op open plekken, EBERMAYER, 1900, geeft een waarde van 40 %, KIRWALD, 1944, geeft voor beukebos 25-50 %, KITTREDGE, 1948, geeft een evaporatie van 10-70 %, al naar de mulchlaag op de grond.
Voor bouwland kwam VERHOEVEN, 1953, tot een verdamping van 2 mm per dag voor zwarte (recent geïnundeerde, dus te vochtige) grond in het zomerseizoen. Deze hoeveelheid is bijna gelijk aan de neerslag in natte zomers. Zoals te verwachten valt, ligt deze verdamping in het open veld hoger dan onder vruchtbomen, waar de zonne-energie door de bomen verminderd wordt en ook de windsnelheid wordt getemperd.
Voor het vochtverbruik door de grasondergroei is een opmerking van MAGILL, 1954, interessant. Het gras zou namelijk extra neerslag in de vorm van dauw ontvangen, zodat het vochtverbruik door deze ondergroei aanmerkelijk hoger zal zijn dan zich uit een vochtbalans laat aflezen. Of deze veronderstelling juist is kan vrijwel alleen uitgemaakt worden door een verfijnd onderzoek naar de vochtbalans.
Voor een juiste bepaling van de evapotranspiratie van het gras en van een grasboomgaard zouden waarnemingen en bepalingen uitgevoerd moeten worden in een behoorlijk aantal grasboomgaarden naast zwartgehouden percelen. Voor zeer nauwkeurige bepalingen van de vochtbalans zou een met

fruit beplante, weegbare lysimeter in een grasboomgaard nodig zijn. Geen van beide stond ons echter ter beschikking.

[56] 2.3.1.4. *De verhouding van het vochtverbruik door boomgaard en de gemeten of berekende verdamping van een vrij wateroppervlak*

De verhouding van de uit vochtbalansen bepaalde evapotranspiratie tot de verdamping van vrij water, moet van grotere betekenis geacht worden, dan de absolute cijfers zelf. Deze verhoudingscijfers maken een schatting mogelijk van de evapotranspiratie in andere dan de bestudeerde gebieden, waar nagenoeg dezelfde verhoudingen verwacht kunnen worden.

De cijfers voor de verhouding tussen evapotranspiratie van boomgaard en de verdamping van vrij water (berekend volgens PENMAN); $E_g/E_{o\text{-}p}$, lopen op van een waarde $\pm$ 0,65 in mei en juni tot een waarde van 0,85 in juli/augustus en verder tot een waarde van ruim 1,0 in augustus/september tegen de pluktijd – tabel 52 –.

Voor de evapotranspiratie van boomgaard ten opzichte van de verdamping van water uit de bak – zie 2.3.1.1. –; $E_g/E_{o\text{-}b}$, lopen de verhoudingscijfers vanaf mei/juni van ca 0,85 op, tot ruim 1,0 in juli/augustus en verder tot ruim 1,6 in augustus/september. Deze verhouding ligt nog laag ten opzichte van de waarde die WILCOX c.s. 1953, opgeven voor boomgaard in Brits Columbia (West-Canada). Deze auteurs geven voor de verhouding $E_g/E_{o\text{-}b}$ een gemiddelde waarde 1,3, die op warme dagen wel tot 2 oploopt. BLANEY en CRIDDLE – zie HOUK, 1951, hoofdstuk 10 – geven een verhouding voor boomgaard van 0,65. Deze verhouding ligt iets lager dan die voor akkerbouwgewassen, waarvoor 0,75 wordt opgegeven. Deze verhoudingscijfers zijn laag, maar de berekening van hun E_o-waarde is op geheel andere wijze geschied.

De factor E_g/E_0 wordt aangeduid door de factor f' ter onderscheiding van de factor f, die de verhouding van de potentiële evapotranspiratie tot E_0 aangeeft. Verschillende onderzoekers delen mee, dat de verhouding $E_g/E_0 = f'$ afneemt naarmate er minder beschikbaar vocht in de wortelzone voorkomt – PENMAN, 1949, MAKKINK en VAN HEEMST, 1953, 1956, LARSON en JOHNSTON, 1955, SLAYTER, 1956. CHAPTAL, 1944, noemt zelfs voor het droge Zuid-Frankrijk een waarde van $f' = 0{,}4$, terwijl als een normale waarde voor f' 0,65 tot 1,0 geldt.

Het is duidelijk dat onze f'-waarden later in het seizoen groter worden. Dit valt ook op te merken bij profielen die gedurende het gehele seizoen een goede vochttoestand bezitten. Dit kan ten dele toegeschreven worden aan de betere vochttoestand van de bovengrond door de grotere regenval en het grotere aantal regendagen in de maanden juli, augustus en september, waardoor de evaporatie toeneemt vergeleken met het verdampingsverloop in de voorafgaande maanden – zie BRAAK, 1933 –. Een grote regenval zal ook een versnelde verdamping direct vanaf de bladoppervlakte ten gevolge hebben, vergeleken met een verdamping die uit de grond via de plant moet plaatsvinden. Daar de interceptie bij vruchtbomen geen grote rol speelt, kan dit feit geen afdoende verklaring geven.

Ook bij landbouwgewassen is een toename van de factor f' in de loop van het seizoen meermalen waargenomen – MAKKINK, 1953, RUSSELL en DAVIDSON, 1956 –. Veelal is dit te wijten aan de toeneming in lengte van het gewas. Gewassen die geen gesloten oppervlak vertonen zullen ook meer kunnen verdampen dan een vrij wateroppervlak dat dezelfde oppervlakte beslaat – PENMAN, 1952-. Bij deze gewassen kan door de advectieve warmte, meegevoerd door de wind in het gewas, een

evapotranspiratie verwacht worden, die de verdamping van vrij water aanmerkelijk te boven gaat. Dit geval doet zich blijkbaar ook voor bij de boomgaarden waar ons onderzoek betrekking op had.

De lagere f'-waarden bij fruit in de voorzomer zullen vooral verklaard moeten worden uit de kleinere evaporatie van de bovengrond, die dan doorgaans droger is, dan in het midden van de zomer en in de herfst. Dit betekent dat onze f'-waarden hoger zullen uitvallen, indien boomgaard geregeld wordt besproeid, zodat de bovengrond steeds vochtig blijft. Ook uit latere proeven met besproeien werden hiervoor aanwijzingen verkregen.

Het toenemend vruchtoppervlak kan nauwelijks als een van de oorzaken genoemd worden voor de hogere f'-waarden aan het eind van het seizoen met de vruchtgroei. De totale oppervlakte van de vruchten is daarvoor veel te klein.
Het resultaat van de berekeningen van de verhouding E_g/E_o gaf ons geen aanleiding aan een van de drie series verdampingscijfers de voorkeur te geven.
De invloed van verschillende factoren op deze verhouding en het beperkte aantal vrij ruwe gegevens maken een keuze onmogelijk.

Uit de oriënterende proef – zie de vorige paragraaf en de tabellen 50 en 51 – valt af te leiden, dat de verdamping vanaf zwartgehouden grond en de grasmat onder de bomen, toeneemt in een natte tijd. De f'-waarden van deze objecten liepen van de drogere voorjaarsmaanden op, naarmate de neerslagrijke zomermaanden aanbraken. Zwart gehouden grond, maar vooral ook gras, kunnen bij een vochtige toestand onder de vruchtbomen nagenoeg evenveel verdampen als een vrij wateroppervlak onder de boom. In een droge tijd verdampt gras ten opzichte van vrij water waarschijnlijk ruim 10 % meer dan zwarte grond, in vochtige zomermaanden na juli zal dit verschil zeker kleiner worden.
De geaccumuleerde verdamping, de neerslag en de evapotranspiratie van boomgaard, in een jaar met een gemiddelde weersgesteldheid in zuidwest-Nederland, is uitgebeeld in fig. 69 en opgenomen in tabel 53.

Bij dit beeld is aangenomen, dat de evapotranspiratie in de winter, het vroege voorjaar en de late najaarsmaanden, dus in de bladerloze tijd van een boomgaard, nagenoeg gelijk zal zijn aan de halve verdamping volgens PENMAN.

Dez eevapotranspiratie zal misschien iets te hoog zijn aangenomen, maar hoeveel valt moeilijk op te geven. De evapotranspiratie in de maanden november tot en met maart van de met gras begroeide lysimeters te Oudewetering en te Wageningen – zie WIND, 1958 – bedroeg ruim de helft van de verdamping van een vrij wateroppervlak – zie KRAMER, 1957 –. De grond in boomgaard, met gras of onkruid begroeid, zal zeker niet meer verdampen dan de helft van een vrij wateroppervlak in het open veld.
Het vochtverbruik in de zomermaanden is berekend als het produkt van de gemiddelde verdamping van vrij water (volgens Penman berekend) × de f'-waarde voor de betreffende periode. Het vochtverbruik van een grasboomgaard is gesteld op 110 % van het verbruik door een zwartgehouden boomgaard, gedurende de zomer.

In deze figuur is goed te zien, hoe de helling van de evapotranspiratie-lijn in het begin van de zomer groter wordt dan die van de neerslaglijn. In de periode daarna gaat de plant dus putten uit de bodemvoorraad aan vocht. In de nazomer kruisen de hellingen van de lijnen zich andermaal en begint de aanvulling van de bodemvoorraad. Pas nadat de bodemvoorraad tot een zodanige hoeveelheid is aangevuld, dat de grondwaterspiegel tot boven de slootwaterspiegel of boven het drain-niveau is gerezen, zal

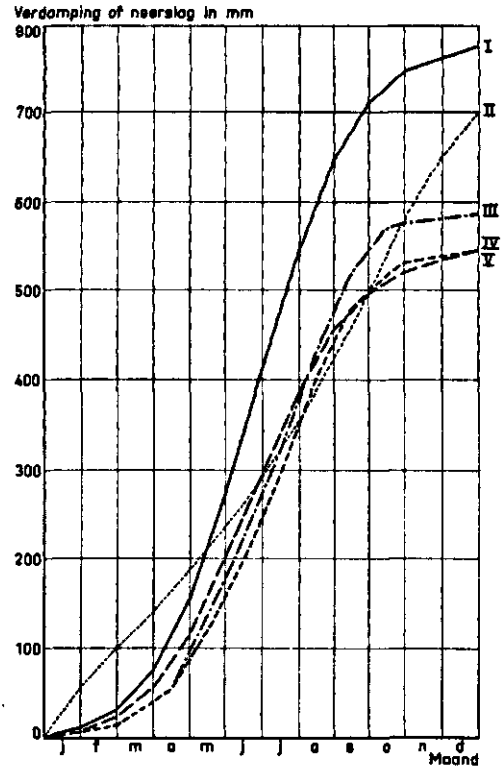


FIG. 69. De verdamping, de neerslag en het vochtverbruik van boomgaard in een gemiddeld jaar in zuidwest-Nederland (geaccumuleerd).

FIG. 69. *Average accumulated evaporation, precipitation and moisture uptake by an orchard in the south west of the Netherlands (ordinate) during the year (abscissa).*

I = Berekende verdamping vlg. formule Penman; K.N.M.I. – Vlissingen.
Evaporation E_o, according Penman for Flushing (K.N.M.I.) 20 years average.

II = Regenval; K.N.M.I. – Vlissingen 1905–1953.
Precipitation for Flushing (K.N.M.I.) 40 years average.

III = Evapotranspiratie van een met gras begroeide boomgaard (110% van zwartgehouden boomgaard).
Evapotranspiration of a grassed orchard (= 110% of IV).

IV = Evapotranspiratie van een zwartgehouden boomgaard.
Evapotranspiration of a clean cultivated orchard.

V = Gemeten verdamping uit de verdampingsbakken; K.N.M.I. – De Bilt/Wilhelminadorp 1950 t/m 1957.
Evaporation of an open pan at De Bilt (K.N.M.I.) or at Wilhelminadorp (1950-1957) 40 years average.

door de ontwatering (deels door drainage) de overtollige neerslag afgevoerd worden.

Het vochtverbruik van zwartgehouden boomgaard in de afzonderlijke maanden van het groeiseizoen in Vlissingen en enkele andere plaatsen in de nabijheid van de bekendste fruitteeltcentra in Nederland, is uit de potentiële verdamping van open water berekend met behulp van de voorgaande gegevens over de f'-waarden voor boomgaard in de loop van het seizoen. Het resultaat van deze berekeningen is tezamen met de neerslag afgebeeld in fig. 70. In een gemiddeld jaar blijkt er in vrijwel iedere maand, vanaf mei tot eind september, een neerslag-tekort ten opzichte van het vochtverbruik door boomgaard te bestaan in de beschouwde fruitteelt-centra in Nederland. Dit neerslag-tekort is het grootst in het begin van het groeiseizoen; in de maand mei bedraagt het reeds ruim 20 mm. Het neemt doorgaans pas duidelijk af in de maanden juli-augustus. De zuidelijke gebieden vertonen echter een weinig sprekend maximum in het neerslagtekort in augustus. In Vlissingen is dit tekort in augustus het grootst, ruim 30 mm. Vlissingen vertoont het hoogste neerslagtekort van alle vergeleken plaatsen in Nederland. In een gemiddeld jaar is het cumulatieve neerslag-

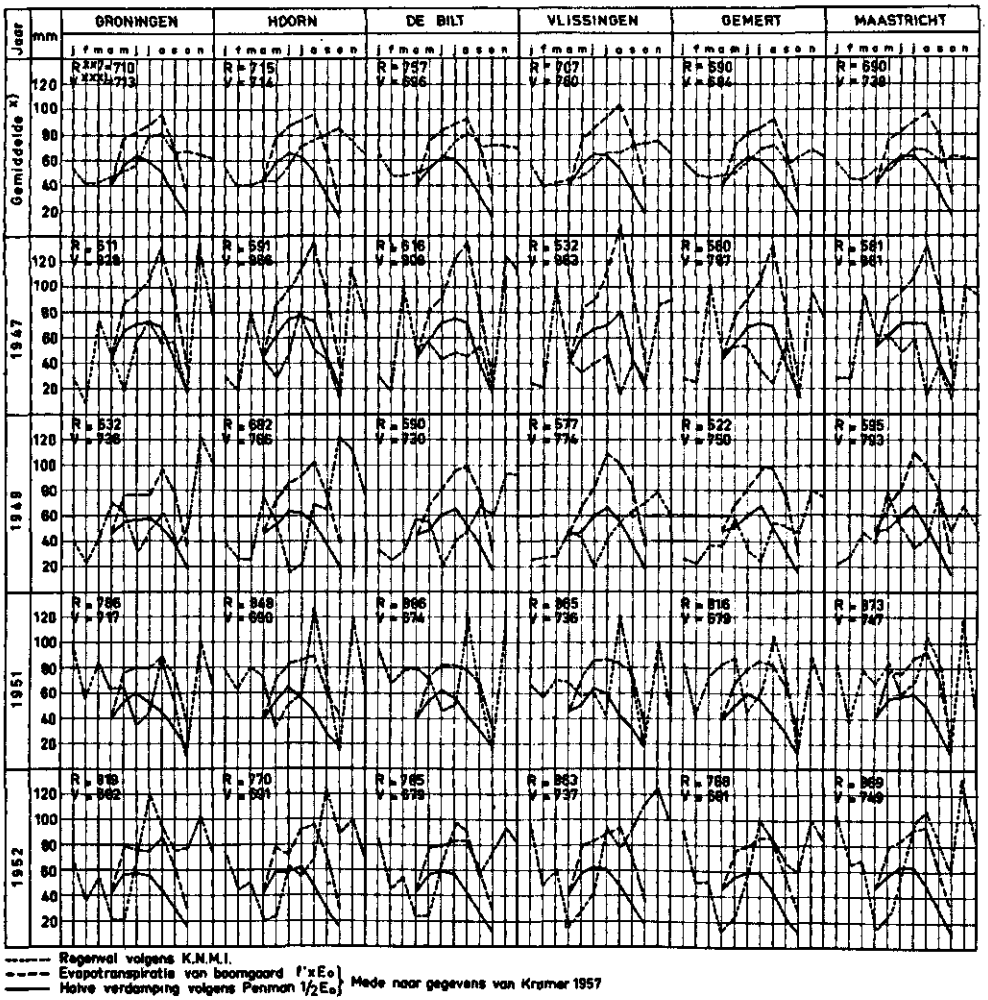


FIG. 70. De neerslag en het vochtverbruik door boomgaard.

x Neerslag als 40-jarig gemiddelde vlg K.N.M.I. (Maandoverzicht weersgesteldheid in Nederland).
Evapotranspiratie van boomgaard als 20-jarige gemiddelde $f' \times E_o$.
E_o naar gegevens van Kramer 1957.
Halve verdamping volgens PENMAN als 20-jarig gemiddelde $\frac{1}{2} E_o$.

xx R = totale neerslag in het betreffende jaar.

xxx V = Verdamping, E_o, volgens PENMAN in het betreffende jaar.

