

V. GRONDWATERSTAND EN BEWORTELING DER GEWASSEN

M. A. J. GOEDEWAAGEN

Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O., Groningen

I. INLEIDING

De vraag, welke waterstand optimaal is voor de cultuurgewassen, hangt ten nauwste samen met de uitbreiding en de dieptegroei van het wortelstelsel dezer gewassen. Op lichte gronden dreigt bij een lage waterstand de watervoorziening van het gewas in het minimum te geraken, indien de wortels zich niet diep genoeg in de grond kunnen uitbreiden, terwijl omgekeerd een hoge waterstand om andere redenen nadelig kan zijn voor de wortels en daarmee indirect voor de ontwikkeling van de bovengrondse organen van het gewas.

De wortelonderzoeker ziet zich dus voor de volgende vragen geplaatst:

- a. Welke zijn de factoren, die van invloed zijn op de uitbreiding van het wortelstelsel in de diepere bodemlagen?
- b. Wat is de betekenis van het grondwater voor de plantenwortels en hoe maken zij daar gebruik van?
- c. Hoe komt het, dat een hoge grondwaterstand nadelig is voor het gewas?

Bij de beantwoording van de eerste vraag dient rekening te worden gehouden met het bestaan van erfelijke verschillen in het bewortelingsvermogen der gewassen. Onze bolgewassen, die, in tegenstelling met de meeste landbouwgewassen, betrekkelijk oppervlakkig wortelen, vereisen op onze geestgronden — zoals door BLAAUW is vastgesteld — een grondwaterstand van 50 à 60 cm onder het maaiveld.

De diepte, die de wortels bereiken, is echter tevens afhankelijk van de bodemgesteldheid en van andere factoren. Zo wordt de wortelgroei vaak dusdanig beheerst door de bouw van het bodemprofiel, dat de erfelijke verschillen in beworteling daarbij in het niet vallen. Dit neemt niet weg, dat het aanpassingsvermogen aan een ongunstig profiel bij diverse soorten zeer ongelijk kan zijn. Een frappant verschil in aanpassingsvermogen troffen wij aan bij koolzaad en rogge, die op korte afstand van elkaar op een lichte zavelgrond te Oldehove (Groningen) werden verbouwd (fig. 1 en fig. 2). In beide gevallen was een stijve laag onder de bouwvoor aanwezig, die voor de koolzaadwortels wel, voor de roggewortels niet doorlatend was, met het gevolg, dat het koolzaadgewas, dat de vochtige ondergrond had kunnen bereiken, er in de maand Mei goed voor stond, terwijl de rogge in dezelfde tijd door watergebrek een grote vertraging in het te voorschijn komen der aren vertoonde. Koolzaad was met zijn wortels doorgedrongen tot de capillaire zone boven het grondwater en had zijn wortelstelsel door het vormen van een groot aantal zijwortels krachtig in die laag uitgebreid, terwijl de rogge geheel afhankelijk was van de in dat voorjaar slechts matige regenval.

Behalve ploegzolen kunnen ook oerbanken, knik- of spalterlagen voorkomen, die de dieptegroei der wortels verhinderen. Daar hiervan op de „Waterhuishoudingsdag” van de Bodemkundige Vereniging in 1940¹ reeds een aantal voorbeelden door mij

¹ M. A. J. GOEDEWAAGEN. De Waterhuishouding van de grond en de wortelontwikkeling. *Landbouwk. T.* 53 (1941) 118-146.

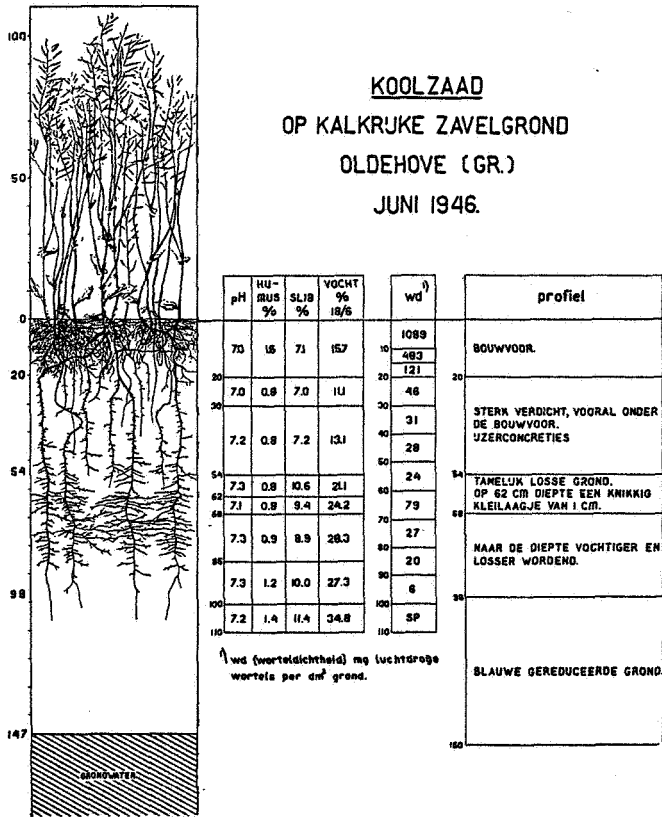


FIG. 1.

Koolzaad. Er is een verdichte laag onder de bouwvoor. De wortels hebben deze laag doorboord en hebben de losse, vochtige ondergrond bereikt

FIG. 1.

Colza (Brassica Napus L.)
There is a compact layer under the top soil. The roots have penetrated this layer and have reached the loose moist subsoil.

werd genoemd, zullen in deze bijdrage slechts gevallen van gebrekkige wortelgroei worden besproken, die op geheel andere oorzaken berusten.

2. DE BETEKENIS VAN HET GRONDWATER VOOR DE PLANTENWORTELS

Wij laten een beschouwing voorafgaan over de betekenis van het grondwater voor de werkzaamheid en de groei der plantenwortels en verwijzen daartoe naar de in de volgende figuren afgebeelde resultaten van een wortelonderzoek met aardbeien (Oberschlesien), die in bakken werden gekweekt bij een constant gehouden grondwaterstand van respectievelijk 50, 70 en 90 cm onder het maaiveld, en wel in een goed bemeste tuingrond, die 5% humus en 8% afslibbare delen bevatte alsmede in duinzand, dat eveneens optimaal bemest was, doch praktisch vrij was van humus en kleibestanddelen.