N.B. Onder boomgaarden zijn alleen begrepen percelen beplant met hard fruit, waarvan de grond in het voorjaar en de voorzomer zwart wordt gehouden en later op het jaar geen zware begroeiing draagt.

FIG. 70. *Precipitation and moisture uptake by orchard (clean cultivated); moisture uptake calculated from evaporation data (ordinate) during the year (abscissa) for different years (gemiddelde = average year) and places in the Netherlands.*

Broken line (short streaks): precipitation (K.N.M.I.). R = total precipitation, for the year considered. Broken line (long streaks): evapotranspiration of an orchard $f' \times E_o$. V = total evaporation E_o acc. Penman. Full line: 50 % of evaporation acc. Penman.

tekort in de periode van april tot en met september in Vlissingen ruim 120 mm, in Hoorn bijna 100 mm, in Maastricht ca 90 mm, in Groningen en Gemert ca 80 mm en in De Bilt ruim 60 mm.[1] Deze periode is aldus gekozen, omdat in april de scheutgroei begint en daarna de evapotranspiratie de neerslag gaat overtreffen. In de maand september valt vrijwel het eind van de vruchtgroei, terwijl in de periode daarna de neerslag de evapotranspiratie belangrijk gaat overtreffen.

De grillige verdeling van neerslag en verdamping in de afzonderlijke jaren geeft wel aan, dat beschouwingen over een gemiddeld jaar van beperkte waarde zijn. Maanden met een neerslag-tekort komen ook in de natste jaren voor; zie de situatie in de maanden juni-juli in 1951 en in de maanden april en mei in 1952, beide neerslagrijke jaren. Omgekeerd komen er ook nog regenrijke maanden voor in droge jaren; zie de toestand in de maand april in de droge jaren 1947 en 1949.

Een grove indruk over de uitdroging van de voedingszone is te verkrijgen, indien de neerslag vergeleken wordt met de halve verdamping volgens PENMAN. De halve verdamping geeft ongeveer de minimum vochtonttrekking in de voedingszone. Indien de bovengrond vochtig is, zal de evaporatie (eventueel samen met de transpiratie van de ondergroei) ruim 50 % van de totale evapotranspiratie kunnen uitmaken volgens het voorgaande betoog. De vruchtboomwortels in de voedingszone kunnen tegelijkertijd ca de helft van de resterende 50 % van de evapotranspiratie aan de bovenlagen onttrekken omdat gemiddeld ca 50 % van de fijne wortels in de voedingszone voorkomt – zie ook 2.1.2.1., [27] –.
Wanneer de bovengrond echter goed is opgedroogd, zal de evaporatie sterk teruglopen en bij een onbegroeide (niet met een ondergroei begroeide) bovengrond zal de voedingszone dan nauwelijks 50 % van de evapotranspiratie leveren.
De vochtontrekking aan de bovengrond ligt dus tussen een hoeveelheid gelijk aan de halve verdamping volgens PENMAN en het totale vochtverbruik (evapotranspiratie) door boomgaard, maar benadert volgens de gegevens uit de proefplekken – zie 2.2.1.4. – meer de halve verdamping.
Uit fig. 70 is de invloed van het doorgaans droge voorjaar af te lezen. In mei en juni overtreft de vochtonttrekking uit de voedingszone de gemiddelde neerslag. Deze uitdroging in het voorjaar blijkt het grootst in de kustgebieden. In Hoorn en Vlissingen is het neerslag-tekort ten opzichte van de halve verdamping dan ruim 15 mm per maand. In het binnenland is het neerslagtekort kleiner; de halve verdamping volgens PENMAN overtreft daar de neerslag met nauwelijks 5 mm per maand.
In de zomer gaat de neerslag de halve verdamping van open water weer overtreffen. Ook wordt na het voorjaar, tot en met augustus, de helling van de neerslaglijn in fig. 70 groter, zodat deze de helling van de evapotranspiratie-lijn gaat overtreffen. Dit betekent, dat de vochtinhoud van het profiel middenin de zomer weer gaat toenemen.

Een vergelijking van de toestand in enkele afzonderlijke jaren geeft grote verschillen met het gemiddelde te zien. Ook in neerslagrijke jaren als 1951 en 1952 komen in de voorzomer op de meeste plaatsen nog langdurige perioden voor, waarin de halve verdamping de neerslag behoorlijk over-

[1] Wegens de uitzonderlijke ligging van het waarnemingsstation van het K.N.M.I. in Vlissingen, vlak aan de winderige regenarme kust, zal het verschil in het neerslagtekort tussen het Zeeuwse en de andere fruitteeltgebieden in de nabijheid van de genoemde waarnemingsstations kleiner zijn. Voldoende gegevens over het weer middenin Zeeland ontbreken echter.

treft. Omgekeerd bestond er in de voorjaarsmaanden van het droge jaar 1949 geen of slechts een klein neerslagtekort.

[57] 2.3.2. DE OPTIMALE GRONDWATERSTAND

Bij de optimale grondwaterstand heerst de gunstigste vochttoestand in het bodemprofiel voor de groei en de produktie van het gewas. Er bestaan in ons land grote gebieden, waar de fruitteelt niet over voldoende water voor beregenings- en bevloeiingsdoeleinden kan beschikken. Onder deze omstandigheden dringt de vraag zich op, in welke mate het grondwater rechtstreeks kan bijdragen tot een goede vochttoestand in de wortelzone van het fruit. Hierbij willen wij de mogelijkheid van een grondwateraan- of afvoer door kwel of inzijging, buiten beschouwing laten. Onder onze klimaatsomstandigheden, met een voortgaande uitdroging van het profiel gedurende de zomer vanaf de oppervlakte, moet de grondwaterdiepte dan zo gekozen worden, dat een redelijke bewortelingsdiepte voor het gewas beschikbaar blijft en een zodanige capillaire opstijging mogelijk is, dat er in de wortelzone een optimale vochttoestand voorkomt.

Voor deze gewenste optimale vochttoestand in de grond geldt dat deze tot een goede beworteling aanleiding moet geven en tevens moet voldoen aan de volgende normen, die aan de hand van het onderzoek in 2.1.1.4. [21], [17], [20] en [18] kunnen worden opgesteld:

1. In de periode met de sterkste scheutgroei en de grootste nitrificatie, in de tijd van half april tot half juli, mag het midden van de voedingszone slechts weinig verder uitdrogen dan tot de optimale vochttoestand voor de scheutgroei – zie 2.1.1.4. [17] en [21], tabel 5a en 17 –, d.w.z. tot 60 à 70 % beschikbaar vocht. Deze norm is zowel gesteld om een optimale minerale voeding te waarborgen, als om een optimale vochttoestand in de grond voor de scheutgroei te verkrijgen.

2. Ten einde een optimale vochttoestand in de wortelzone te verwezenlijken, mag aan het eind van de periode waarin de sterkste scheutgroei plaatsvindt (omstreeks half juli), het vochtgehalte aan de onderzijde van de voedingszone (dit is tegelijk ongeveer het midden van de wortelzone), niet verder gedaald zijn dan tot het optimale vochtgehalte voor de scheutgroei; d.w.z. in zavelgrond mag de vochtspanning tot omstreeks pF = 2,0 en in zandgrond tot omstreeks pF = 1,8 gestegen zijn – zie 2.1.1.4. [17] –. Deze norm is minder streng dan de eerstgenoemde. Zoals hierna aangetoond zal worden, blijkt er geen grondwaterstand te bestaan, waarbij aan de eerste norm voor de optimale vochttoestand voldaan kan worden. Daarom is deze tweede norm opgesteld. Ze waarborgt wel een nagenoeg optimale vochttoestand in de wortelzone voor de scheutgroei, maar zal niet volledig tot een optimale toestand in de voedingszone voor de minerale voeding leiden.

De grondwaterstand zou nu zo ingesteld moeten worden, dat deze pF enige tijd gehandhaafd kan blijven. Daartoe moet een capillaire opstijging (of een andere vochtaanvoer) van 3 mm water per dag naar de voedingszone mogelijk zijn. Een vochtverbruik van 3 mm per dag is een veel voorkomende gemiddelde dag-evapotranspiratie in een droge periode vóór half juli.

3. Na de periode met de meeste scheutgroei mag de voedingszone niet tot het verwelkingspunt uitdrogen – zie 2.1.1.4. [18] –. Omstreeks half augustus mag daarom onderin

de voedingszone (40 cm diep) in zavelgrond een pF = 3,0 niet worden overschreden, in zandgrond een pF = 2,0.

Een capillaire opstijging (of andere vochtaanvoer) van 1½ mm per dag (het gemiddelde evapotranspiratie-overschot in augustus) uit het grondwater naar de voedingszone maakt het mogelijk, dat de genoemde pF benaderd wordt op de aangegeven diepte.

Indien aan de eerstgenoemde norm voldaan kan worden is automatisch aan de tweede voldaan. Indien aan de tweede norm is voldaan, kan het midden van de voedingszone te sterk uitdrogen om aan de eerste norm te kunnen voldoen, aangezien immers de bovengrond in het voorjaar sneller uitdroogt dan de diepere lagen. Het valt niet vooruit te berekenen of aan de andere normen voldaan zou worden, indien aan de derde norm is voldaan.

Wanneer er in de zomer voldoende water door beregening of bevloeiing wordt toegevoerd, zal aan alle vorengenoemde normen voldaan kunnen worden, ook al zou er geen grondwaterinvloed op de vochttoestand bestaan. In het laatstgenoemde geval blijft, globaal gezien, de grondwaterspiegel dus dieper onder de wortelzone dan de hoogte van de „snel-capillaire zone" – zie [23] – bedraagt. Een dergelijke diepe grondwaterstand heeft onder deze omstandigheden verscheidene voordelen, onder meer omdat ze aanleiding kan geven tot een diepe beworteling en een gemakkelijker ontwatering. Een diepe beworteling maakt het gewas aanmerkelijk minder gevoelig voor droogte. Op een belangrijk deel van de Nederlandse fruitpercelen is echter niet voldoende geschikt water aanwezig, of de bewortelingsdiepte blijft door de profielopbouw ook bij een diepe grondwaterstand beperkt.

Voor bodemprofielen, waar een grondwaterinvloed gewenst is voor de instelling van een goede bodemvochttoestand, zal de optimale grondwaterstand in het volgende nader worden beschouwd. Zoals uit de berekeningen zal blijken, geldt de berekende grondwaterstand slechts voor een bepaald profiel onder bepaalde omstandigheden. Voor de reeds genoemde – zie 2.1.2.1. [27] – geschematiseerde profielen, aangeduid als de proefplekken 22′ en 63′ zijn de eisen, die aan de optimale grondwaterstand in de fruitteelt gesteld kunnen worden, verder uitgewerkt. Proefplek 22′ wordt geacht te bestaan uit een goed, licht-zavelig humusarm profiel, zoals er in de zeekleigebieden vele voorkomen. Alleen de iets humusrijkere bovengrond, die doorgaans aangetroffen wordt, is niet in dit geschematiseerde profiel ingevoerd. Het laatste zal echter weinig invloed op het resultaat van de berekeningen hebben. Proefplek 63′ wordt verondersteld te bestaan uit een profiel met een bovengrond van 40 cm humusarm duinzand, gevolgd door een ondergrond van blond duinzand zonder humus. Soortgelijke matig geschikte profielen worden in duinzandgebieden vaak aangetroffen.
Door WESSELING en VAN WIJK, 1955, zijn berekeningen uitgevoerd over de gewenste grondwaterstand in bouwland. Vanuit een noodzakelijk peil, noodzakelijk voor een geëiste capillaire opstijging, werd teruggerekend naar de bijbehorende voorjaarsgrondwaterstand. Hierbij zijn de kansen op een verdampingsoverschot over een bepaalde periode in aanmerking genomen.

Verschillende normen, die bij deze berekening werden gesteld, konden in onze berekening vervangen worden door normen, die uit het reeds besproken onderzoek in de fruitteelt zijn verkregen.

Zo is door ons gerekend met een toelaatbare uitputting – tot een pF = 2,0 voor lichte zavel, en tot een pF = 1,8 voor humusarme zandgrond – van het beschikbaar vocht onderin de voedingszone. De beworteling was vrij nauwkeurig bekend, terwijl gegevens over de capillaire geleidbaarheid ter beschikking stonden.

In de volgende berekening worden grondwaterstanden bepaald, die de instelling van een optimale vochttoestand in de voedings- en wortelzone mogelijk maken. Hierbij wordt herhaald, dat afgezien is van grondwateraanvoer door kwel e.d.
Een belangrijke vraag bij de vaststelling van de optimale grondwaterstand is, of de gevonden grondwaterstand te bereiken is, wanneer men van een bepaalde, voor de beworteling aanvaardbare, grondwaterstand in het voorjaar uitgaat. In ons polderland met zijn beheerste polderpeilen, kan ten minste in het voorjaar wel een bepaalde grondwaterstand ingesteld worden bij een goede beheersing van het polderpeil. Door de ongelijke ligging van het polderland kunnen bij de verwezenlijking hiervan toch nog vele problemen rijzen. In bepaalde gebieden zal misschien ook in de zomer, door waterinlaat of kwel, het grondwaterpeil verhoogd of een daling daarvan tegengegaan kunnen worden, maar deze gevallen zijn niet in onze berekeningen betrokken.

Wanneer aan de eerste norm voor de optimale vochttoestand voldaan moet worden, zal de grondwaterspiegel midden juli in de proefplekken 22′ en 63′ resp. ca 75 en 40 cm onder het midden van de voedingszone moeten staan. Opdat middenin de voedingszone een pF van resp. 2,0 en 1,8 gehandhaafd kan worden, bij een capillaire opstijging van 3 mm per dag, is – zie 2.1.2.1. [27] – deze stand noodzakelijk. Nu zal aangetoond worden, dat deze hoge grondwaterstanden, van resp. 95 en 60 cm onder het maaiveld, aanleiding zullen geven tot een veel te dunne wortelzone.
Indien de grondwaterspiegel in de plekken 22′ en 63′ half juli op resp. 95 en 60 cm onder het maaiveld staat, dan wordt in deze profielen tot op een diepte van de grondwaterspiegel resp. bijna 310 mm en ruim 160 mm vocht geborgen. Hierbij is aangenomen, dat de bovengrond op het verwelkingspunt is gekomen. Als de grondwaterspiegel half april de abnormaal hoge stand van 40 cm kreeg in plek 22′, dan zou half april in dit profiel tot 95 cm diepte bijna 400 mm vocht geborgen worden. Vanaf half april tot half juli kan dus beschikbaar komen voor de evapotranspiratie, 400 – 310 = 90 mm vocht. Op dezelfde wijze geldt, dat uit plek 63′ ca 240 - 160 = 80 mm vocht voor de evapotranspiratie beschikbaar zou komen, indien de grondwaterspiegel half april op 20 cm onder maaiveld zou staan – zie fig. 72 –.
Over de periode van half april tot half juli kan een kansverdeling opgesteld worden voor de evapotranspiratie-overschotten bij boomgaard. Met behulp van de E_g/E_0 waarden – zie 2.3.1.4., tabel 52 – kunnen uit de verdampingswaarden de vochtverbruikswaarden jaar voor jaar en maand voor maand berekend worden. Dit verbruik, telkens verminderd met de regenval in de betreffende periode, geeft het evapotranspiratie-overschot. Hiervan kan een kansverdeling gemaakt worden. Aan de hand van de gegevens over de regenval (verstrekt door het K.N.M.I.) en de verdamping volgens PENMAN (verstrekt door het K.N.M.I., berekend volgens KRAMER, 1957) over de jaren 1907 tot 1950 van Vlissingen, is aldus de kansverdeling van het evapotranspiratie-overschot in de periode van half april tot half juli door ons berekend – zie fig. 71 –. Dit is een soortgelijke werkwijze als door VAN BAVEL, 1953, VAN DUIN, 1954, STOLP en

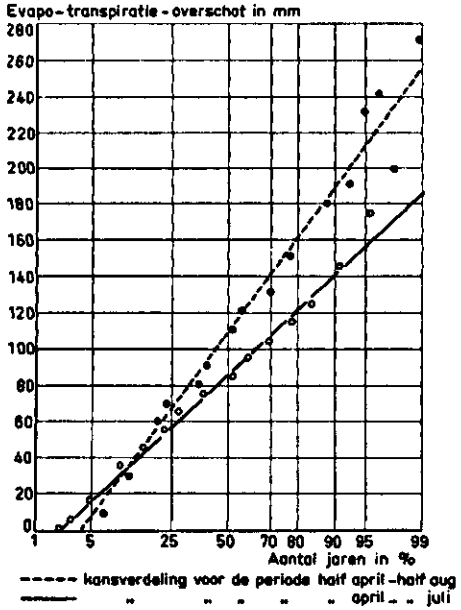


FIG. 71. Kansverdeling van het evapotranspiratie-overschot in zuidwest-Nederland.

FIG. 71. *Frequency (abscissa) of evapotranspiration surplusses (ordinate) in the south west of the Netherlands; full dots for the period mid-April to mid-August, open dots for the period mid-April to mid-July.*

MOHRMANN, 1952, 1953, is gevolgd. De verhouding E_g/E_0 is echter aangepast aan de waarden, die voor fruit zijn gevonden.

Bij de berekening van de evapotranspiratie is aangenomen, dat deze in alle gevallen gelijk is aan de potentiële verdamping × de factor die voor de betreffende periode in de vorige paragraaf is genoemd. Dit lijkt bij benadering juist. Uit de gegevens van de beschreven proefplekken zijn alleen voor droge jaren en op droge profielen af en toe lagere factoren berekend.
Indien het aangegeven evapotranspiratie-overschot door beregening of bevloeiing aangevuld zou worden, zou dit een grotere hoeveelheid water vragen dan de berekende. Er moet niet alleen met de extra verdamping tijdens de beregening of bevloeiing worden gerekend, maar ook met een sterkere evaporatie uit de natte bovengrond.
Indien door infiltratie water wordt aangevoerd, zal dit in veel mindere mate aanleiding geven tot een sterkere evaporatie, omdat daarbij de bovengrond weinig vochtiger wordt.

Uit de berekening blijkt, dat er voor de periode van half april (het begin van de groeiperiode bij fruit) tot half juli (het eind van de periode met de sterkste scheutgroei) slechts 10 % kans is op een groter evapotranspiratie-overschot dan 140 mm, 20 % kans op een overschot groter dan 120 mm en 50 % kans op een overschot groter dan 85 mm. In de resp. 95 en 60 cm dikke grondlagen van de proefplekken 22' en 63' kan dus resp. iets meer dan, of nog niet voldoende vocht geborgen worden om, bij een evapotranspiratie-overschot onder gemiddelde weersomstandigheden, bij een grondwaterstand tot dichtbij het maaiveld in april, aan de eerste norm voor een optimale vochttoestand te voldoen. In jaren, met een geringere neerslag dan gemiddeld wordt waargenomen, kan, bij de genoemde grondwaterstand, het verdampingsoverschot echter niet gedekt worden. Bij een hogere grondwaterstand dan resp. 40 en 20 cm diep in het voorjaar is er evenwel geen plaats voor een wortelzone – zie 2.1.2.2. – en zal ook gedurende langere tijd de vochtspanning in de voedingszone lager dan optimaal en de grond dus te nat

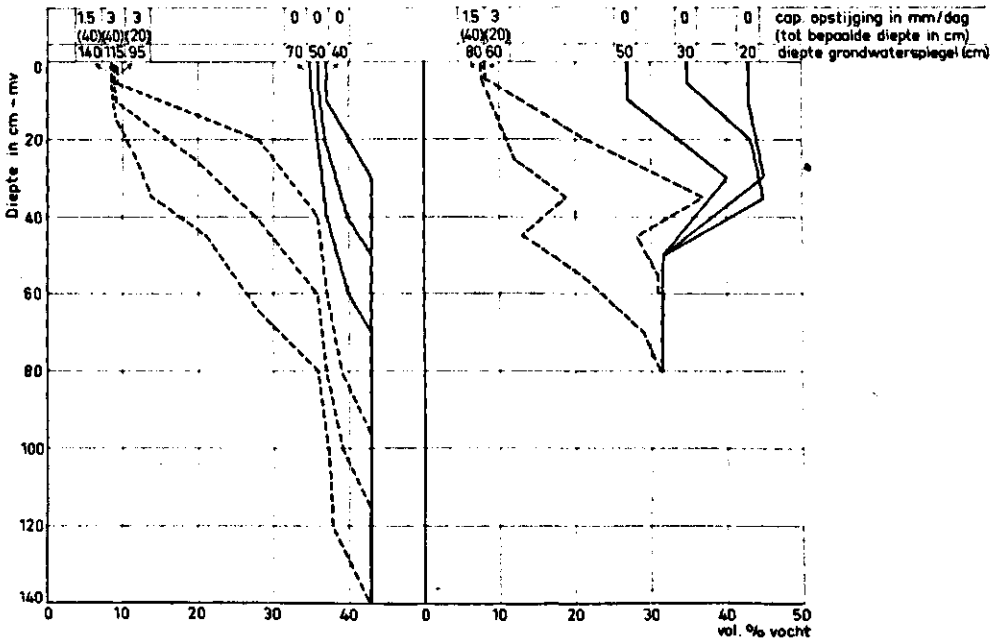


FIG. 72. De berekende vochtverdeling behorende bij verschillende grondwaterstanden in enkele geschematiseerde bodemprofielen begroeid met fruit.
Links: Plek 22', Kalkrijke lichte zavel (grond no. 22 uit tabel 1 en fig. 7).
Rechts: Plek 63', 40 cm humusarm duinzand op zeer humusarm duinzand (grond no. 3 op no. 1 uit tabel 1 en fig. 7).

FIG. 72. *Calculated moisture distribution in 2 schematic orchard soil profiles for some groups of conditions in relation to the calculation of an optimal groundwater level.*
Abscissa : moisture content in % by volume.
Ordinate: depth below the surface.
At the left a good profile consisting of sandy silt loam (= Nr 22 of table 1 and fig. 7), root distribution as in plot Nr 22, capillary conductivity as in fig. 41.
At the right a poor profile consisting of a 40 cm topsoil poor in humus, underlain by pure coarse dune sand (Nr 3 on Nr 1 of table 1 and fig. 7), root distribution as in plot 63, capillary conductivity as in fig. 42. Heading at right hand top corner: capillary rise in mm/day
(to a plane at a depth in cm)
groundwater level in cm below the surface

zijn. Uit het bovenstaande volgt dat de optimale vochtspanning in de voedingszone, genoemd in de eerste norm, niet door een hoge grondwaterstand te verwezenlijken is. Dit gaf aanleiding tot het opstellen van de tweede mildere norm voor de optimale vochttoestand in de bodem.

Aan de tweede norm, die een optimale vochttoestand in het midden van de wortelzone behelst aan het eind van de scheutgroei, blijkt in bepaalde profielen wel te voldoen door regeling van het grondwaterpeil.
De vochtspanningslijn voor plek 22', die behoort bij de capillaire opstijging, genoemd

bij de gestelde norm, is reeds in 2.1.2.1. [27] berekend – tabel 23 –. De hoeveelheid vocht omstreeks half juli blijkt boven deze grondwaterspiegel (boven 1.15 m onder maaiveld) ca 340 mm te zijn – zie fig. 72 –. Hierbij is aangenomen, dat de bovengrond op het verwelkingspunt was gekomen. Wanneer bij deze hoeveelheid het evapotranspiratie-overschot wordt geteld, is de hoeveelheid beschikbaar vocht bepaald, die half april beschikbaar zou moeten zijn, wil de gevraagde vochttoestand half juli verwezenlijkt kunnen worden. Met een kans van resp. 90, 80 en 50 % zal dus bij een vochtvoorraad van resp. 480, 460 en 425 mm omstreeks half april in de grondlagen tot 1,20 m diep, geen uitputting van de vochtvoorraad onder de gewenste optimale toestand (in juli daaraanvolgend) plaatsvinden. Nu blijkt – zie fig. 72 – bij een grondwaterstand in april van 70 cm en 50 cm resp. bijna 460 mm en ca 480 mm vocht aanwezig te zijn. Een grondwaterstand van 70 cm zal slechts in iets minder dan 20 % van alle jaren tekort schieten, om de optimale vochttoestand voor de scheutgroei te verwezenlijken. In proefplek 63' blijkt bij de optimale grondwaterstand (60 cm onder maaiveld) half juli nog ca 150 mm vocht in de grondlagen tot 60 cm aanwezig te zijn – zie fig. 72 –. Voor kansen van 90, 80 en 50 % op een optimale vochttoestand in juli zullen resp. 290, 270 en 235 mm vocht in de lagen van 0–60 cm diepte opgeslagen moeten worden in het voorjaar.
Bij een grondwaterstand van 50 cm blijkt ca 200 mm, bij een grondwaterstand van 30 cm ca 230 mm vocht gebonden te worden in deze lagen. Een grondwaterstand van 30 cm in april zal in een gemiddeld jaar aan de gestelde eis kunnen voldoen, echter niet in drogere jaren, met een groter evapotranspiratie-overschot dan 85 mm voor deze periode.
Een grondwaterstand van 50 cm zal zelfs niet voldoen in een gemiddeld jaar. In drogere jaren kan deze grondwaterstand de vochttoestand in de wortelzone zeker niet gunstig houden. Een hogere grondwaterstand, b.v. van 30 cm in april is ongewenst, omdat de grondwaterspiegel dan midden mei slechts een peil van ca 40 cm onder maaiveld bereikt zal hebben. In een wortelzone van nog geen 40 cm kan in dit profiel in totaal slechts een 50 mm beschikbaar vocht gebonden worden. Dit is in enkele droge weken, bij het ontbreken van capillaire opstijging, geheel verbruikt.
De ervaring heeft dan ook geleerd, dat deze dikte van de wortelzone veel te gering is, wanneer geen kwel van betekenis voorkomt.
In dit profiel kan met behulp van een hoge grondwaterstand dus geen optimale vochttoestand voor de scheutgroei worden verkregen.

De derde norm voor de optimale vochttoestand geeft tot dezelfde berekeningen van de optimale grondwaterstand aanleiding als de voorgaande.
Het grondwater, zal volgens een berekening analoog aan die in [27] is uitgevoerd, in de plekken 22' en 63' niet dieper dan resp. 1,40 en 0,80 m mogen dalen, wil bij een pF van resp. 3,0 en 2,0 op 40 cm diepte nog een capillaire opstijging van 1½ mm per dag gehandhaafd blijven. Onder deze voorwaarden zal in plek 22' half augustus nog ca 385 mm vocht aanwezig zijn tot 1,40 m diepte – zie fig. 72 –. Met een kans van resp. 90, 80 en 50 % bestaat er een evapotranspiratie-overschot in de periode van half april tot half augustus – zie fig. 71 – van maximaal resp. 190, 160 en 110 mm. Kansen

kleiner dan 10, 20 en 50 % op een grotere droogte dan de aangewezen toestand omstreeks half augustus, zullen alleen bestaan, indien in de lagen tot 1,40 m omstreeks half april meer vocht wordt geborgen dan resp. 575, 545 en 495 mm Bij een grondwaterstand van 50 cm wordt in deze lagen ca 580 mm vocht gebonden, bij een grondwaterstand van 70 cm ca 560 mm. De grondwaterstand zal ongeveer 70 cm moeten zijn, wil in 80 % van de jaren aan de normen voldaan worden. Ongeveer eens in de 10 jaar zal het profiel, ook bij een grondwaterstand van 50 cm in april, een tekort hebben aan opneembaar vocht en niet kunnen voldoen aan de veiligheidsmarge aan de vochttoestand die in de derde norm is omschreven. Gezien de reserves in het profiel, zal bij een tekort aan opneembaar vocht in de wortelzone het gewas soms wel dichtbij maar meestal niet in het verwelkingstraject komen.
In plek 63' blijkt bij de optimale grondwaterstand, die voldoet aan de derde norm (80 cm onder maaiveld), omstreeks half augustus nog ruim 140 mm vocht in alle lagen tot 80 cm diepte aanwezig zijn. Er is weer verondersteld, dat de bovengrond op het verwelkingspunt is gekomen. Voor een kans van minder dan 10, 20 en 50 %, dat de gevraagde ongunstigste vochttoestand niet overschreden zal worden, moet half april een voorraad aan beschikbaar vocht van resp. 330, 300 en 250 mm tot 80 cm diepte aanwezig zijn. Bij een grondwaterstand van 50 cm wordt in deze lagen gebonden ca 265 mm vocht, bij een grondwaterstand van 30 cm 295 mm. Bij een grondwaterstand van 50 cm in april zal slechts in 60 % van de jaren aan de derde eis voor de optimale bodemvochttoestand voldaan kunnen worden.
Het is duidelijk, dat dit profiel bij deze grondwaterstand zeer goed ontwaterd moet kunnen worden, aangezien het weinig grondwaterberging bezit.

Door de grotere neerslag in de nazomer – zie fig. 70 – is de voedingszone veelal vochtiger dan de ondergrond, zodat de planten in die periode niet spoedig zullen verwelken – zie [21] –, ook al is de ondergrond sterk uitgedroogd. Daardoor zijn afwijkingen van de optimale grondwaterstand naar aanleiding van de derde norm plantkundig minder belangrijk dan naar aanleiding van de tweede. Bij de voorgaande berekeningen van de evapotranspiratie-kansen is voornamelijk uitgegaan van gegevens over winterfruit. De najaarsbladval begint bij verscheidene zomer- en najaarsfruitsoorten en -rassen vroeger dan bij het winterfruit. Uit het tijdstip van deze bladval valt af te leiden, dat het totale vochtverbruik van winterfruit waarschijnlijk het grootst zal zijn. Hierover zijn echter onvoldoende gegevens verzameld. In de voorgaande berekeningen van de optimale grondwaterstand zijn dus de grootste evapotranspiraties betrokken.
Uit studies over de vochttoestand in de plekken 69, 70 en 71, alle gelegen in eenzelfde perceel, in elkaars onmiddellijke omgeving, is een indruk verkregen over de tijd van het jaar waarin bij verschillende fruitsoorten het grootste vochtverbruik valt. Reeds bij de kers (de plekken 7 en 8) is het opgevallen, dat de grootste vochtopname in de maanden juni en juli valt. In de aaneengrenzende appel- peren- en pruimenaanplanting, op een nagenoeg gelijk bodemprofiel bleek, dat de grootste vochtonttrekking bij de pruim Reine Claude d'Oullins in augustus valt, bij de herfstappel Transparent de Croncels half septem beren bij de herfstpeer Fondant de Charneux omstreeks eind september.
Zomerfruitsoorten en -rassen vertonen dus in het algemeen een vroeger maximum in de vochtopname.

In onze slotbeschouwing over de optimale grondwaterstand moet in de eerste plaats vermeld worden, dat bij de gegeven voorbeelden geen mogelijkheden bestaan, om de voedingszone optimaal vochtig te houden door een hoge grondwaterstand in het voorjaar. Een grondwaterstand, die hoog genoeg is om de voedingszone op een opti-

male vochtspanning te houden, beperkt de bewortelingsdiepte te zeer. Een soortgelijk resultaat zal bij de meeste gronden wel verkregen worden. Een optimale pF in de voedingszone kan alleen door beregening gehandhaafd worden.

De nadelen van een droge toestand van de voedingszone voor de minerale voeding blijken, volgens waarnemingen op bodembehandelingsproefvelden, door een ruime bemesting voor een deel ondervangen te kunnen worden. Door een ruime reserve aan plantenvoedingselementen in de bomen, komt een tijdelijk tekort in de mineralenopname niet altijd tot uiting in de stand en de produktie van het gewas.

Een grondwaterspiegel van 70 cm in het midden van april zal in plek 22', die betrekking heeft op een goed profiel met een goede capillaire geleidbaarheid, in 80% van alle jaren een vochttoestand in de grond doen ontstaan, die voldoet aan de normen 2 en 3, zoals genoemd aan het begin van deze paragraaf. Wanneer in 90% van alle jaren een optimale vochttoestand wordt vereist, zal de grondwaterspiegel in april op 50 cm onder maaiveld moeten staan. De diepte van de wortelzone bij een grondwaterspiegel van 70 cm in april kan redelijk genoemd worden, aangezien bij deze grondwaterstand een wortelzone tot 80 cm diepte verwacht mag worden. De grondwaterspiegel zal namelijk door vochtopname uit het profiel nog verder dalen – 2.2.1. –, zodat deze in mei op ca 80 cm zal staan. De grondwaterstand in mei bleek in sterke mate bepalend voor de diepte van de wortelzone – 2.1.2.2. [30] –.
In dit goede profiel zal ook de ontwatering op een bevredigende wijze gewaarborgd zijn – 2.1.2.2. –.