Uit fig. 3, die de planten in bloeiende toestand laat zien in de maand Juni, is op te maken, dat de aardbeien in deze bakken een hoge grondwaterstand vergen (50 cm beneden het maaiveld of wellicht minder) en dat vooral duinzand wegens het geringe waterbindend vermogen van deze grond grote behoefte heeft aan een hoog waterpeil.

ROGGE OP KALKRIJKE ZAVELGROND.

OLDEHOVE (GR.)

JUNI 1946.

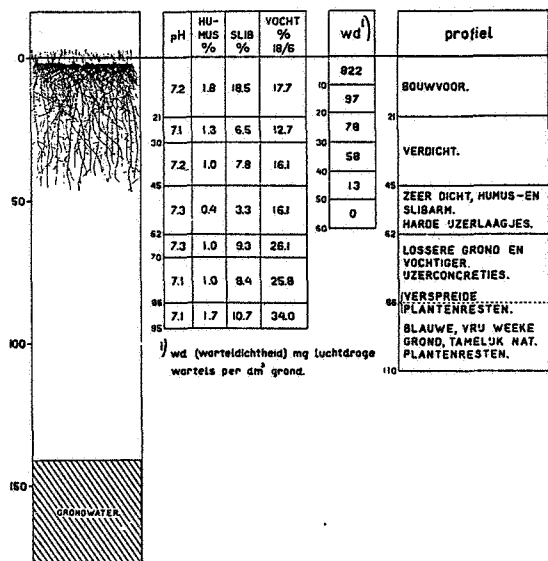


FIG. 2. Rogge. Er is een verdichte laag onder de bouwvoor. Door deze laag zijn de wortels van de lossere en vochtigere ondergrond afgesneden

FIG. 2. Rye. There is a compact layer under the top soil, which makes it impossible for the roots to penetrate into the looser and moister subsoil

De optimale grondwaterstand is echter in de bakken hoger dan voor dit gewas in de praktijk doorgaans vereist is. Dit vindt zijn oorzaak in de omstandigheid, dat de planten in de bakken, die van een diep ontwaterde akker in Paterswolde afkomstig waren, tot een diepte van 20 à 25 cm waren uitgegraven, zodat de diepere wortels — en deze zijn bij aardbeien zeer talrijk — op de akker waren achtergebleven. Na het overbrengen der planten in de met tuingrond respectievelijk duinzand gevulde bakken trad — niettegenstaande er af en toe regen viel — door het inkorten der wortels bij gelijkblijvende loofmassa vochtgebrek op, dat een ernstige stagnatie in de groei der planten veroorzaakte, vooral in de bakken met de diepere waterstanden. Dit kwam ook in een vertraagde bloei en vruchtzetting der planten tot uiting. Bovendien had dit tot gevolg, dat de wortels zich slechts langzaam aan het nieuwe milieu konden aanpassen. Zes weken na het planten werd waargenomen, dat de hoofdmassa van het wortelstelsel in de tuingrond nog slechts tot een diepte van 30 cm reikte. Bij de pluk, die midden Juli plaats vond, gaf alleen de tuingrondcultuur met een waterstand van 50 cm beneden het maaiveld een normale opbrengst. Overigens waren de opbrengsten gering en des te geringer, naarmate de waterstand lager was.

Daarna trad er echter een duidelijk herstel op en nam vooral de tuingrondcultuur bij een waterstand van 70 cm zodanig in omvang toe, dat er bij deze planten, vergeleken bij de cultuur met een waterstand van 50 cm, in Augustus haast geen achterstand meer te bespeuren viel. In September, toen de wortels gespoeld werden, was er in de bakken met tuingrond in het geheel geen verschil meer tussen de planten, die bij de waterstanden „50” en „70” tot ontwikkeling waren gekomen. Bij de tuingrondplanten met de diepste waterstand (90 cm) trad ook enig herstel op, maar de achterstand bleef hier bestaan. Dit was ook het geval bij de planten in de bakken met duinzand.

FIG. 3. Aardbeiplanten (Juni 1942) bij waterstand 50, 70 en 90 cm onder het maaiveld op twee grondsoorten (tuingrond met 5% humus en 8% afslibbaar en duinzand, vrijwel zonder humus en afslibbaar)