In plek 63', die op een droogtegevoelig duinzandprofiel betrekking heeft, zal de vochttoestand bij een grondwaterspiegel in april van 30 cm alleen maar in een gemiddeld jaar aan de tweede norm voldoen.
Volgens de derde norm zal de grondwaterspiegel in april in een gemiddeld jaar op 50 cm kunnen staan, maar wanneer de optimale vochttoestand in 80% van alle jaren verzekerd moet zijn, zal een grondwaterspiegel van 30 cm nodig zijn.
Een grondwaterdiepte van 30 cm zal echter grote moeilijkheden opleveren.
Een wortelzone van amper 40 cm dikte geeft te veel risico's in een droge periode, terwijl de drainage in een nat voorjaar aan zeer hoge eisen moet voldoen.
De grondwaterstand in het slechtste profiel 63' kan dus niet zo hoog gesteld worden in het voorjaar dat aan de normen voor een optimale vochttoestand in de wortelzone voldaan kan worden. In dit geval zullen de wortelzone en de voedingszone door wateraanvoer in de optimale toestand gehouden moeten worden.

In oudere boomgaarden, of in zeer dichte beplantingen zal men vaak minder hoge eisen aan de scheutgroei stellen, zodat de grondwaterstand in het voorjaar lager kan zijn. Met het oog op de eisen, die aan de drainage worden gesteld bij een hoge grondwaterstand, kansen op kwel e.d., zal het ook niet altijd aanbeveling verdienen om een optimale grondwaterdiepte voor de scheutgroei na te streven.

De resultaten van de berekeningen zullen in andere fruitteeltcentra van Nederland bij soortgelijke bodemprofielen geen grote verschillen met de uitgewerkte voorbeelden voor zuidwest-Nederland te zien geven, voor de periode waarin de scheutgroei plaatsvindt. Daarvoor zijn de verschillen in de gemiddelde neerslagtekorten in deze gebieden te klein – zie fig. 70 –. De eisen aan de grondwaterstand, naar aanleiding van de optimale

vochttoestand tijdens de voornaamste groei van de vruchten, kunnen iets minder streng zijn dan in het zuidwesten, omdat het neerslagtekort daar het grootst is in de tweede helft van de zomer. Dit betekent, dat de grondwaterstand in overig Nederland, met het oog op de eisen in de derde norm gesteld, iets dieper kan zijn.

De berekende voorjaarsgrondwaterstanden, die de instelling van de optimale vochttoestand in de bodem mogelijk maken, of zoveel mogelijk benaderen, zullen een actief beheer van de polderpeilen vergen. Indien dit niet het geval is, bestaat er alle kans dat de gevraagde vochtvoorraad in het voorjaar niet aanwezig is, of dat het gewas schade lijdt door een te hoge grondwaterstand.

SAMENVATTING

1. INLEIDING

Het begrip bodembehandeling omvat alle maatregelen, die ten doel hebben de bodemvruchtbaarheid in stand te houden of te verbeteren, zowel voor het heden als voor de toekomst. Het begrip bodembehandeling komt nagenoeg overeen met het Amerikaanse begrip „soil management".
Onder de bodembehandeling vallen cultuurmaatregelen zoals: Ontwatering, wateraanvoer, het laten begroeien van de grond, het bedekken van de grond met mulches, de grondbewerking, de bemesting e.d.
In de gespecialiseerde, meer op moderne wijze gedreven, fruitteelt bestond aanvankelijk een streven, om de grond zoveel mogelijk onbegroeid te houden onder de bomen, omdat dit op korte termijn betere resultaten gaf dan een blijvende grasbegroeiing onder de bomen. Dit zwarthouden van de grond gaf echter op langere termijn slechte resultaten. In de laatste tientallen jaren is er dan ook een onderzoek gaande naar bodembehandelingssystemen, die zowel op korte als op lange termijn voldoen. Het onderhavige onderzoek wil bijdragen tot het vinden en beoordelen van verbeterde bodembehandelingssystemen.
Hoewel de uitgaven voor de bodembehandeling slechts een bescheiden percentage van het totaal bedragen (9 – 12 % voor grootfruit, 14 – 25 % voor kleinfruit), kan het rendement soms zeer hoog zijn.
Het belang van een goede bodembehandeling, ook vóór het inplanten, wordt in de moderne fruitteelt steeds groter.
Een algehele beoordeling van de verschillende bodembehandelingssystemen kan pas na jarenlange proefnemingen gegeven worden. Dit vergt aanzienlijke uitgaven. Daarom is er naar gestreefd normen op te stellen of te vinden, voor de beoordeling van de grond en het gewas, zodat op kortere termijn een indruk verkregen kan worden over het uiteindelijke effect van een bepaald systeem van bodembehandeling.

2. DE INVLOED VAN DE FYSISCHE EIGENSCHAPPEN VAN DE GROND OP HET GEWAS

Ten einde een juiste waardering te kunnen geven van de invloed van de bodembehandeling op vruchtbomen, is in de eerste plaats – 2.1. – nagegaan hoe vruchtbomen in het algemeen reageren op de water- en luchthuishouding van de bodem. Daarnaast is bestudeerd welke invloed de water- en luchthuishouding van de bodem ondergaat van de bodembehandeling in boomgaard – 2.2. –. Deze studies zijn ook uitgevoerd ter controle en ter aanvulling van de inzichten, die in 2.1. zijn verkregen.
Tegelijkertijd is in 2.2. ook gelet op de reactie van de vruchtbomen op verschillende bodembehandelingen.
De betrekkingen van de water- en luchthuishouding in de grond in boomgaard met verschillende weers- en bodemkundige factoren worden behandeld in 2.3.

2.1. DE BETEKENIS VOOR VRUCHTBOMEN VAN DE WATERHUISHOUDING EN DE BEWORTELING IN DE GROND

In 2.1.1.1. worden de verschillende eenheden besproken, die worden gebruikt om de vochttoestand van de grond aan te duiden. Naast de maten voor de hoeveelheid vocht in de grond, zoals het volume- en het gewichtspercentage vocht, worden ook maten besproken voor de bindingsenergie van het vocht in de grond, met name de pF.
De natuurlijke onder- en bovengrenzen aan de vochttoestand van de bodem te velde worden behandeld in 2.1.1.2. Bij de natuurlijke bovengrens, de veldcapaciteit, blijkt de vochtspanning op meer dan 0,50 m boven de grondwaterspiegel overeen te komen met een pF van 2,0 (bepaald met de apparatuur van DONATH) – fig. 1 –.
Het vochtpercentage bij veldcapaciteit blijkt niet bevredigend uit het slib- en humusgehalte van de grond af te leiden – fig. 2 –.
Bij grondlagen onder, of dichtbij de grondwaterspiegel is het totale poriënvolume van de grond van belang als uiterste bovengrens voor de hoeveelheid vocht in de grond.
De ondergrens aan de vochttoestand in de grond, althans voor de plantengroei, is het verwelkingspunt – fig. 11 –. Dit punt is het midden van een traject waarbij de planten verwelken – fig. 3 en 4 –. Het verwelkingspunt is bevredigend af te leiden uit de slib- en humusgehalten van de grond. Het verwelkingspercentage (in gewichtsprocenten) van de onderzochte gronden – zie tabel 1a – bedroeg:
VWP = 0,15 × % slib (deeltjes < 0,016 mm) + 1,10 × % humus + 3,69. – zie fig. 5 –.
Ook is nagegaan of het vochtpercentage van de grond bij 2 atm. vochtspanning (pF 3,3) bevredigend uit de slib- en humusgehalten van de grond is af te leiden. Dit blijkt niet het geval te zijn – zie fig. 6 –.
Dit is, zoals ook bij de veldcapaciteit, waarschijnlijk te wijten aan de invloed van de bodemstructuur op deze vochtgehalten, daar de bodemstructuur geen enkelvoudig verband vertoont met het slib- en humusgehalte van de grond.
De betrekking tussen het vochtgehalte van de grond en de vochtspanning wordt weergegeven door de vochtkarakteristiek – 2.1.1.3. –. Enkele voorbeelden hiervan worden gegeven in fig. 7. De gegevens van de gronden zijn vermeld in tabel 1a.
De bepaling van de vochtkarakteristiek wordt beschreven in [9], fig. 8 en 9.
De voorbehandeling van de grondmonsters, voordat de vochtkarakteristiek wordt bepaald, blijkt enige invloed op de ligging van de karakteristiek uit te oefenen. Gronden, die voor de bepaling lange tijd vochtig worden gehouden of worden gedroogd, bezitten bij dezelfde vochtspanning resp. een te hoog en een te laag vochtgehalte – tabel 1b, fig. 10 – vergeleken bij veldvochtige monsters. Deze gegevens geven aanleiding, om naast de normale hysteresis van de vochtkarakteristiek bij uitdroging en bevochtiging van de grond, een hysteresis op langere termijn te onderscheiden ten gevolge van een langdurige bevochtiging of uitdroging van de grond.
De vochtspanning van de grond te velde blijkt bij eenzelfde vochtgehalte volgens tensimeteraanwijzingen iets lager te liggen dan bepaald met de apparatuur van DONATH – fig. 10 –. De trage en onvolledige instelling van de vochtspanning in de tensimeter is hiervande oorzaak.
Het vochtgehalte bij 16 atm., volgens de bepaling in de membraanpers van RICHARDS,

blijkt vrij goed overeen te komen met het verwelkingspunt in grond begroeid met verschillende planten – zie tabel 1c en fig. 3 en 4 –.
Het verschil in vochtgehalte bij veldcapaciteit en het vochtgehalte bij het verwelkingspunt bepaalt de hoeveelheid voor de plant beschikbaar vocht. Deze hoeveelheid blijkt een niet sterk uitgesproken maximum te vertonen in de onderzochte serie bij gronden met 25 – 30 % slib – zie fig. 2 –. Het percentage beschikbaar vocht bedraagt maximaal 17 à 18 gewichtsprocenten vocht, overeenkomend met 22-25 volumeprocenten vocht.
In de inleiding van de bespreking van de plantenreacties op de vochttoestand van de grond - 2.1.1.4. –, zijn enkele reacties van vruchtbomen bij droogte – zie de fig. 11 en 12 en [11] – beschreven.
Wegens de grote invloed van een diepgaande intensieve beworteling op de droogteresistentie van gewassen, is hieraan speciale aandacht besteed – [12] –. De beworteling van appel blijkt iets minder diep te gaan dan van peer. De normale wortelverdeling geeft tabel 2. Het begrip wortelzone, waarin meer dan 90 % van de dunne wortels voorkomt, wordt ingevoerd. Een maat voor de bewortelingsintensiteit in de grond is de worteldichtheid – zie tabel 3 –.
Daar uit de literatuur zowel aanwijzingen zijn te verkrijgen over een gelijke beschikbaarheid voor de plant van al het beschikbare vocht, als over een afnemende beschikbaarheid van het vocht in een uitdrogende grond – [14] en [15] –, zijn een aantal proeven met vruchtbomen, of vruchtboomonderstammen opgezet, om de invloed van de vochttoestand op de groei nader te bestuderen.
Uit vochttrappenproeven met onderstammen blijkt – [17] en [19] –, dat een constant gehouden hoog vochtgehalte in de grond gedurende de periode met de sterkste scheutgroei, van mei tot juni, van het grootste belang is voor een goede groei van de vruchtbomen – tabel 4 t/m 7 en 12 en fig. 13 t/m 18 –. De optimale vochttoestand voor de scheutgroei blijkt bij gemiddeld 70 tot 80 % beschikbaar vocht, of bij een gemiddelde pF = 1,9 tot 2,3 te liggen, afhankelijk van de grond en van het weer. In te natte gronden met minder dan 10 % lucht is de groei minder goed en blijft op langere termijn meer en meer achter – fig. 15 en 16 –. De invloed van de vochttoestand van de bodem op de vruchtgroei – [18] – blijkt veel kleiner te zijn dan op de scheutgroei. Gedurende een periode van 1 tot 2 maanden voor de pluk reageert de vruchtgroei nog het sterkst op de vochttoestand. Zelfs in deze periode is met een hoog vochtgehalte in de bodem ten opzichte van een laag vochtgehalte niet veel meer dan ca 10 % aan vruchtgewicht te winnen – zie fig. 26 tot 29 –, tenzij de boom tijdelijk verwelkingsverschijnselen vertoont. In het laatste geval wordt de vruchtgroei tijdelijk of blijvend nagenoeg volledig geremd en zijn grote opbrengstdepressies te verwachten – fig. 11, 12 en 30 –. Bij de bestudering van de groei der vruchten moet er naar gestreefd worden de invloed van de vruchtgrootte aan het begin van het seizoen – fig. 21, 22 en 23 – en van de vruchtdracht uit te schakelen. Het verschil in de opbrengst per boom vraagt slechts een kleine correctie op de groei van vruchten die vergeleken moeten worden – fig. 24 –.
Veel wisselingen op korte termijn in de vochttoestand binnen een vochtgevoelige periode in de plantengroei blijken nadelig voor een goede groei te zijn – [20], fig. 32 tot 34, tabel 13 tot 15 –.

Wegens de intensieve doorworteling en de rijkdom aan plantenvoedingselementen van de bovengrond is een optimale vochttoestand van deze bodemlagen voor de plantengroei van grote betekenis – [21] –. De dikte van deze lagen is in dit onderzoek op 40 cm gesteld. Indien de bovengrond teveel uitdroogt, terwijl de ondergrond toch nog optimaal vochtig is, zal de groei reeds aanmerkelijk vertraagd worden. Onder deze omstandigheden blijkt vooral de nitraatopname gehinderd te worden – fig. 35, tabel 16 t/m 18 –. Voor een goede nitraat- en kaliopname mag de grond niet veel verder uitdrogen dan voor een optimale scheutgroei gewenst is – tabel 17 en 5 –.
Wanneer de bovengrond op het verwelkingspunt is gekomen, begint de plant vaak reeds verwelkingssymptomen te vertonen. Dit zal grotendeels te wijten zijn aan een tekortschietend vochttransport. Blijkbaar is het vochttransport uit de uitdrogende minder intensief doorwortelde diepere bodemlagen te traag.

Het grondwater in Nederlandse bodemprofielen, in gebruik voor de fruitteelt, levert veelal een niet te verwaarlozen bijdrage tot de vochtvoorziening van het gewas – tabel 19, [22] –. De transportsnelheid van het opstijgend grondwater wordt bepaald door de capillaire geleidbaarheid, die bij verschillende vochtgehalten van een bepaalde grond een verschillende, voor de grond karakteristieke, grootte bezit.
In bodemprofielen met grondwaterinvloed wordt een indruk van de hoogte, waarover een betekenende capillaire opstijging optreedt, gegeven door de hoogten van de „snel-capillaire zone" en de „zone met evenwichtsvochtspanning" – [23] en [24] –. De „snel-capillaire zone" is de zone boven de grondwaterspiegel, waarin (gedurende de zomer) het verloop van de vochtgehalten parallel is aan het verloop van deze gehalten in de winter – fig. 36 t/m 39, tabel 20 –. De zone met „evenwichtsvochtspanning" is die zone boven het grondwater, waarin de vochtspanning nagenoeg overeenkomt met de afstand tot de grondwaterspiegel – fig. 40, tabel 20 en 21 –.
De hoogte van de „snel-capillaire zone" leek in de beschouwde gevallen iets kleiner dan de hoogte van de zone met „evenwichtsvochtspanning".
In een profiel, waar een betekenende aanvoer van grondwater naar de wortelzone wordt gewenst, mag de grondwaterspiegel niet dieper voorkomen dan de gemiddelde hoogte van deze zones onder de wortelzone.
Een nauwkeuriger indruk van de grootte van de capillaire opstijging kan verkregen worden, indien de capillaire geleidbaarheid bepaald is voor het betreffende bodemprofiel – [25] –. Voor enkele gevallen, waarbij de capillaire geleidbaarheid bekend is – zie fig. 41 en 42 –, is de grootte van de capillaire opstijging geschat – [26], tabel 22 –.
De hoogte boven de grondwaterspiegel, waar een geringe capillaire opstijging van enige betekenis (> 0.1 mm/dag), kan voorkomen, lijkt de hoogte van de zone met „evenwichtsvochtspanning" nog enigszins te overtreffen. De hoogte, waarop een capillaire opstijging van nog enige mm per etmaal optreedt, overtreft de zone met „evenwichtsvochtspanning" waarschijnlijk niet en zal slechts iets groter zijn dan die van de „snel capillaire" zone.
Indien de vochtonttrekking binnen het profiel evenredig met de worteldichtheid wordt gesteld en voor de evaporatie uit de bovengrond een redelijke waarde wordt aangenomen, dan kan de grondwaterstand worden berekend, die noodzakelijk is om

een bepaalde gewenste capillaire opstijging te verwezenlijken tot een bepaald niveau in de wortelzone, waar een gegeven vochtspanning heerst – [27], tabel 23 –.
Hoge grondwaterstanden, waarbij de grondwaterspiegel in de wortelzone voorkomt, zijn gedurende de zomer zeer nadelig voor vruchtbomen – 2.1.2.2. –.
De bewortelingsdiepte en daarmee de dikte van de wortelzone wordt sterk beperkt door hoge grondwaterstanden in het voorjaar en in de zomer – fig. 43 en 44 –. Het volume lucht heeft een grote invloed op het percentage diepe wortels – tabel 24 –.
Uit proeven met opzettelijk te hoog aangebrachte grondwaterstanden blijkt, dat een hoge grondwaterstand in de winter weinig schade oplevert, maar in de zomer des te meer. – fig. 45 t/m 47, tabel 25a –. De fysische en chemische bodemanalyse – tabel 25b – geeft de indruk, dat niet geanalyseerde, in de grond gevormde, toxische stoffen de oorzaak zijn van de symptomen van wateroverlast aan het gewas [29] fig. T1-T4 –, die bij te hoge grondwaterstanden soms op zeer korte termijn in het gewas kunnen verschijnen. De hoeveelheid ferro in te natte bodemprofielen lijkt de beste indicatie voor de aanwezigheid van deze veronderstelde toxinen – tabel 25 –. De tetrazoliumtest (ingevoerd door GOEDEWAAGEN) op de vitaliteit van de wortels in het voorjaar, geeft een snelle indruk van de schade door wateroverlast en maakt een voorspelling daarvan mogelijk – fig. 48 –.
Omdat de grondwaterstand in mei de worteldiepte in sterke mate blijkt te bepalen – zie fig. 44 –, is de voorjaarsgrondwaterstand van groot belang. In profielen, waar het grondwater vocht aan de wortelzone moet leveren, zal de diepte van het voorjaarsgrondwaterpeil zorgvuldig gekozen moeten worden, om zowel een goede capillaire opstijging te verwezenlijken, als om een goede diepte van de wortelzone te verkrijgen.

2.2. DE WATER- EN LUCHTHUISHOUDING VAN EEN AANTAL BODEMPROFIELEN IN ZUIDWEST NEDERLAND

De water- en luchthuishouding in een reeks proefplekken in boomgaard en op een aantal bodemprofielen en de reacties van de vruchtbomen op verschillen in water- en luchthuishouding worden besproken in 2.2.1.
De bepaling van de verzamelde gegevens over het gewas en de bodem wordt besproken in [35] t/m [37] – tabel 26 t/m 39, fig. 49 t/m 51 –.
De produktie op een proefplek wordt op twee wijzen weergegeven – [35] –, namelijk als de „werkelijke" en als de „calculatie" opbrengst. De „werkelijke" opbrengst geeft de gemiddelde opbrenst per ha, indien de gemiddelde opbrengst per boom wordt vermenigvuldigd met een factor:

$$\frac{10\,000}{\text{plantafstand in de rij (m)} \times \text{afstand tussen de rijen (m)}}$$

De „calculatie" opbrengst per ha wordt aldus berekend:

$$\frac{\text{gemiddelde opbrengst per boom} \times 10\,000}{\text{gemid. kroondoorsnee in de rij (m)} \times \text{gemid. kroondoorsnee loodrecht op de rijen (m)}}$$

De „calculatie" opbrengst geeft de opbrengst, die bij een juiste plantafstand door de (volwassen) bomen op de proefplek geleverd zou kunnen zijn. Deze „calculatie" op-

brengst is (uitgezonderd de situatie waarbij de proefplek veel te dicht is beplant) een betere maat voor het produktievermogen dan de „werkelijke" opbrengst.
De vochttoestand in de grond wordt op twee wijzen uitgedrukt – [37] –, die pogen de vochttoestand in de wortelzone zo goed mogelijk te karakteriseren.
Het „radiculair gemiddeld percentage beschikbaar vocht" geeft het gemiddelde van alle percentages beschikbaar vocht in de onderscheiden lagen in de wortelzone, waarbij aan het percentage in iedere laag een gewicht is toegekend, overeenkomende met de bewortelingsintensiteit in die laag.
Het „gemiddeld percentage beschikbaar vocht in de voedingszone" geeft het gemiddelde van de percentages beschikbaar vocht in de bodemlagen van 0–40 cm.
Wegens de gevoelige reactie van de minerale voeding van het gewas op de vochttoestand in de voedingszone – zie [21] – is deze maat voor de vochttoestand in het profiel ingevoerd. Ze blijkt in de fruitteelt beter te voldoen als aanduiding van de vochttoestand in de bodem, dan het „radiculair gemiddeld percentage beschikbaar vocht".

In 2.2.1.4. en 2.2.1.5. wordt de toestand op een aantal proefplekken bodemkundig en fruitteeltkundig beschreven – fig. 52 t/m 59, I t/m X, tabel 38 t/m 42 –.
Wegens het beperkte aantal proefplekken en proefjaren is er van afgezien, om de opbrengsten in één oorzakelijk verband te brengen met de waterhuishoudinggegevens van alle proefplekken.
De produktie van fruit, zowel als van akkerbouwgewassen – tabel 40 t/m 42, fig. I t/m X – bleek zowel op te natte als op te droge bodemprofielen te laag. Droge bodemprofielen blijken vrijwel steeds een te ijle beplanting met vruchtbomen te dragen. Dit is een gevolg van de geaccumuleerde invloed van alle voorafgaande droge seizoenen op de groei tijdens het leven van de bomen. Uit de gegevens over de „calculatie" opbrengst blijkt, dat een bijna normale opbrengst in niet te extreem droge groeiseizoenen op deze profielen behaald kan worden, indien de beplanting maar nauw genoeg is. Bij sterke afwisselingen in het bodemprofiel over korte afstand is de aanpassing van de plantafstand aan het bodemprofiel fruitteeltkundig evenwel zeer bezwaarlijk. In zeer droge jaren, waarin het gewas verwelkt, kan geen normale produktie worden behaald, ook niet bij een voldoende dichte beplanting.
De slechte groei en produktie van fruit op deze droogtegevoelige profielen, merendeels de z.g. „plaatgronden", is te wijten aan een te ondiepe beworteling. Deze ondiepe beworteling leidt tot een te dunne laag, waaruit het gewas vocht kan putten, hetgeen te sterke fluctuaties in het vochtgehalte en een lager gemiddeld vochtgehalte tot gevolg heeft, vooral in de voedingszone. De beworteling in deze profielen blijft te ondiep, omdat de meeste plantewortels niet in het onderliggende zand doordringen. Indien het zand, b.v. door diepploegen, met klei wordt vermengd, wordt de beworteling dieper en de groei en de „werkelijke" opbrengst nemen toe.
In droogte-gevoelige plekken is de wortelzone doorgaans te ondiep. In goede profielen in het zeekleigebied is de wortelzone zeker 0,80 m diep. De genoemde worteldiepte hangt grotendeels samen met de stand van de grondwaterspiegel.
In de goede zeeklei profielen bewoog de grondwaterspiegel zich van 0,50 m in het vroege voorjaar tot ruim 1,50 m in het najaar. In de bestudeerde profielen in het

duinzandgebied was de grondwaterstandsdaling geringer.
De bovengrond droogt het eerst en het sterkst uit, de ondergrond pas later in het seizoen en minder sterk. In onze neerslagrijke zomermaanden ontstaat meestal in of na juli de situatie, waarbij de bovengrond vochtiger is en blijft dan de ondergrond, die verder uitdroogt totdat in het najaar de neerslag ook tot de ondergrond doordringt.
Het „radiculair percentage beschikbaar vocht" daalt in de periode met de belangrijkste scheutgroei en grootste mineralen-opname uit de grond (april tot juli), waarin een hoog vochtgehalte van de bodem voor de bevordering van de scheutgroei zeer gewenst is, in goede profielen doorgaans niet verder dan tot 70 à 60 %. Later in het seizoen worden lagere waarden bereikt. Vanwege de geringe gevoeligheid van de vruchtgroei voor een laag bodemvochtgehalte, is deze daling niet van grote betekenis, zolang de voedingszone het verwelkingspunt niet bereikt.
Het „gemiddeld percentage beschikbaar vocht in de voedingszone" daalt in de periode van mei tot juli niet verder dan tot ca 50 % in goede profielen.
De pF volgens de tensimeter stijgt in de periode na juli in redelijk goede profielen op 30 cm diepte niet boven een waarde 2,5.
In de voedingszone is tijdens het groeiseizoen altijd meer dan 10 % lucht aanwezig. Diepere lagen blijken niet doorworteld te zijn, indien het volume lucht er vroeg of laat in het seizoen niet boven 5 % stijgt.

Afgezien van maatregelen, waarmee het water zelf wordt aan- of afgevoerd, bleken de volgende bodembehandelingsmaatregelen de sterkste invloed uit te oefenen op de waterhuishouding van de grond in een aantal proefplekken in boomgaard: 1. Het permanent laten begroeien. 2. Het permanent bedekken van de grond onder de bomen – 2.2.2.1., tabel 43, fig. 61 - 64, XI–XIV –.
De begroeiing met gras heeft veelal een ongunstige, het mulchen een gunstige invloed op de vochttoestand van de grond, vergeleken met zwarthouden. Dit geldt vooral voor de voedingszone.
In langer lopende proefvelden komt deze gunstige invloed van een mulch en de ongunstige invloed van een blijvende begroeiing duidelijk tot uitdrukking in de fruitproduktie – [47] en [48] tabel 43 en 18a –. Wanneer door wateraanvoer in de voedingszone een optimale vochttoestand wordt gehandhaafd, geeft dit een verbeterde stikstofvoeding, die onder passende omstandigheden aanleiding zal geven tot een grotere opbrengst – [48], tabel 18a –.
Onder een strobedekking liep het „radiculair percentage beschikbaar vocht" in goede bodemprofielen niet verder terug dan tot 80 à 90 %, terwijl het „gemiddeld percentage beschikbaar vocht in de voedingszone" in de periode met de sterkste scheutgroei niet verder terugliep dan tot 70 à 85 %. Onder een blijvende grasbegroeiing liep het „radiculair percentage beschikbaar vocht" tot 50 à 75 % terug, terwijl het „gemiddeld percentage beschikbaar vocht in de voedingszone" in de periode van mei tot juli daalde tot 30 à 50 %.
In zeer vochtige bodemprofielen kan een strobedekking een nadelige invloed uitoefenen, wegens het tekort aan lucht, dat gaat optreden. Indien de luchthuishouding in deze profielen niet door drainage is te verbeteren, b.v. wegens een sterke kwel of wan-

neer het poriënvolume van de grond gering is, zal het blijvend met gras begroeid houden van de grond de beste bodembehandeling zijn.
Niet alleen een tekort aan lucht, maar ook een verhoging van het percentage koolzuur in de bodemlucht kan door een mulch veroorzaakt worden – zie tabel 39 –, hetgeen het optreden van ijzergebrek zal stimuleren – zie 3.3.1.2. –.
Vaak maaien van de blijvende grasmat beperkt wel enigszins de bewortelingsdiepte – tabel 44 –, maar heeft onvoldoende invloed op de vochttoestand in de voedingszone en op het gras, om een schadelijke invloed van het gras op de vruchtbomen te kunnen verminderen.
Frequente oppervlakkige grondbewerkingen bleken evenmin veel invloed op de vochttoestand in de voedingszone uit te oefenen.
Een aantrekkelijke begroeiing wordt gevormd door een groenbemestingsgewas, dat de grond begroeit vanaf eind juli tot in maart. Dit geeft geen vochtconcurrentie in het voorjaar en de voorzomer, wel zal het de voedingszone later in de zomer meer laten uitdrogen dan zwarthouden van de grond, maar voor de vruchtbomen blijkt dit van weinig betekenis te zijn.

2.3. DE SAMENHANG VAN KLIMATOLOGISCHE EN BODEMKUNDIGE FACTOREN MET DE VOCHT- EN LUCHTTOESTAND VAN DE GROND IN BOOMGAARD

2.3.1. HET VOCHTVERBRUIK UIT DE GROND

De belangwekkende samenhang tussen de uit meteorologische gegevens te berekenen verdamping van open water en het vochtverbruik door een gewas, die vooral in recente tijd is aangetoond, leidde er toe in de eerste plaats in 2.3 aandacht te schenken aan deze relatie.
De verdamping van open water – 2.3.1.1., tabel 45 en 46, fig. 65 en 66 – en de neerslag – 2.3.1.2., tabel 47, fig. 67 en 68 – zijn in boomgaard en in het open veld bepaald.
Het vochtverbruik van een boomgaard is berekend uit de vochtbalans, die voor verscheidene van de behandelde proefplekken – zie 2.2.1.4. – is opgesteld – 2.3.1.3. –.
Kwel en inzijging naar de proefplekken, waarvoor de vochtbalans is opgesteld, zijn verwaarloosd. Proefplekken, waar deze grondwateraanvoer of -afvoer van betekenis werd geacht, zijn niet in beschouwing genomen.
De verandering van de vochtinhoud van het bodemprofiel is berekend uit de verandering van het vochtgehalte in de onderscheiden bodemlagen tot het diepste peil van het grondwater. De grondwaterdaling vanaf half februari tot half april is niet toegeschreven aan de evapotranspiratie. Het vochtverbruik is dus bepaald als het verschil tussen enerzijds de hoeveelheid neerslag, anderzijds de verandering in de vochtinhoud van het bodemprofiel.
Uit de berekeningen blijkt – zie tabel 48 –, dat het vochtverbruik van zwartgehouden boomgaard vanaf half februari tot half oktober in zuidwest-Nederland ruim 500 mm bedraagt.
De hoeveelheid drainwater, die volgens het gemiddeld vochtverbruik en de gemiddelde neerslag, in boomgaard in de winter afgevoerd zal worden, kan op 140 tot 150

mm per seizoen worden gesteld. Dit komt nagenoeg overeen met een berekening van deze hoeveelheid uit frequente grondwaterstandsopnamen – tabel 49 –.
Uit vochtverbruikstudies met graszoden onder bomen in boomgaard, is een indruk verkregen van het vochtverbruik van een grasbegroeiing in een boomgaard. Op grond van deze gegevens – tabel 50 en 51 – is de evapotranspiratie van grasboomgaard in de zomer op 110 % van zwartgehouden boomgaard gesteld.
De verhouding van het vochtverbruik van zwartgehouden boomgaard tot de verdamping van open water is berekend – 2.3.1.4., tabel 52 –. Het blijkt, dat deze verhouding E_g/E_0 in het begin van de zomer een waarde bezit van ca 0,66 en later stijgt, totdat ze een waarde van ruim 1,0 bereikt in augustus-september. Deze stijging valt samen met een toenemende neerslag en daarmee met een toenemende evaporatie, maar ook met een toenemende rijpingsgraad van het fruit.
Met behulp van de verhouding E_g/E_0 is uit de gemiddelde verdamping het gemiddelde vochtverbruik van boomgaard in de loop van het jaar berekend – zie fig. 69 en 70 en tabel 53 –.
Het vochtverbruik uit de voedingszone zal liggen tussen de waarden 0,5 E_0 en 0,75 E_0. In een neerslagarme periode geldt de laagste, in een neerslagrijke de hoogste waarde. Een vergelijking van de volledige evapotranspiratie door boomgaard en de halve verdamping van open water met de neerslag in een bepaalde periode, kan een indruk geven over de uitdroging van de voedingszone – zie fig. 70 –. Het droge voorjaar en de regenrijke zomer veroorzaken een uitdroging resp. een herbevochtiging van deze zone. Deze toestand onderstreept het belang van bodembehandelingsmaatregelen, waardoor in het voorjaar het vochtgehalte in de voedingszone op een voldoende hoog peil kan worden gehouden.

2.3.2. DE OPTIMALE GRONDWATERSTAND

Nadat in het voorafgaande de nodige aanwijzingen zijn verkregen, kan in de laatste paragraaf van hoofdstuk 2 een berekening uitgevoerd worden van de optimale grondwaterstand in gebieden waar het grondwater een bijdrage moet leveren tot een optimale vochttoestand in de wortelzone. Deze berekeningen zijn zinvol, omdat een belangrijk percentage van de Nederlandse fruitpercelen op bodemprofielen is gelegen, waar een dergelijke bijdrage van het grondwater aan de vochttoestand in de voedingszone en de wortelzone bestaat en voor de groei van het gewas van belang is.
De optimale grondwaterstand beoogt een optimale vochttoestand in de voedingszone en de wortelzone, met behoud van een redelijke diepte van de wortelzone. Voor deze optimale vochttoestand zijn een drietal normen opgesteld [57]. Een redelijk diepe beworteling is o.a. voor het vermijden van droogteschade in zeer droge seizoenen van groot belang.
In gevallen, waar door beregening of bevloeiing de vochttoestand in het profiel op peil gehouden kan worden, is een nauwgezette regeling van de diepte van de grondwaterspiegel van minder betekenis. Het grondwater zal dan liefst onder de wortelzone moeten blijven, zodat de beworteling een goede diepte kan bereiken.