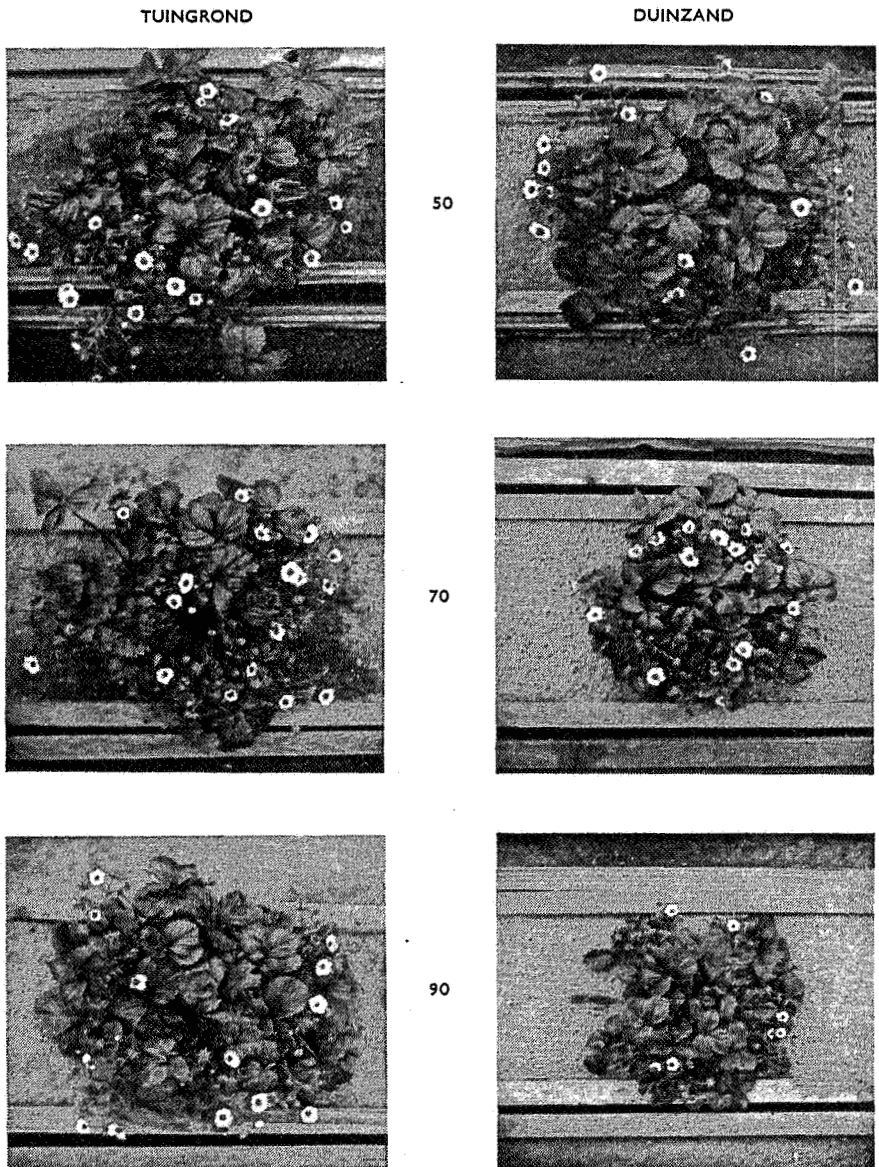


FIG. 3. *Strawberry plants (June 1942). Water table 50, 70 and 90 cm below the surface. Two soil types viz. garden soil with 5 per cent humus and 8 per cent clay ($< 16\mu$) and dune sand, practically without humus and clay.*

FIG. 4. Wortelontwikkeling van aardbeien in tuingrond bij drieërlei waterstanden. September 1942.

Krachtige wortelontwikkeling bij waterstand 50 en 70 cm b. mv.

Achterstand bij waterstand 90.

Met de stippellijnen is het vochtgehalte in de diverse bodemlagen weergegeven (De vochtgehalten zijn op de horizontale lijnen bij de punten 50, 70 en 90 uitgezet).

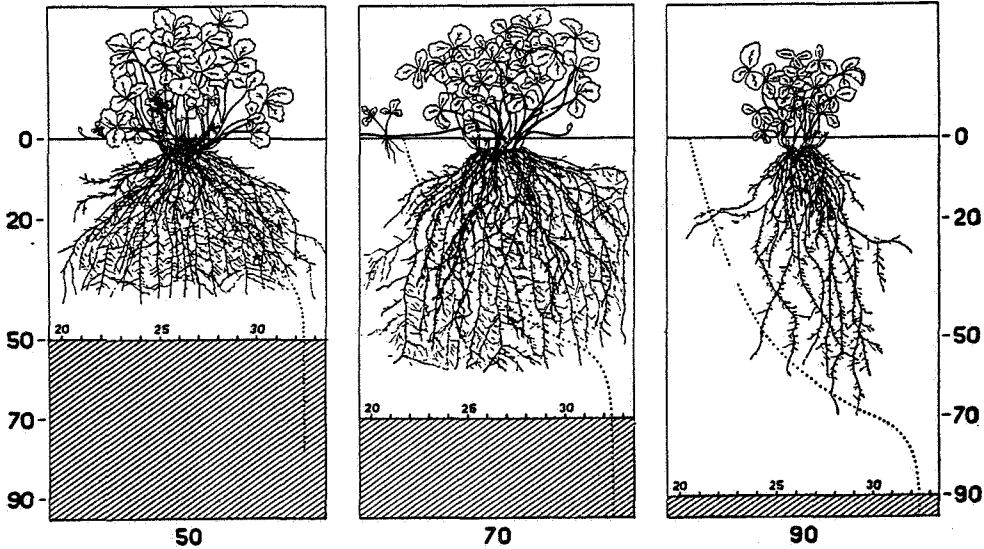


FIG. 4. Root development of strawberries in garden soil, with the groundwater at 3 different levels. September 1942. Strong root development with the groundwater at a level of 50 and 70 cm below the surface. At a groundwater level of 90 cm tops and roots poorly developed. The dotted lines represent the moisture content in the different soil layers (The moisture contents are shown on the horizontal lines at the points 50, 70 and 90).

Fig. 4, die de wortels en planten der tuingrondculturen in de maand September in beeld brengt, geeft een verklaring van het herstel der planten bij waterstand 70 en van de achterstand bij waterstand 90. Hiertoe dient men zich enerzijds rekenschap te geven van de wortelontwikkeling, anderzijds van de vochtverdeling in de grond, die weergegeven is door de in deze figuur afgebeelde gestippelde krommen, met behulp waarvan het vochtgehalte in de diverse bodemlagen kan worden afgelezen. Men ziet dan, dat de wortels bij de planten met de hoogste en de middelste waterstand zich diep in de capillaire zone van het grondwater hebben uitgebreid en in deze laag vele wortels en zijwortels tot ontwikkeling hebben gebracht. De achterstand, die de planten bij waterstand 70 in de aanvang hebben vertoond, is blijkbaar veroorzaakt door het toen nog korte wortelstelsel, dat onvoldoende van het capillair opgestegen water heeft kunnen profiteren. In tegenstelling met de culturen 50 en 70 is de wortelgroei bij de waterstand van 90 cm b. mv. door het drogere milieu, waarin de wortels zich bevonden, duidelijk vertraagd. Een ander opmerkelijk feit is, dat de wortels van alle culturen niet in de direct boven het grondwater gelegen, ongeveer 10 cm dikke, geheel met water gevulde capillaire zone zijn doorgedrongen. Deze zone is evenals de onder het phreatisch vlak gelegen grond nageenog geheel met water verzadigd. Het ligt voor de hand, aan te nemen, dat deze

zone wegens gebrek aan zuurstof een belemmering is geweest voor de wortelgroei.