Voor twee bodemprofielen – een goed licht-zavelig profiel en een droogtegevoelig

humusarm duinzand profiel – is, met de gegevens over de optimale vochttoestand in de voedingszone en in het midden van de wortelzone, tevens over de verdeling van de vochtopname over het profiel en over de capillaire geleidbaarheid, de optimale grondwaterstand op verschillende tijdstippen in het groeiseizoen berekend. – fig. 72 –. Grondwater aan- of afvoer is hierbij buiten beschouwing gelaten.
Uit de kansverdeling van de evapotranspiratie-overschotten vanaf het voorjaar tot het betreffende tijdstip, kan berekend worden hoe hoog de grondwaterstand in het voorjaar zou moeten zijn, opdat het profiel voldoende vocht zou bergen, om deze evapotranspiratie-overschotten te dekken.
Uit berekeningen van de verdamping van open water, uit de neerslag over een 40 jarige periode en de eerder genoemde E_g/E_0 waarden, zijn voor bepaalde kansen (1 maal in de 2, 5 of in de 10 jaar) de optredende evapotranspiratie-overschotten afgeleid – fig. 71 –.
Uit de berekeningen volgt, dat ook door een zeer hoge grondwaterstand in het voorjaar de optimale vochttoestand in de voedingszone niet verwezenlijkt kan worden. Wel kan door een redelijk geachte grondwaterstand in het voorjaar voor één van de twee beschouwde gevallen (een goed licht-zavelig profiel) in het midden van de wortelzone een optimale vochttoestand voor de scheut- en vruchtgroei worden benaderd. In het tweede geval (een humusarm duinzandprofiel) kan geen voorjaarsgrondwaterstand genoemd worden, die zowel de wortelzone voldoende vochtig houdt, als een voldoende ontwikkeling van het wortelstelsel toestaat. In dit geval zullen de voedingszone en de wortelzone door kunstmatige wateraanvoer in een optimale vochttoestand gehouden moeten worden.
De optimale of ten naaste bij optimale grondwaterstand in deze bodemprofielen omstreeks half maart, van resp. ruim 70 cm en ca 40 cm onder maaiveld, vereisen een intensieve drainage, om wateroverlast bij deze grondwaterstand te vermijden.
Onder omstandigheden, waarbij geen hoge eisen worden gesteld aan de scheutgroei, of wanneer de evapotranspiratie-overschotten kleiner zijn dan in zuidwest-Nederland (zo als b.v. inhet noorden van ons land), zal bij een lagere grondwaterstand de optimale vochttoestand in de wortelzone worden bereikt.

LITERATUURLIJST

HOOFDSTUK 1

ANTHONY, R. D. Soil organic as a factor in the fertility of apple orchards. *Pennsylvania Agr. Exp. Sta. Col. Bull.* 261 (1931).

BAKER, C. E. The relation of N and soil moisture to growth and fruitfullness of apple trees under different systems of soil management. *Purdue Agr. Exp. Sta. Bull.* 414 (1936).

BOS, J. c.s. Vijftig jaar Nederlandse fruitteelt, 1948.

BOYNTON, D. and J. R. MAGNESS Soil management for orchards. *Soil Yearbook of agr. U.S.A.* (1957) 699–700.

BUTIJN, J. en J. J. SCHUURMAN Bodembehandeling op het proefveld te Hoofddorp. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 63. 16 (1957).

CLAASSEN, C. H., J. G. HAZELOOP en A. M. SPRENGER Leerboek voor de fruitteelt, 4e druk, 1931.

COUTANCEAU, M. Arboriculture fruitière, 1953.

KEMMER, E. en F. SCHULZ Grundlagen der Bodenpflege im Obstbau, 1938.

KENWORTHY, A. L. Soil management and nutrition. *Eastern Fruit Grower*, 20 (1957), 12 (Dec.) 22.

PALMER, E. F. en J. R. VAN HAARLEM Orchard soil management. *Ont. Dept. of. Agr. Bull.* 457 (1948).

RAPPORT, 322, L.E.I. (P. A. SPOOR, F. KERSBERGEN) Onderzoeknaar de kostprijzen van appelen en peren. *Landb. Economisch Instituut* 1959.

RAPPORT, 278, L.E.I. Onderzoek naar de kostprijzen van kleinfruit in de belangrijkste teeltcentra, 1957.

RAPPORT Betreffende de afzet van Nederlandse appelen en peren. *Centr. Bureau Tuinbouwveilingen Ned.*, 1957.

ROGERS, W. S., TH. RAPTOPOULOS and D. W. P. GREENHAM Cover crops for fruit plantations. IV Long term leys and permanent swards. *Journ. Hort. Sci.* 24, (1948) 228–270.

SANGERS, W. J. De ontwikkeling van de Nederlandse tuinbouw, 1952.

SPRENGER, A. M. Leerboek der Fruitteelt, 1948.

HOOFDSTUK 2

ADAMS, F., F. J. VEIHMEYER AND L. N. BROWN Cotton irrigation investigations in San Joaquin Valley California, 1926–1935. *Univ. of Cal. Coll. of Agr. Bull.* 668 (1942).

ALDRICH, W. W., M. R. LEWIS, R. A. WORK, A. L. RYALL AND F. C. REIMER Anjou pear responses to irrigation in a clay adobe soil. *Oregon Agr. Exp. Sta. Corvallis. Bull.* 374 (1940).

—— AND R. A. WORK Evaporating power of the air and top root ratio in relation to rate of pear. fruit enlargement. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 32* (1935). 115–123.

——, R. A. WORK AND M. R. LEWIS Pear root concentration in relation to soil moisture extraction in heavy clay soil. *J. Agr. Res.* 50 (1935) 975–988.

AMOS J., R. C. HATTON AND A. C. PAINTER A preliminary irrigation trial. *Ann. Rept. East Malling. Res. Stat.*, 1932, 64–67.

ANTHONY, R. D. Soil organic as a factor in the fertility of apple orchards. *Pennsylvania Agr. Exp. Sta. Coll. Bull.* 261 (1931).

ANTHONY, R. D., N. F. FARRIS AND W. S. CLARKE	Effect of certain cultural treatments on orchard soil and water losses and apple tree growth. *Agr. Exp. Sta. Pennsylvania State Coll. Bull.* 493 (1948).
APSITS, J.	Bodenstruktur und Pflanzenwachstum. *Z. Bodenk. und Pflanzenernähr.* 3(1937), 336–345.
ASLUNG, H. C. AND K. J. KRISTENSEN	Investigations on the water balance in Danish agriculture. *Arsskrift Kongelige Vet. og. Landbohogskole*, (1958) 64–100.
AUBERT, PH.	Façon culturale du Vergier. *Revue Romande d'Agr., de Viticulture et d'Arboriculture*, juillet, 1949.
BAKKER, G. DE	De bodemgesteldheid van enkele Zuidbevelandse polders en hun geschiktheid voor de fruitteelt. *Versl. Landbouwk. Onderz.*, 56, 14 (1950).
BAUMANN, H.	Wasserversorgung und Ertragsbildung. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 93. (1951) 497–512.
——	Über den Wasserhaushalt des Kulturpflanzentragender Standortes. *Sitzungsber. Deutsche Akad. Landw. Wissenschaften*, Band 3, 1954.
—— UND F. KLATT	Beregnungszeitpunktsversuche mit Hafer und Winterweizensorten. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 103 (1957) 380–396.
—— UND U. SCHENDEL	Die Dynamik des Wassers und Nitrathaushaltes unter verschiedenen Fruchtbarkeitsbedingungen. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 95 (1951) 47–74.
BAUR, W.	Die Kennzeichnung des Wasserhaushaltes in natürlich gewachsenen Boden mit Hilfe der Bodenfeuchtefestwerte. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 98 (1954) 429–452.
BAVEL, C. H. M. VAN	A drought criterion and its application in evaluating drought incidence and hazard. *Agron. Journ.* 45 (1953) 167–172.
BAVER, L. D.	Soil Physics, 3rd ed. 1947.
BELTMAN, J. H. EN J. KOST	Een onderzoek naar de veranderingen van de grondwaterstanden in de duinen in de gemeente Schoorl. *Arch. Grondwaterstanden T.N.O. med.* 1, 1953.
BENNEMA, J. EN K. VAN DER MEER	De bodemkartering van Walcheren. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 58. 4 (1952)
BERG, C. VAN DEN, C.S	Landbouwkundig onderzoek 1949–1952 ten behoeve van de herverkaveling Walcheren. *Wet. Afd. Herverkavelingscomm. Walcheren*, 1952.
BERGMANN, W.	Wurzelwachstum und Ernteertrag. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 97 (1954) 337–368.
BERNSTEIN, L. AND G. A. PEARSON	Influence of integrated moisture stress on growth of tomato and pepper plants. *Soil Sci.* 77 (1954) 355–368.
BEUTELSPACHER, H.	Über die Wasserdampfadsorption an Bodenkolloïden und ihre Beziehung zu der Hygroskopizität nach E. A. Mitscherlich. *Z. Acker- und Pflanzenbau*, 98 (1954) 187–208.
BHAUMIK, H. O. AND F. E. CLARK	Soil moisture tension and microbiological activity. *Proc. Soil Sci. Soc. of Am.* 12 (1947) 234–238.
BIERHUIZEN, J. F.	Observations on the relation between transpiration and soil moisture. *Neth. J. Agr. Sci.* 6 (1958) 294–298.
BLACK, C. A.	Soil plant relationship, 1957.
BLAIR, G. Y., L. A. RICHARDS AND R. B. CAMPBELL	The rate of elongation of sunflowerplants and the freezing point of soil moisture in relation to permanent wilt. *Soil Sci.* 70 (1950) 431–440.
BLAKE, R. AND J. B. PAGE	Direct measurement of gaseous diffusion in soils. *Proc. Soil Sci. Soc. of Am.* 13 (1949) 37–42.

BLANEY H. F. AND W. D. CRIDDLE	Determining water requirements in irrigated areas U.S.D.A. *Soil Cons. Serv. Techn. Bull.* 96 (1950).
BLOEMEN, G. W.	Twee aspecten van de grondwaterdiepte. *Maandbl. Landbouwvoorlichtingsd.* 8 (1951) 387–391.
BODEUX, A.	Recherches ecologiques sur le bilan d'eau sous la forêt et la lande de haute-campine. *Agricultura* 2 (1954) 47–80.
BOEKEL P. EN P. K. PEERLKAMP	Onderzoek naar het verband tussen de voor de plant in de bodem beschikbare hoeveelheid vocht en enkele elementaire eigenschappen van zandgronden uit de Gelderse Vallei en Brabant. *Rapport 11*, 1957. Inst. v. Bodemvruchtbaarheid, Groningen.
BORCHARDT, H.	Feldberegnung im Obstbau. *Wasser und Nahrung* 1 (1956) 24–29.
BOS, J.	Wortelstelsels van fruitgewassen. *De Fruitteelt* 49 (1959) 1220–1245.
BOYNTON, D. AND E. F. SAVAGE	Soils in relation to fruit growing in New York 13. *Cornell. Univ. Agr. Exp. Sta. Bull.* 706 (1938).
BRAAK, C.	Het klimaat van Nederland. A. Neerslag. *Meded. en Verhand. K.N.M.I., De Bilt* no. 34 (1933/34).
BRADLEY, G. A. AND A. J. PRATT	The response of potatoes to irrigation at different levels of available moisture. *Am. Pot. Journ.* 31 (1954) 305.
BREAZEALE, E. L., W. T. MC GEORGE AND J. F. BREAZEALE	Water absorption and transpiration by leaves. *Soil Sci.* 72(1951) 239–244.
BREAZEALE, E. L. AND W. T. MC GEORGE	Influence of atmospheric humidity on root growth. *Soil Sci.* 76, (1953) 361–366.
BREMER, H.	Pathologische Beobachtungen an Obstbäume im Trockenklima. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 62 (1955) 500–514.
BRIGGS, L. J. AND H. L. SHANTZ	The wilting coefficient. *Bot. Gaz.* 51 (1911) 210–219.
—— AND H. L. SHANTZ	The wilting coefficient and its indirect determination. *Bot. Gaz.* 53 (1912) 20–37.
BROUWER, W.	Steigerung der Erträge der Hülsenfrüchte durch Beregnung. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 91 (1949) 319–346.
——	Die Feldberegnung, 1950.
BROWN, D. S.	Effects of irrigation on flower bud development and fruiting in the apricot. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 61 (1953) 119–124.
BROWNING, G. M.	Volume change of soils in relation to their infiltration rates. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 4 (1939) 23–27.
——	Seasonal distribution of soil moisture under different crops. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 11 (1946/1947) 517–521.
BÜHLER, A.	Mitt. Württemberg, Forstl. Versuchsanstalt, 1, 1906.
BUCKETT, S. H. AND C. F. DUNSHEE	Water requirements of cotton on sandy loam soils in southern Joaquin Valley. *Agr. Exp. Sta. Berkely, California, Bull.* 537 (1932).
BURCK P. DU	De beworteling van vruchtbomen. *Meded. Dir. Tuinb.* 12 (1949) 284–298.
BURNETT, E. AND C. E. FISHER	Correlation of soil moisture and cotton yields. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 18 (1954) 127–129.
BUTIJN, J. 1958a	Water voor ons fruit. *De Fruitteelt* 48 (1958) 1160–1161.
—— 1958b	De betekenis van bewortelingsopnamen in de fruitteelt. *Meded. Dir. Tuinbouw* 21 (1958) 622–631.
—— EN J. V. D. BOON	Correcties in opbrengsten van vruchtbomen in verband met de boomgrootte. *Meded. Dir. Tuinbouw* 20 (1957) 40–45.
—— EN J. A. VAN 'T LEVEN	Een beregeningsproef in de fruitteelt op zeeklei. *Meded. Dir. Tuinb.* 19 (1956) 356–368.
—— EN J. J. SCHUURMAN	Bodembehandeling op het proefveld te Hoofddorp. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 63. 16 (1957).

BUTIJN, J. AND J. WESSELING	Determination of the capillary conductivity of soils at low moisture tension. *Neth. J. Agr. Sci.* 7 (1959) 155–165.
CHAPTAL, L.	Sur une mode de determination des periodes de secheresse et des periodes d'humidité. *Ann. Agron.* 14 (1944) 443–453.
CHILDS, E. C.	The use of soil moisture characteristics in soil studies. *Soil Sci.* 50 (1940) 239–253.
—— AND N. COLLIS-GEORGE 1950a	The control of soil water. *Advances in Agronomy 2* 1950, 234–272.
—— and N. COLLIS-GEORGE 1950b	The permeability of porous materials. *Proc. Roy Soc. London A* 201 (1950).
COKER, E. G.	Root studies 12. *Journ. Hort. Sci.* 33 (1958) 71–79.
COLLIS GEORGE N.	A note on the pressure plate-membrane apparatus. *Soil Sci.* 74 (1952) 315–322.
COLMAN, E. A.	A laboratory procedure for determining the field capacity of soils. *Soil Sci.* 63 (1947) 277–289.
CRIDER, F. J.	Root growth stoppage resulting from defoliation of grass. *Techn. Bull.* 1102 U.S.D.A., 1955.
CRONEY, D. AND J. D. COLEMAN	Soil structure in relation to soil suction (pF) *J. Soil Sci.* 5 (1954) 75–84.
CZERATZKI, W. UND W. KORTE	Rationelle Steuerung der Feldberegnung. *Landbauforschung* 5 (1955) 75–78.
DEGMAN, E. S., J. R. FURR AND J. R. MAGNESS	Relation of soil moisture to fruit bud formation in apples. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 29 (1932) 199–201.
DONATH, J.	Das Gefüge des Bodens und deren Kennzeichnung. *Verhand. 6. Komm. Int. Bodenkundl. Gesellsch. B* (1937) 423–439.
DREIBRODT, L.	Über den Verlauf des Wasserverbrauchs und den Wasserbedarf verschiedener Gemüsearten. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 97 (1953) 203–212.
DUIN, R. H. A. VAN	Waterbehoefte der gewassen. *Landbouwk. Tijdschr.* 66 (1954) 240–243.
———	Over de invloed van grondbewerking op het transport van warmte, lucht en water in de grond. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 62. 7 (1956).
—— EN D. W. SCHOLTE UBING	Invloed van het weer op de opbrengst van de aardappels. *Landbouwk. Tijdschr.* 67 (1955) 795–801.
EBERMAYER, E.	Einfluss der Wälder, 1900.
ELRICK, D. F. AND C. B. TAMM	Influence of sample pretreatment on soil moisture retention. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 19 (1955) 279–282.
EMERSON, W. W.	Rate of water uptake of soil crumbs at low suction. *Journ. Soil Sci.* 6 (1955) 149–159.
ERICKSON, L. C.	Growth of tomato roots as influenced by oxygen and nutrient solution. *Am. Journ. of Botany* 33 (1946) 551–561.
EYSVOGEL, W. F., F. HELLINGA, F. W. G. PIJLS, W. C. VISSER	Waterbeheersing in de Ver. Staten. C.O.P., 1954.
FRANKENA, H. J. EN M. A. J. GOEDEWAAGEN	Een vakkenproef over de invloed van verschillende waterstanden op de grasgroei bij drie grondsoorten. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 48 (6) A, 1942.
FRÖHLICH, F.	Pflanzenbauliche grundlagen der Zusatzberegnung in Feldgemüsebau. *Deutsche Gartenbau* 5 (1958) 89-92.
FULTON, J. M. AND H. F. MURWIN	The relationship between available soil moisture level and potato yields. *Can. J. Agr. Sci.* 35 (1955) 552–557.
FURNEAU, B.	The after effects of a wet winter. *The Grower*, 36, 5 (1951), 214–215.

FURR, J. R. AND J. O. REEVE — Range of soil moisture percentages through which plants undergo permanent wilting in some soils from semiarid irrigated areas. *J. of Agr. Res.* 71 (1945) 149–170.

FURR, J. R. AND C. A. TAYLOR — Growth of lemon fruits in relation to moisture content of the soil. *Techn. Bull.* 640, *U.S. Dep. Agr.*, 1939.

FURR, J. S. AND E. S. DEGMAN — Relation of moisture supply to stomatal behaviour of the apple. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 28 (1931) 547–551.

GARDNER, V. R., F. C. BRADFORD AND H. D. HOOKER JR. — The fundamentals of fruit production 3rd edn. 1952.

GARDNER, W. R. — Calculation of capillary conductivity from pressure plate outflow data. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 20 (1956) 317–320.

—— — Some steady state solutions of the unsaturated moisture flow equations with application to evaporation from a water table. *Soil Sci.* 85 (1958) 228–232.

GINRICH, J. R. AND M. B. RUSSELL — Effect of soil moisture tension and oxygen concentration on the growth of corn roots. *Agron. J.* 48 (1956) 517–520.

—— AND M. B. RUSSELL — Comparison of effects of soil moisture tension and osmotic stress on root growth. *Soil Sci.* 84 (1957) 185–194.

GIST, R. AND G. O. MOTT — Effects of light intensity, temperature and soil moisture on the growth of alfalfa, red clover and birdsfoot trefoil seedlings. *Agron. J.* 49 (1957) 33–37.

GLIEMEROTH, J. — Struktur und Wasserhaushaltung auf Lehm und Lössböden und ihre Bewertung der Bearbeitung. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 93, (1951) 319–337.

GOEDEWAAGEN, M. A. J. — Het wortelstelsel der landbouwgewassen. Dept. v. Landb., Den Haag, 1942.

—— — Grondwaterstand en beworteling der gewassen. *Versl. Techn. Bijeenkomsten Comm. Hydrol. Onderzoek T.N.O.* (1946) (1952) 65–81.

—— — Beoordeling van de vitaliteit van het wortelstelsel. *Landbouwk. Tijdschr.* 66 (1954) 553–554.

—— — De oecologie van het wortelstelsel der gewassen. De Plantenwortel in de Landbouw, Den Haag, 1955, 31–68.

—— C. VAN DEN BERG, D. VAN DEN BOSCH, J. BUTIJN, J. J. JONKER, D. VAN DER SCHAAF, J. J. SCHUURMAN — Wortelgroei in gronden bestaande uit een bovengrond van klei en een ondergrond van zand. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 61. 7 (1955).

—— P. K. PEERLKAMP — Verslag van het structuur- en wortelonderzoek op het proefveld Ranop 123, bij Kuinre in de jaren 1950 en 1951. *Landbouwproefst. en Bodemk. Inst. T.N.O., Groningen.*

GOODE, J. E. — Soil moisture deficits developed under long and short grass. *Ann. Rept. East Malling. Res. Stat.* 1955, 64–68.

—— — Soil moisture relationships in fruit plantations. *Ann. Applied Biol.* 44 (1956) 525–530.

—— AND G. C. WHITE — Soil management effects on a number of chemical and physical properties of the soil. *Ann. Rept. East Malling Res. Sta.* (1957) 113–121.

GRAY, H. E., G. LEVINE AND W. K. KENNEDY — Use of water by pasture crops. *Agr. Engineering* 36 (1955) 529.

HADDOCK, J. — Interrelationships of irrigation method, soil moisture condition and soil fertility on sugarbeets. Colloque: Plant Analysis and Fertilizer Problems. 8e Congr. Int. Botanique Paris, 1954, 121–135.

HAGAN, R. M.	Factors affecting soil moisture plant growth relations. Report 14th. Int. Hort. Congr1955, 82–102.
HAISE, H. R., H. J. HAAS AND L. R. JENNE	Soil moisture studies of some great plain soils 2. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 19 (1955) 20–25.
HALLAIRE, M.	Diffusion capillaire de l'eau dans le sol et repartion de l'humidité en profondeur sous sols nus et cultivés. *Ann. Agronomiques* 4 (1953) 143–145.
HANKS, R. J., W. E. HOLMES AND C. B. TANNER	Field capacity approximation based on the moisture transmitting properties of the soil. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 18 (1954) 252–254.
HANSEN, V. E.	Consumptive use as related to evaporation and its effect upon irrigation practice. *Landbouwk. Tijdschr.* 66 (1954) 476.
HARLY, C. P. AND M. P. MASURE	Relation of atmospheric conditions to enlargement rate and periodicity of winesap apples. *J. Agr. Res.* 57, 2 (1938) 109–124.
HARRIS, D. G. AND C. H. M. v. BAVEL	Growth yield and waterabsorption of tobacco plants as affected by the composition of the root atmosphere. *Agron. J.* 49 (1957) 11–15.
HEINICKE, A. J.	The effect of submerging the roots of apple trees at different seasons of the year. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 29 (1932) 205–207.
—— AND D. BOYNTON	The response of McIntosh apple trees to improved subsoil aeration. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 38 (1941) 27–31.
HENDRICKSON A. H. AND F. J. VEIHMEYER	Irrigation experiments with peaches in California. *Agr. Exp. Sta. Berkely Cal. Bull.* 479 (1929).
—— AND F. J. VEIHMEYER	Irrigation experiments with Prunes. *Agr. Exp. Sta. Berkely Cal. Bull.* 573 (1934).
—— AND F. J. VEIHMEYER, 1942a	Irrigation experiments with pears and apples. *Agr. Exp. Sta. Berkely Cal. Bull.* 667 (1942).
—— AND F. J. VEIHMEYER 1942b	Readily available moisture and sizes of fruit. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 40 (1942) 13–18.
HERRMANN, F. J.	Untersuchungen über den Einfluss der kunstlichen Beregnung. *Diss. Univ. Bonn*, 1951.
HESSE, W.	Wasserhaushalt der Kulturpflanzen. *Neth. Journ. Agr. Sci.* 4 (1956) 60–66.
HILTNER, E.	Der Tau und seine Bedeutung für den Wasserhaushalt der Kulturpflanzen. *Praktische Blätter für Pflanzenbau und Pflanzenschutz.* 7–30, 1931, 223–233.
HOLMES, J. W.	Water sorption and swelling of clay blocks. *J. of Soil Science* 6 (1955) 200–207.
HOORN, J. W. VAN	Results of a groundwater level experimental field with arable crops on clay soil. *Neth. Journ. Agr. Sci.* 6 (1958) 1–10.
HOUK, I. E.	Irrigation engineering. Vol 1, 1951.
HOWE, O. W. AND H. F. RHOADES	Irrigation practice for corn production in relation to stage of plant development. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 19 (1955) 94–98.
HUDSON, J. P. AND P. J. SALTER	Watering tomatoes under glass. *Dep. Hort. Misc. Publ. 1, Univ. Nottingham Sch. of Agr.*, 1956.
HUNTER, A. S. AND O. J. KELLEY	New technique for studying the absorption of moisture and nutrients from soil by plant roots. *Soil Sci.* 62 (1946) 441–450.
ILJIN, W. S.	Drought resistance in plants and physiological processes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 8 (1957) 257–274.
JACKS, J. V., W. O. BRIND AND R. SMITH	Mulching. *Techn. Comm. 49, Commonw. Bur. Soil Sci.* 1955.
JACOB, W. C., M. B. RUSSELL, A. KLUTE, J. LEVINE, R. GROSSMAN	The influence of irrigation on the yield and quality of potatoes on Long Island. *Am. Potato J.* 29 (1952), 292–296.
JAMISON, V. C.	Changes in air-water relationships due to structural improvements of soils. *Soil Sci.* 76 (1953) 143–152.

JAMISON, V. C. Pertinent factors governing the availability of soil moisture to plants. *Soil Sci.* 81 (1956) 459–472.

JANES, B. E. Absorption and loss of water by tomato leaves in a saturated atmosphere. *Soil Sci.* 78 (1954) 189–198.

KALISVAART, C. Watervoorziening door infiltratie, landbouwkundige aspecten. *Landbouwk. Tijdschr.* 69 (1957) 994–1008.

KAUSCH, W. Saugkraft und Wassernachleitung im Boden als physiologische Faktoren. *Planta* 45 (1955) 217–263.

KELLEY, J. O., A. S. HUNTER AND C. HOBBS The effect of moisture stress on nursery-grown guayule with respect to the amount and type of growth and growth response on transplanting. *Journ. Am. Soc. Agron.* 37 (1945) 194–216.

KEMMER, E. UND F. SCHULZ Grundlagen der Bodenpflege im Obstbau, 1938.

KENWORTHY A. L. Soil moisture and growth of apple trees. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 54 (1949) 29–39.

KESSLER, O. D. Die Wasseraufnahme der Pflanzen durch die Blätter und ihre Bedeutung für die Feldberegnung. *R.K.T.L. Schriften* 38 (1933) 111–118.

KIRWALD, E. Grundzüge der forstlichen Wasserhaushaltstechnik, 1944.

KITTREDGE, J. Forest influences, 1948.

KLAPP, E. Leistung Bewurzelung und Nachwuchs einer Grassnarbe unter verschieden häufiger Mahd und Beweidung. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 93 (1951) 269–286.

K.N.M.I. Frequenties van K-daagse neerslagsommen op Ned. Stations (samengesteld door dr. C. Levert). 7. Vlissingen 1905–1953. *Publikatie 140-7. K.N.M.I., De Bilt*, 1957.

KOPECKY, J. Die physikalischen Eigenschafte des Bodens. *Int. Mitt. für Bodenkunde* 4 (1914) 138–180.

KRAMER, C. Berekening van de gemiddelde grootte van de verdamping voor verschillende delen van Nederland volgens de methode Penman. *Meded. en Verhand. K.N.M.I.* 70 (1957).

KRAMER, P. J. Absorption of water through suberized roots of trees. *Plant Physiol.* 21 (1946) 37–41.

—— Causes of injury to plants resulting from flooding of the soil. *Plant Physiol* 26 (1951) 722–736.

—— Plant and soil water relationships 1949.

—— AND W. T. JACKSON Causes of injuring to flooded tobacco plants. *Plant Physiol.* 29 (1954) 241–245.

KRIEGBAUM, H. Zur Frage der Erträgsänderung bei einigen Nutzpflanzen durch Beregnung zur verschiedener Zeiten. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 100 (1955) 99–132.

KUIPERS, S. F. Een bijdrage tot de kennis van de bodem van Schouwen-Duiveland en Tholen naar de toestand voor 1953. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 65. 7 (1960).

LAATSCH, W. Dynamik der Mitteleuropaïschen Mineralböden. 4 Aufl. 1957.

LALATTA, F. Prove sulla validita di un metodo par la valutatione comparativa della resistenza dei fruttiferi alle siccita. *Ann. Spec. Agrar.* 10 (1956) 513–537.

LAND, W. P. AND J. CARREKER Results of evapotranspiration and root distribution studies. *Agr. Engineering* 34 (1953) 319–322.

LARSON, W. E. AND W. B. JOHNSTON Effect of moisture level on yield, consumptive use of water and root development by sugarbeets. *Proc. Soil Sci. Soc.* 19 (1955) 275–279.

LAURITZEN, C. W. AND A. J. STEWART — Soil volume changes and accompanying moisture and porespace relationships. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 6 (1941) 113–116.

LEHANE, J. J. AND W. J. STAPLE — Water retention and availability in soils related to drought resistance. *Canad. J. Agr. Sci.* 33 (1953) 265–273.

LEONARD, O. A. AND J. A. PINCKARD — Effects of various O_2 and CO_2 concentrations on cotton root development. *Plant Physiol.* 21 (1946) 18–36.

LIESHOUT, J. W. VAN — Invloed van wortelontwikkeling op de waterhuishouding op een hoge zandgrond. *Landbouwk. Tijdschr.* 69 (1957) 165–179.

—— — Wortelontwikkeling van haver bij verschillende vocht- en voedingstoestand van de grond. *Landbouwk. Tijdschrift* 69 (1957) 317–325.

LINSKENS, H. F. — Niederschlagsverteilung unter einen Apfelbaum im Laufe einer Vegetationsperiode. *Annalen der Meteorlogie* 1/2 (1952) 30–34.

LÖHRKE, L. — Bodenfeuchtigkeit in Obstanlagen. *Archiv für Gartenbau* 4 (1956) 93–111.

MAGILL, W. W. — Summer soil moisture. *Am. Fruit Grower*, 74 (1954) 26–27.

MAGNESS, J. R. — Soil moisture in relation to fruit tree functioning. Rept. 13th Int. Hort. Congr. (1952) 230–239.

MAGNESS, J. R. — Fruit tree and water. *Am. Fruit Grower*, 75 (1955) 11.

—— AND E. S. DEGMAN — Soil moisture and irrigation investigations in eastern apple orchards., *U.S. Dept. Agr. Techn. Bull.* 491 (1935).

MAKKINK, G. F. 1951a — Sproei adviezen voor de landbouw. *Landbouwvoorl.* 8, (1951) 438–446.

—— 1951b — Grasopbrengst en vochtspanning. *Versl. C.I.L.O.* 1951, 58–63.

—— 1951c — Het waterverbruik van grasland 3. *C.I.L.O. Gest. Meded.* 5, 1951.

—— — De evapotranspiratie van grasland in 1953, 1955. *Verslag C.I.L.O.* 1953, 50–51; 1955, 74–79.

—— — De evapotranspiratie van grasland in 1956. *Jaarboek 1957, Inst. Biol. en Scheik. O. v. d. Landb. gewassen* 1957, 69–72.

—— AND H. D. J. VAN HEEMST — Actual evapotranspiration as a function of potential evaporation and soil moisture tension. *Neth. Journ. Agr. Sci.* 4 (1956) 67–72.

MARSHALL, T. J. — Relations between permeability and size distribution of pores. *Journ. Soil Sci.* 91 (1958) 1–8.

MASCHHAUPT, J. G. — Lysimeter onderzoekingen I. Regenval, drainage en verdamping. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 44 (1) A, 1938.

MILLER, R. D. AND J. L. MCMURDY — Field capacity in laboratory columns. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 17 (1953) 191–195.

MILLER, S. A. AND A. P. MAZURAK — Evaluation of permanent wilting percentage, 15 atm. moisture % and hygroscopic coefficient of 3 soils in eastern Nebraska. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 19 (1955) 260–263.

MILLER, W. M. — Empirical relations of soil moisture tension. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 18 (1954) 239–243.

MITSCHERLICH, E. A. — Bodenkunde (für Landwirte u.a.), 1950

—— UND H. BEUTELSPACHER — Untersuchungen über den Wasserverbrauch. *Bodenkunde und Pflanzenernähr.* 9 (1938) 337–355.

MULDER, D. — Het nemen van een bladmonster voor chemisch onderzoek. *Meded. Dir. Tuinbouw* 14 (1951) 128–130.

NIEKERK, P. E. U. R. V. — The irrigation of fruit trees and vines. *Farming in South Africa.* June 1943, (Fruit Res. Series no. 13).