Samenvattende kunnen wij zeggen, dat fig. 3 ons leert, dat planten, waarvan de wortels door één of andere oorzaak zijn ingekort, gebaat zijn met een hoge grondwaterstand. Dat dergelijke gevallen ook in de praktijk voorkomen, zal verderop worden besproken. Uit fig. 4 kan worden geconcludeerd:

1. Het is voor planten op lichte gronden gewenst, dat zij haar wortels in de capillaire zone kunnen uitbreiden, en wel in het z.g. „open” gebied dezer zone, waarin water en lucht blijkbaar in een harmonische verhouding voorhanden zijn.
2. Het grondwater stelt paal en perk aan de dieptegroei van het wortelstelsel.
3. De bij het phreatisch vlak aansluitende „gesloten” capillaire zone (ook wel „volcapillaire” zone genoemd), waarin alle poriën met water zijn gevuld, kan eveneens een belemmering vormen voor de wortelgroei.

Men dient voor ogen te houden, dat de eerste uitspraak niet opgaat voor zwaardere en humusrijkere gronden. In het aardbeiengebied te Paterswolde b.v., waar het humusgehalte gemiddeld 8% en vaak meer bedraagt en de humeuze laag doorgaans tot een diepte van ca 60 cm reikt, treedt ook zonder de „medewerking” van het grondwater geen verdroging op, in tegenstelling met de situatie in Kennemerland, waar het humusgehalte slechts hoogstens enige percenten bedraagt en de wortels voor de wateropname grotendeels op de capillaire zone zijn aangewezen.

Opmerking verdient verder, dat het niet indringen der wortels in het grondwater een verschijnsel is, dat kenmerkend is voor de land- en tuinbouwgewassen, die — van ecologisch standpunt bezien — merendeels tot de groep der mesophyten behoren, die aan een milieu van middelmattige vochtigheid zijn aangepast. Zo gedragen zich de aardappelen in fig. 5 ten opzichte van de grondwaterstand in principe weinig anders dan de aardbeien (vgl. hiermee fig. 4). Dit neemt niet weg, dat bij stijging van het phreatisch niveau in een periode van grote regenval wel wortels in het grondwater terecht kunnen komen. Deze kunnen dan echter wegens zuurstofgebrek niet functionneren en gaan vroeg of laat te gronde. Omgekeerd kan bij dalen van het grondwater de afstand tussen de wortels en het phreatisch vlak — althans de eerste

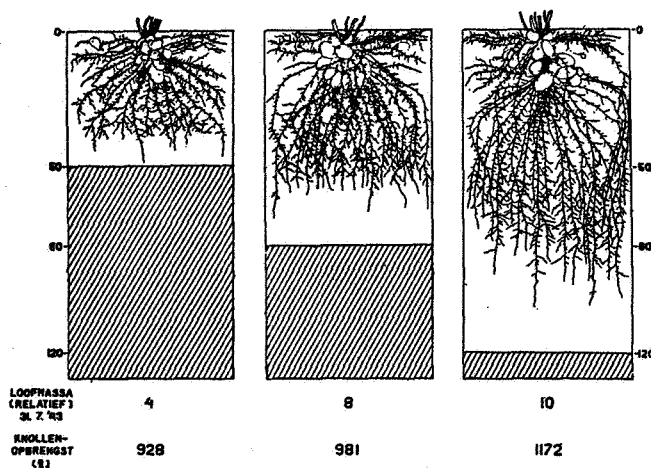


FIG. 5. Wortelontwikkeling van aardappelen in zavelgrond bij drieërlei waterstanden. 1943

FIG. 5. Root development of potatoes in a sandy clay soil, with the groundwater at 3 different levels. 1943

tijd — aanzienlijk worden vergroot. Met deze mogelijkheden dient rekening te worden gehouden bij wortelwaarnemingen in de volle grond. Ten slotte dient nog gezegd te worden, dat uit de in fig. 4 afgebeelde beworteling niet mag worden afgeleid, dat de wortels van aardbeiplanten niet dieper kunnen gaan dan 60 à 70 cm. De worteldiepte wordt nl. bij de culturen met een waterstand van 50 en 70 cm beneden het maaiveld beperkt door het grondwaterpeil, terwijl de geringe wortelgroei bij de diepste waterstand ogenschijnlijk veroorzaakt is door de onvoldoende watervoorraad in de bovengrond bij deze lage waterstand. Kweekt men aardbeien van het ras Oberschlesien zonder kunstmatige grondwaterstand in diepe bakken met tuingrond, die door geregeld begieten tot de bodem toe vochtig gehouden wordt, dan kunnen de wortels een diepte van minstens 1 m bereiken (fig. 6).

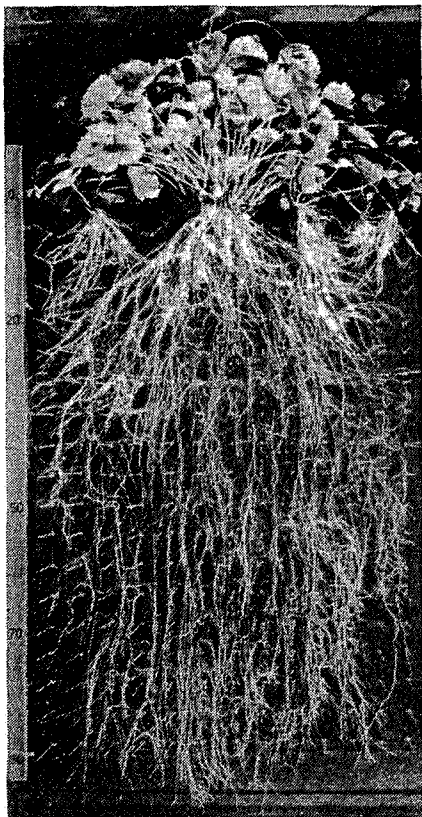


FIG. 6. Wortelstelsel van een aardbeiplant in een bak met tuingrond zonder waterstand. 1942

Door geregeld begieten werd de grond goed vochtig gehouden. Rijke beworteling tot een diepte van minstens 1 m

FIG. 6. Root system of a strawberry plant in a trough with garden soil without a water level. 1942. The soil was kept moist by regular watering. Roots penetrate to a depth of at least 1 m

Wat ten slotte de optimale waterstand betreft, zijn wij — te oordelen naar de afbeeldingen in fig. 4 — vermoedelijk niet ver bezijden de waarheid, wanneer wij aannemen, dat het voor aardbeien van het ras Oberschlesien in de gebezigde humus- en slibarme tuingrond in jaren met normale regenval in het algemeen *niet* gewenst is, dat het grondwater dieper staat dan 70 à 80 cm onder het maaiveld.

3. ENKELE GRONDWATERSTANDEN UIT DE PRACTIJK EN HUN INVLOED OP HET GEWAS

In de boven besproken gevallen werd de beworteling bestudeerd in bakken, waarin het grondwater op verschillende diepten constant werd gehouden. In de praktijk is de waterstand echter meestal aan een zekere, soms zelfs sterke fluctuatie onderhevig, die grote invloed kan hebben op de groei en de verrichtingen van het wortelstelsel in de diepere bodemlagen.

Zo bleken mij op diep ontwaterd grasland ca 25% der wortels gestorven te zijn, nadat zij door infiltratie van de grond gedurende de wintermaanden (van November tot April) aan een waterstand van 20 cm beneden het maaiveld blootgesteld waren geweest.

Een soortgelijk geval nam ik in 1942 waar op aardbei-akkers in Kennemerland (Heemskerk e.o.), waar het gewas op verscheidene bedrijven een grote achterstand vertoonde, die de indruk maakte, door droogte veroorzaakt te zijn. Bij deze planten werd in de meeste gevallen een armelijk en kort wortelstelsel aangetroffen. Door de slechte peilbeheersing in dit gebied steeg het grondwater in de wintermaanden op menige akker tot dicht onder het maaiveld, waardoor schade werd toegebracht aan het wortelstelsel, vooral in de diepere bodemlagen. Een andere ongunstige omstandigheid was het in Kennemerland veelvuldig voorkomen van virusziekten in het aardbeigewas, waardoor de planten niet normaal tot ontwikkeling konden komen en de wortelgroei door gebrek aan „bouwstof” werd belemmerd. Daarbij kwam nog, dat bij verscheidene kwekers de heggen, die aangebracht waren, om windschade te voorkomen, onvoldoende bescherming gaven, hetgeen nadelig was voor de plantengroei en indirect voor de ontwikkeling der wortelstelsels. In de beschutting der heggen waren de planten veel groter en gingen de wortels veel dieper dan op grotere afstand daarvan. Het waren deze drie omstandigheden, die in wisselende verhouding op de „verdrogende aardbei-akkers” nabij Heemskerk werkzaam waren en een normale dieptegroei van het wortelstelsel verhinderden. Dat de watervoorziening van het gewas hierdoor ernstig werd benadeeld, bleek, toen de uitkomsten van dit wortelonderzoek vergeleken werden met de resultaten van een uitgebreid agrohydrologisch onderzoek, dat gelijktijdig door VISSER¹ in dit gebied werd uitgevoerd. Deze onderzoeker heeft in dit verdrogingsgebied bij acht kwekers op twee speciaal daarvoor uitgezochte bedden de vochtverdeling in de grond van April tot eind Juli periodiek nagegaan. Hierbij werden tevens enige bedrijven ingeschakeld, waar de aardbeien een normale indruk maakten. Op de „verdrogende” akkers bleek het wortelstelsel door de bovengenoemde oorzaken niet bij machte te zijn geweest, diep genoeg in de capillaire zone door te dringen. Een zeer ernstig geval deed zich voor bij de kweker Dekker, waar de grond door stijging van het grondwater in de wintermaanden dras kwam te staan en waar het gewas bovendien duidelijke symptomen van virus-ziekte vertoonde. Dit is afgebeeld in fig. 7, en wel in het midden van deze figuur, terwijl links en rechts daarvan de situatie in beeld is gebracht op twee goede bedrijven, waar het gewas normaal tot ontwikkeling was gekomen.

Op het bedrijf van de heer Duin, waar bij het onderzoek van VISSER slechts een geringe schommeling van de grondwaterstand werd waargenomen en het gewas volkomen gezond was, waren de wortels tot in het meest werkzame gedeelte van de capillaire zone doorgedrongen, terwijl bij de kweker Welboren de krachtige groei

¹ Inmiddels gepubliceerd: W. C. VISSER: Agrohydrologische studies betreffende geestgrond. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 56, 9, 1950.

Fig. 7. Aardbeien in Kennemerland bij drie kwekers. 1942.

De aardbeien bij Dekker leden van de droogte, doordat de wortels niet diep genoeg gingen. Een soortgelijk wortelbeeld werd ook op andere „verdrogende” akkers waargenomen