NIELSEN, D. R. AND R. H. SHAW — Estimation of the 15 atm.-moisture-% from hydrometer data. *Soil Sci.* 86 (1958) 103–105.

NITSCH W. VON — Porengrössen im Boden, ihre Beziehungen zur Bodenbearbeitung und zum Wasserhaushalt. *R.K.T.L. - Schriften*, 85 (1937).

OPPENHEIMER, H. R. AND D. L. ELZE	Irrigation of citrus according to physiological indications. *Agr. Res. Sta. Rehovot, Bull.* 31 (1941).
——	Water requirements and irrigation of citrus groves. *Rept. 13th Int. Hort. Congr.* (1952) 1267–1274.
OSKAMP, J.	The rooting habit of decidious fruits in different soils. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 29 (1932) 213–219.
——	Groundwater as a measure of the suitability of a soil for orchard purposes. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 30 (1934) 410–414.
—— AND L. P. BATJER	Soils in relation to fruit growing in New York 2. *Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. Bull.* 550 (1932).
OVINGTON, J. D.	A comparison of rainfall in different woodlands. Forestry 27 (1954) 41–53.
PAAUW, F. V. D.	Waterrelations of oats. *Plant and Soil* 1 (1949) 303–341.
——	Calibration of soil test methods for P and K status. *Plant and Soil* 8 (1956) 105–125.
——	Potash requirements and meteorological conditions. *Plant and Soil* 9 (1958) 254–268.
PAYNE, D.	Soil structure and soil fertility. *Agr. Progress.* 27 (1952) 155–166.
PEERLKAMP, P. K.	Het meten van de bodemstructuur. *Landbouwk. Tijdschr.* 60 (1948) 321–338.
PEICHL, L.	Beziehungen zwischen Ertrag und Witterung beim Kernobst. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 95 (1952) 233–260.
PENMAN, H. L.	Gas and vapour movements in the soil 1. *Journ. of Agr. Sci.* 30 (1940) 437–462.
——	Dependence of transpiration on weather and soil conditions. *Journ. of Soil Sci.* 1 (1949) 74–89.
——	Recent Rothamsted studies in natural evaporation. *Landbouwk. Tijdschr.* 62 (1950) 166–178.
——	The physical basis of irrigation control. *Rept. 13th Int. Hort. Congr.* 1952, 913–924.
——	Evaporation, an introductory survey. *Neth. Journ. Agr. Sci.* 4 (1956) 9–29.
REITZ, H. J. AND LONG, W. T.	Watertable fluctuation and depth of rooting of citrus trees in the Indian River area. *Proc. Fla. Sta. Hort. Soc.* 68 (1956) 24–29.
REMSON, I. AND J. R. RANDOLPH	Root growth near tensiometer cups as cause of diurnal fluctuations of readings. *Soil Sci.* 85 (1958) 167–171.
RICHARDS, L. A. 1941a	Uptake and retention of water by soil as determined by distance to a watertable. *Journ. of the Am. Soc. Agron.* 33 (1941), 778–786.
—— 1941b	A pressure membrane extraction apparatus for soil solution. *Soil Sci.* 51 (1941) 377–387.
——	Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Sci.* 68 (1949) 95–111.
—— AND W. E. LOOMIS	Limitations of auto- irrigators for controlling soil moisture under growing plants. *Plant Physiology* 17 (1942) 220–235.
——. M. B. RUSSELL AND O. R. NEAL	Further developments in apparatus for field moisture studies. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 2 (1937) 55–64.
—— AND L. R. WEAVER	Moisture retention of soils. *Soil Sci.* 56 (1943) 331–339.
—— AND L. R. WEAVER	Moisture retention by some irrigated soils as related to soil moisture tension. *Journ. Agr. Res.* 69 (1944) 215–236.
RINNO, G	Untersuchungen über die Wasserbewegung im Boden in Abhängingkeit von der Grösse der Bodenoberfläche der Hygroskopizität und den Kationenbelag. *Z. Pflanzenernähr. Düngung und Bodenk.* 54 (1951) 10–27.

RINNO, G.	Ein Betrag zur Hygroskopizitätsbestimmung. *Z. Pflanzenernähr. Düngung und Bodenk.* 66 (1954) 156–160.
ROBERTS, O.	Water adsorption by potato leaves from fog. *British Agr. Bull.* 5 (1955) 313.
ROBERTSON, L. S. AND H. KOHNKE	The pF at the wilting point at several Indiana soils. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 11, (1946) 50–53.
ROBINS, J. S. AND C. E. DOMINGO	Moisture deficits in relation to the growth and development of dry beans. *Agron. Journ.* 48 (1956) 67–70.
ROGERS, W. S.	The relation of soil moisture to plant growth. *Ann. Rept. East Malling Res. Sta.* 1935, 111–120.
——	Soil moisture studies 1. *Ann. Rept. East Malling Res. Sta.* 1936, 105–109.
——	An apple irrigation trial using soil moisture meters. *Ann. Rept. East Malling Res. Sta.* 1938, 118–126.
—— AND J. E. GOODE	Irrigation requirements of fruit orchards. *Ann. Rep. East Malling Res. Sta.* 1952, 171–173.
—— AND M. C. VYVYAN	Root studies I and II. *Ann. Rep. East Malling Res. Sta.* 1926/27 II Suppl. 31–43. *Journ. Pomol.* 12 (1934) 110–150.
ROTHE, G.	Über dem Wasserhaushalt der Marschböden im Niederelbischen Obstbaugebiet. *Arbeiten a.d. Biolog. Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft* 20 (1933) 603–631.
RUSSEL, J. C.	The effect of surface cover on soil moisture losses by evaporation. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 4 (1939) 65–70.
RUSSELL, M. B.	Soil moisture sorption curves for four Iowa soils. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 4 (1939) 51–54.
—— AND R. E. DAVIDSON	Time and depth pattern of water use by corn. *Agron. Journ.* 48 (1956) 163–165.
—— AND L. A. RICHARDS	Determination of soil moisture energy relations by centrifugation. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 3 (1938) 65–69.
RIJKOORT, P. J.	Nomogram van de bepaling van de potientiële evapotranspiratie, volgens de formule van Penman. K.N.M.I. R. 3, 1954, 143.
RIJTEMA, P. E.	Calculation methods of potential evapotranspiration. *Proc. Comm. 6 Int. Soil Sci. Soc.* 1958.
SCHELLING, J.	Stuifzandgronden. *Uitvoerige Versl. Bosbouwproefstation T.N.O.* 2, 1 (1955) 1–58.
SCHREVEN, D. A. VAN	Stikstofomloop en stikstofanalyse voor het schatten van de stikstofbehoefte. *Meded. Dir. Tuinbouw* 19 (1956) 641–655.
SCHUFFELEN, A. C., A. R. P. JANSE EN G. P. WIERSEMA	Een eenvoudige methode om het koolzuurgehalte van bodemlucht te bepalen. *Landbouwk. Tijdschr.* 66 (1954) 36–39.
——, A. MULLER, J. CH. VAN SCHOUWENBURG	Quick tests for soil and plant analysis used by small laboratories. To be published in: *Neth. Journ. Agr. Sci* 1961.
SCOFIELD, R. K.	The pF of the water in the soil. *Trans. Intern. Congr. Soil Sci.* 3rd Congr. Oxford 2, 1935, 37–48.
SEGEBERG, H.	Gewächshausversuche zur Bestimmung des Welkepunktes humoser Sandboden. *Z. Pflanzenernähr. Düngung und Bodenk.* 82 (1958) 151–164.
SEKARA, F.	Die nutzbare Wasserkapazität und die Wasserbeweglichkeit im Boden. *Z. Pflanzenernähr, Düngung und Bodenk.* 22 (1931) 87-111.
SEKARA, F.	Die Strukturanalyse des Bodens. *Bodenk. und Pflanzenernährung* 6 (1938) 259–288.
SHAW, J. K. AND U. SOUTHWICK	Heavy mulching in bearing apple orchards. *Massachusetts Agr. Exp. Sta. Bull.* 328 (1936).
SHAW, T. (editor)	Soil physical conditions and plant growth 1952.

SIEBEN, W. H.	Het verband tussen grondwaterstand en opbrengst in het Veluwe-randgebied ten Z.O. van de toekomstige Oosterpolder. Voorl. Rapp. Dir. Wieringermeer, Kampen, 1950.
SLATYER, R. O.	Evapotranspiration in relation to soil moisture. *Neth. Journ. Agr. Sci.* 4 (1956) 73–76.
SMITH, R. M. AND D. R. BROWNING	Soil moisture tension and pore space relations for several soils in the range of the field capacity. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 12 (1947) 17–21.
SMITH, G. E. P., A. F. KINNISON AND A. J. CAMPS	Irrigation investigations in young grapefruit orchards on the Yama Mesa. *Univ. of Arizona Agr. Exp. Sta. Techn. Bull.* 37 (1931).
SOKOLOV, A. W.	Die Verteilung der Nährstoffe im Boden und den Pflanzenertrag. Deutsche Bauern Verlag, 1956.
STEPHENSON R. E. AND C. E. SCHUSTER	Effect of mulches on soil properties. *Soil Sci.* 59 (1945) 219–239.
STEUBING,	Beitrage zur Tauwasseraufnahme höherer Pflanzen. *Biol. Zentralblatt*, 68 (1949) 252–259.
STEUR, G. G. L. I. OVAA EN J. DE BUCK	De bodemgesteldheid van een deel van de zak van Zd-Beveland. (Intern) Rapport no. 412. St. v. Bodemkartering 1955.
STEVENSON I. L.	Observations on microbal activity in remoistened air dried soils. *Plant and Soil* 8 (1956) 170–182.
STOLP, D. W.	De waterhuishouding in de tuinbouw. *Meded. Dir. Tuinb.* 15 (1952) 693–713.
—— EN J. BUTIJN	Beregening in West-Duitsland. *Meded. Dir. Tuinb.* 17 (1954) 135–147.
—— EN J. C. J. MOHRMANN	Droogtekansen en beregening. *Meded. Dir. Tuinb.* 16 (1953) 363–378.
STONE, E. C., A. SHACHRI AND R. C. STANLY	Water absorption by needles of Ponderosa pine seedlings and its internal redistribution. *Plant Physitl.* 31 (1956) 120–126.
STONE, E. C., F. W. WENT AND C. L. YOUNG	Waterabsorption from the atmosphere by plants growing in dry soil. *Science* 111 (1950) 546–548.
TAYLOR, S. A., 1952a	Estimating the integrated soil moisture tension in the root zone of growing crops. *Soil Sci.* 73 (1952), 331–340.
—— 1952b	Use of mean soil moisture tension to evaluate the effect of soil moisture on crop yields. *Soil Sci.* 74 (1952) 217–226.
TAYLOR, G. A. AND J. L. HADDOCK	Soil moisture availability related to power required to remove water. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 20 (1956) 284–288.
UHLIG, S.	Die Charakterisierung der Bodenfeuchteverhältnisse mit Hilfe relativer Zahlenwerte. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 98 (1954) 313–324.
R. VARQUEZ AND S. A. TAYLOR	Simulated root distribution and water removal rates for moist soil. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 22 (1958) 106–110.
VEIHMEYER, F. J. AND A. H. HENDRICKSON	The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. *Soil Sci.* 32 (1931) 181–195.
—— AND A. H. HENDRICKSON	Essentials of irrigation and cultivation of orchards. *Calif. Agr. Ext. Serv. Circ.* 50 (1943).
—— AND A. H. HOLLAND	Irrigation and cultivation of lettuce. *Agr. Exp. Sta. Berkely, California, Bull.* 711 (1949).
VELDMAN, G.	Over de landbouwkundige waarde van lichte mariene gronden. (Intern Rapport) Directie Wieringermeer (Noordoostpolderwerken) 1950.
VERHOEVEN, B.	Over de zout- en vochthuishouding van geïnundeerde gronden. Deel 4. De inundaties 1944–1945. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 59, 5 (1953).

VISSER, A.	Invloed grondsoort en grondwaterstand in de fruitteelt. *De Fruitteelt* 45 (1955) 88–91.
VISSER, W. C.	De groei van kersen in verband met het bodemprofiel. *Meded. Dir. Tuinbouw* 9 (1946) 644–650.
——	Bodemeigenschappen en de groei van pruimen. *Meded. Dir. Tuinb.* 10 (1947) 31–41.
——	De eisen van aardbeien t.a.v. de diepte van het grondwater. *Meded. Dir. Tuinbouw* 11 (1948) 351–355.
——	Agrohydrologische studies betreffende geestgrond. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 56. 9 (1950).
——	*Methodiek* van het onderzoek naar de gewenste ontwateringsdiepte. *Versl. Techn. Bijeenk. Comm. Hydrol. Onderz. T.N.O.* 56, (1952) 35–52.
——	Het waterhuishoudingsonderzoek. Hoofdst. 2 uit: De Waterhuishouding in de Verenigde Staten C.O.P. 1954.
——	De landbouwwaterhuishouding van Nederland. Rapport 1, C.O. L.N.-T.N.O. 1958.
VRIES, D. A. DE, H. J. VENEMA	Some considerations on the behaviour of the Piche evaporimeter. *Vegetatio acta Geobotanica* 17 (1954) 225–234.
WADLEIGH, C. H.	The integrated soil moisture stress upon a root system in a large container of saline soil. *Soil Sci.* 61 (1946) 225–238.
—— AND H. G. GAUCH	Rate of leaf elongation as affected by the intensity of the total soil moisture stress. *Plant Physiol.* 23 (1948) 485–495.
WATERHOUSE, A. D. AND H. F. CLEMENTS	Irrigation control with tensiometers and irrometers. *Hawaï Plant Rev.* 54 (1954) 271–283.
WESSELING, J.	Enige aspecten van de waterbeheersing in landbouwgronden. *Versl. Landbouwk. Onderz. 63.5* (1957).
—— AND W. R. v. WIJK	Optimal depth of drainage. *Neth. Journ. Agr. Sci.* 3 (1955) 106–118.
WIERSMA D. AND F. J. VEIHMEYER	Absence of water exudation from roots of plants grown in an atmosphere of high humidity. *Soil Sci.* 78 (1954) 33–36.
WILCOX, J. C.	Factors affecting apple yields in the Okanagan Valley 1 *Sci. Agr.* 25 (1945) 189–213.
—— AND A. T. KNIGHT	Factors affecting apple yields in the Okanagan Valley 2. *Sci. Agr.* 25 (1945) 760–775.
——, J. L. MASON AND J. M. MCDOUGAL	Consumption use of water in orchard soils 2. *Canad. Journ. Agr. Sci.* 33 (1953) 231–245.
WIND, G. P.	De waarde van gipsblokjes en tensimeters voor de bepaling van het watergehalte van de grond. *Versl. C.I.L.O.* 1952, 66–72.
——	Verschillen in waterhuishouding tussen grasland en bouwland. *Versl. C.I.L.O.* 1954, 126–131.
—— 1955a	A field experiment concerning capillary rise of moisture in a heavy clay soil. *Neth. Journ. Agr. Sci.* 3 (1955) 60–69.
—— 1955b	Flow of water through plant roots. *Neth. Journ. Agr. Sci.* 3 (1955) 259–265.
WIND, R.	The lysimeters in the Netherlands. *Versl. Techn. Bijeenkomst Comm. Hydrol. Ond. T.N.O.* 3 (1958) 165–228.
WINNEBERGER, J.	Transpiration as a requirement for growth of land plants. *Physiologia Plantarum* 11 (1958) 56–61.
WITTE, K.	Grundsätzliche Fragen der Feldberegnung. *Vorträge der* 5. Hochschultagung Bonn – Poppelsdorf 1951, 96–107.
——	Untersuchungen über den Einfluss erhöhter Luft und Bodenfeuchte auf den Pflanzenertrag. Heft 1, Schriftenreihe des Ausschusses für Kulturbauwesen in West Deutschland, 1952.

WITTE, K.	Ergebnissen von Beregnungsversuche zu Gemüse. *Mitt. Deutsch. Landw. Gesellschaft* 7 (1955) 329–330.
WORK, R. A. AND M. R. LEWIS	The relation of soil moisture to pear tree wilting in a heavy clay loam. *Journ. Am. Soc. Agr.* 28 (1936) 124–134.
WIJK, W. R. VAN AND O. A. de VRIES	Evapotranspiration. *Neth. Journ. Agr. Sci.* 2 (1954) 105–118.
YOUNGS, E. G.	Redistribution of moisture in poreous materials after infiltration, I. *Soil Sci.* 86 (1958) 117–125.
ZEEUW, J. W.	Het weergeven van het verloop van het vochtgehalte van een bodemprofiel. *Landbouwk. Tijdschr.* 66 (1954) 108.