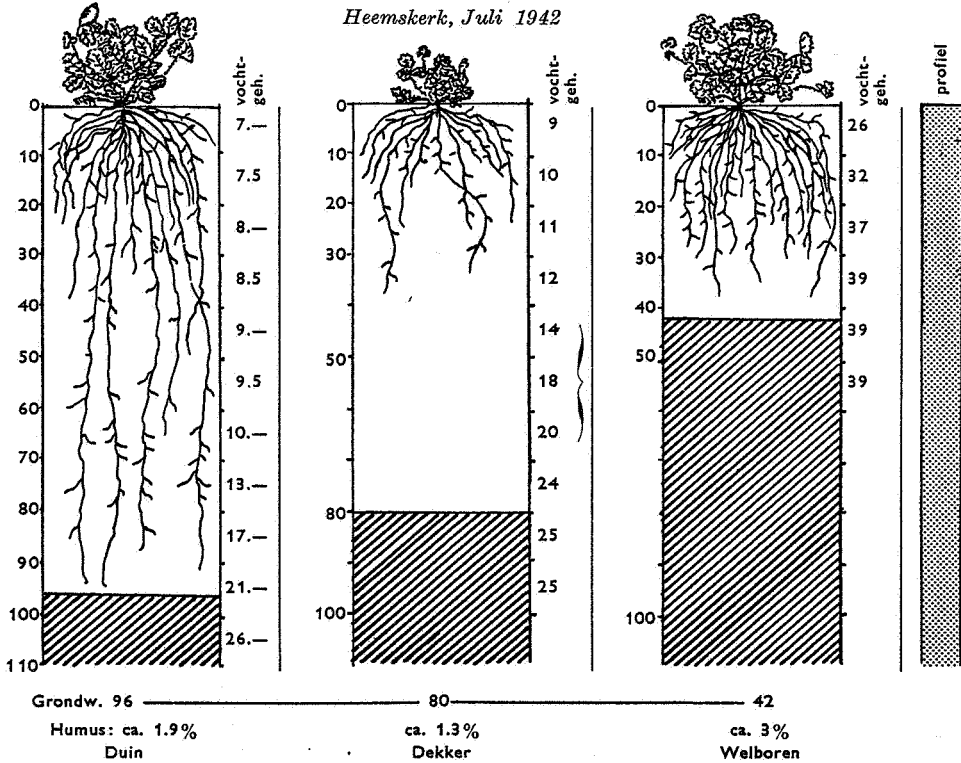


FIG. 7. Strawberries of three growers in the Kennemerland district. 1942.

Dekker's strawberries suffered from drought, because the roots had not penetrated deep enough into the soil. A similar root system was observed in other fields, on which the water supply to the plants was inadequate.

werd mogelijk gemaakt door een hoge waterstand, waarbij het korte wortelstelsel uiteraard geen bezwaar is.

Een ander geval van droogteschade, dat in de practijk op lichte gronden vaak wordt aangetroffen, vindt zijn oorzaak in het feit, dat de wortels bij diepe ontwatering niet diep genoeg reiken om voldoende water te kunnen opnemen. Zo komt het onvermogen van a a r d a p p e l wortels, om zich aan te passen aan een diepe grondwaterstand, reeds enigermate tot uiting in fig. 5, waarin het resultaat van een aardappelproef in diepe bakken met een lichte zavelgrond is afgebeeld. Men ziet in deze figuur de afstand tussen de wortels en het phreatisch vlak groter worden, naarmate het grondwater dieper staat. Dit heeft echter, zelfs bij de diepste waterstand, nog geen reductie in opbrengst veroorzaakt.

Op het eiland Schouwen, waar door ongelijke hoogteligging der polders bij eenzelfde waterpeil de grondwaterstand in Juni 1943 varieerde van ca 40 tot 200 cm onder het maaiveld, werd in dat jaar door de Afdeling Onderzoek van de Cultuur-

technische Dienst (Ir W. C. VISSER) op 50 percelen met aardappelen (Bintje) een agrohydrologisch en landbouwkundig onderzoek verricht, waaraan door mij een onderzoek naar de beworteling van dit gewas werd verbonden.

Hierbij werd de beste loofontwikkeling en later de hoogste opbrengst vastgesteld bij een grondwaterstand van 1,10 à 1,20 m beneden het maaiveld.

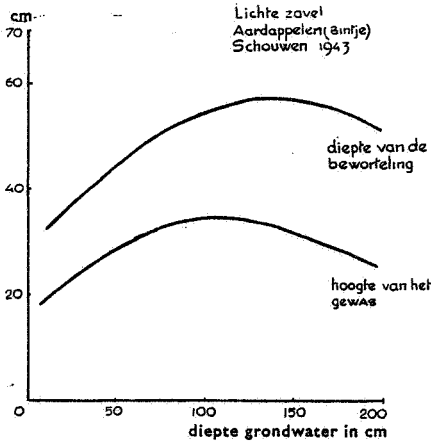


FIG. 8. Hoogte van aardappelplanten en diepte der beworteling op zavelgrond (50 percelen op Schouwen)

FIG. 8. Height of potato plants and depth of the root system on a sandy clay soil (50 plots on Schouwen)

Fig. 8, waarin de hoogte van het gewas en de bewortelingsdiepte uitgezet zijn tegen de diepte van het grondwater, laat zien, dat bij de diepere waterstanden een daling optreedt zowel in de hoogte van het gewas als in de worteldiepte, al ligt het optimum voor de wortelgroei kennelijk bij een diepere waterstand dan bij de bovengrondse delen van het gewas het geval is.

Op Schouwen was de situatie echter gecompliceerder dan bij de bakkenproef in fig. 5, omdat het grondwater in dit poldergebied in de vegetatieperiode een daling onderging en de diverse percelen, waarop de waarnemingen werden gedaan, behalve in de waterstand, nog in vele andere opzichten varieerden. Dit kwam bij de bewerking der proefresultaten tot uiting in de grote spreiding, die de worteldiepte op de onderzochte percelen bij overeenkomstige waterstand te zien gaf. Een voorlopige analyse van de afwijkingen der punten van de in fig. 8 afgebeelde gemiddelde lijn der bewortelingsdiepte gaf duidelijke aanwijzingen, dat de zwaarte van de grond, die van perceel tot perceel sterk varieerde, grote invloed had op de groei der wortelstelsels. Naarmate er meer kleibestanddelen in de grond tot een diepte van 80 cm werden aangetroffen, nam de worteldichtheid toe en werd er door de wortels in de regel een grotere diepte bereikt.

Een andere variabele factor was de snelheid, waarmee het grondwater op de diverse percelen in de groeiperiode was gedaald. Bij snellere daling van het grondwaterpeil scheen het wortelstelsel in het algemeen korter te zijn en hadden de wortels de dalende capillaire zone blijkbaar minder goed kunnen bijhouden, met het gevolg, dat de wortels zich nog meer in de „kop” van het capillaire gebied hadden moeten terugtrekken en er een lagere opbrengst werd verkregen dan bij een minder snelle waterstands daling het geval was. Hierbij dient opgemerkt te worden, dat er volgens een voorlopige calculatie een negatieve correlatie tussen de grondwaterstands daling en het slibgehalte in de doorwortelde zone scheen te bestaan.

Hoewel voor een kwantitatieve beoordeling van de invloed van de zwaarte van de grond op de wortelgroei een nadere analyse van het op Schouwen verkregen cijfermateriaal volgens de methode der polyfactoranalyse verricht zal moeten worden, is het bestaan van een dergelijke invloed bij de voorlopige bewerking der verzamelde gegevens al wel duidelijk gebleken. Dit betekent, dat de gunstige invloed van de hogere gehalten aan afslibbare delen voor de watervoorziening van het gewas niet alleen berust op de grotere, voor de wortels beschikbare hoeveelheid water, doch tevens op de grotere uitbreiding, d.i. het grotere absorptievermogen van het wortelstelsel in deze kleirijkere gronden. Het duidelijkst treedt de invloed van de klei aan de dag op profielen, waar een kleilaag plotseling overgaat in een zandlaag. Hier blijft de beworteling in hoofdzaak beperkt tot de kleilaag, zoals door ons werd vastgesteld op een aantal graslandpercelen met kleilagen van verschillende dikte in de omgeving van Klundert en bij Velzen. Soortgelijke wortelbeelden werden door mij waargenomen op lichte gronden, waar een humeuze laag aanwezig was, die plotseling in zand overging.

Naar aanleiding van de krommen der loof- en wortelontwikkeling der aardappelen in fig. 8 dient opgemerkt te worden, dat een afname van de ontwikkeling en van de opbrengst van het gewas bij de diepere waterstanden in hoofdzaak voorkomt bij gronden met een gering waterbindend vermogen.

Op gronden, die tot op grote diepte rijk zijn aan humus of afslibbare delen en dus veel water beschikbaar hebben voor het gewas en de wortelontwikkeling, kan bij de opbrengstkromme de dalende tak in het gebied der diepere waterstanden achterwege blijven. Dit komt tot uiting in fig. 9, waarin de in 1944 verkregen opbrengsten van wintertarwe (Juliana) op het waterstandsproefveld van het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. op zware klei te Nieuw-Beerta bij verschillende waterstanden zijn weergegeven. Weliswaar vertoont de opbrengst volgens de stippellijn een daling bij de diepste grondwaterstand (150 cm beneden het maaiveld), maar deze is op deze diep ontwaterde veldjes veroorzaakt,

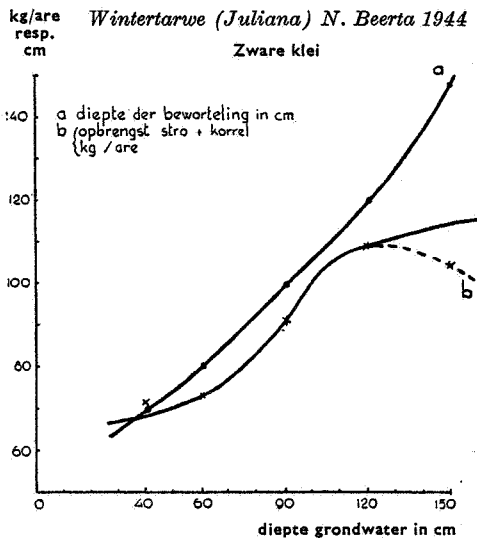


FIG. 9. Opbrengst van wintertarwe (b) en diepte der beworteling (a) op zware klei (waterstandsproefveld Nieuw-Beerta) 1944.

De opbrengstdaling bij waterstand 150 b.m.v. die het gestippelde gedeelte van kromme b laat zien, is een gevolg geweest van de legering op dit object. De doorgetrokken lijn geeft de normale toestand weer

FIG. 9. Yield of winter wheat (b) and depth of the roots (a) on heavy clay soil (water level field experiment Nieuw-Beerta) 1944.

The decline of the production at a water level of 150 cm below the surface, represented by the dotted part of curve b, was caused by lodging. The drawn line illustrates the normal position

doordat het gewas wegens de zware stand gelegerd was en waarschijnlijk daardoor een te lage waarde heeft gegeven, een verschijnsel, waarop verderop nog even teruggekomen wordt. Op dit proefveld werden reeds verscheidene jaren allerlei gewassen verbouwd, die — indien geen legering optrad — in het algemeen bij waterstand 150 een iets hogere opbrengst hebben gegeven dan bij waterstand 120.

Bij bepaling van de worteldichtheid van de tarwe op dit proefveld in de diverse bodemlagen werden ook in de ondergrond — bij diepe waterstand zelfs op grote diepte — nog hoge tot redelijke wortelhoeveelheden vastgesteld. In fig. 9 is tevens de maximale bewortelingsdiepte op de diverse veldjes aangegeven. Ten aanzien van de worteldieptecijfers dient opgemerkt te worden, dat zich op dit proefveld het uitzonderlijke geval voordeed, dat de wortels, althans bij waterstanden tot een diepte van 90 cm b.m.v. over een zekere afstand in het grondwater zijn doorgedrongen. Mogelijk houdt dit verband met het feit, dat er op dit proefveld ter handhaving van de grondwaterstand vers, vermoedelijk zuurstofrijk water wordt toegevoerd, zodra er door waterverlies onder invloed der plantenwortels een waterstandsval dreigt op te treden.

Samengevat kan uit fig. 9 worden geconcludeerd, dat de tarwe op de zware klei des te beter tot ontwikkeling is gekomen, naarmate de grond dieper ontwaterd was, en dat de wortels, dank zij hun groeivermogen en de ruime watervoorraad in deze grond, er zelfs bij de diepste grondwaterstand nog in geslaagd zijn, tot het grondwater door te dringen. Dit resultaat verschilt aanmerkelijk van de situatie in fig. 8, waar de aardappelen op lichte zavelgrond bij de diepe waterstanden door gebrek aan bodemvocht in wortelgroei en dientengevolge ook in opbrengst duidelijk zijn achtergebleven.

Wanneer wij echter in fig. 8 en 9 het gebied der *hogere* waterstanden beschouwen (b.v. het traject tussen 40 en 100 cm b.m.v., dan blijkt in beide gevallen de worteldiepte en de opbrengst het geringst te zijn bij de hoogste waterstand om daarna bij dalende waterstand geleidelijk toe te nemen.

Dit doet de in de aanvang reeds gestelde vraag rijzen, waarop de ongunstige invloed der hoge waterstanden feitelijk berust en of het ook mogelijk is, deze invloed uit de beworteling te verklaren.

4. OORZAKEN VAN DE ONGUNSTIGE INVLOED VAN HOGE GRONDWATERSTANDEN

Uit de literatuur is het bekend, dat zuurstofgebrek één der factoren is, die bij een te hoge waterstand in het minimum kan verkeren, doordat de bodemporiën betrekkelijk veel water bevatten en het zuurstoftekort niet snel genoeg uit de beperkte luchtreserve in de bodemholten kan worden aangevuld. Door verschillende onderzoekers is bij proeven met waterculturen gevonden, dat zuurstofgebrek tot een vermindering van de groei en van het absorptievermogen der wortels aanleiding kan geven en dat de ontwikkeling der bovengrondse organen hierdoor indirect kan worden benadeeld. Verder kan de gebrekkige verversing der bodemlucht in natte gronden het koolzuurgehalte in de grond doen stijgen tot een waarde, die voor de wortels schadelijk is. Zo heeft men in Finland gevonden, dat koolzuur op grasland schadelijk wordt, wanneer daarvan 1% in de bodemlucht voorhanden is.

Daarnaast kunnen neveninvloeden optreden, die een nadelige invloed hebben op de groei en de werkzaamheid van het wortelstelsel. Hierbij moet gedacht worden aan de mogelijkheid van structuurverval, aan een te lang stand houdende lage

temperatuur in de voorjaarsmaanden, die schadelijk kan zijn voor de groei en de activiteit der wortels, en aan een abnormale werkzaamheid der bodembacteriën in dit onvoldoende geaëreerde milieu, waardoor er toxische stoffen kunnen ontstaan en de nitrificatie kan worden verhinderd.

Gezien de storende invloed van het grondwater op de dieptegroei der wortels, is het niet uitgesloten, dat de geringe opbrengst der gewassen bij een te hoge waterstand mede verband houdt met het geringe bodemvolume, dat de wortels voor de zoutopname ter beschikking staat, temeer daar het bekend is, dat vele mestzouten, in het bijzonder de nitraatstikstof, in meerdere of mindere mate aan uitspoeling onderhevig zijn en er bovendien in de ondergrond meermalen vrij grote hoeveelheden fosfaat en kali zijn vastgesteld, die voor een deel door de diepgaande wortels opgenomen zouden kunnen worden.

Inderdaad zijn er aanwijzingen, dat de opname van voedingszouten uit de ondergrond niet mag worden onderschat. Zo treft men op bouwland, waar jaren geleden een aantal greppels of sloten met humusrijke grond zijn dichtgemaakt en waar door het gewas onder invloed van de humus een rijk vertakt, extra diep wortelstelsel tot ontwikkeling wordt gebracht, in zomers met normale neerslag boven de sloten vaak stroken aan, die zich door een opvallende geilheid van het gewas van de omgeving onderscheiden. In droge zomers kan de voorsprong op deze stroken nog groter zijn maar deze wordt dan veroorzaakt door de betere watervoorziening, die het gewas aan het dichte en diepgaande wortelnet te danken heeft.

Dat ook een dalende grondwaterstand en de daarmee gepaard gaande diepere beworteling een gunstig effect kan hebben op de zoutopname wordt waarschijnlijk gemaakt door de opbrengsten van het waterstandsproefveld in Nieuw-Beerta in fig. 9. De legering van de tarwe op de veldjes met de diepste grondwaterstand (150 cm b.m.v., die door een geile stand van het gewas was veroorzaakt en op deze veldjes aanleiding gaf tot een opbrengstdepressie, zou kunnen wijzen op een overvloedige stikstofopname ten gevolge van de extra diepe beworteling, die op deze veldjes tot ontwikkeling is gekomen.

Er is dus alle reden aan te nemen, dat de ongunstige invloed van een te hoge waterstand op het gewas berust op een onvoldoende opname van stikstof en andere voedingsstoffen uit de grond, die enerzijds door de gebrekkige zuurstofvoorziening in de extra vochtige bovengrond en door andere ongunstig werkende bodemfactoren, anderzijds door de ondiepe beworteling wordt teweegebracht. Dit doet de vraag opkomen, of en in hoeverre het mogelijk is, het tekort aan opneembare voedingszouten in de bovengrond bij hoge grondwaterstanden door een extra bemesting te compenseren.

5. COMPENSATIE DOOR EXTRA BEMESTING

Dat een dergelijke compensatie inderdaad tot stand kan worden gebracht, blijkt uit de hieronder vermelde resultaten van een proef met mosterd in betonnen buizen bij verschillende waterstanden en bij stijgende stikstof- en fosforzuurbemesting. Ook aan de beworteling der mosterdplanten is hierbij bijzondere aandacht geschonken.

De mosterdplanten werden gekweekt in 1 m lange, betonnen cilindrs zonder bodem, die gevuld waren met een leemhoudende, fijnzandige grond bij waterstanden, die op een diepte van 30, 50 en 90 cm constant werden gehouden. Bij een vierde groep cilindrs werd geen kunstmatige waterstand aangebracht, zodat het gewas in deze buizen geheel op het hang- en regenwater aangewezen was.

In de buizen zonder waterstand kwam het gewas zeer goed tot ontwikkeling. De planten in deze buizen behoefden slechts enkele keren begoten te worden, daar er in de groeiperiode in het algemeen vrij regelmatig regen viel. De planten in de cylinders *met* waterstand stonden van het begin af alle zeer ten achter bij de buizen *zonder* waterstand. Zelfs de cultuur met een waterstand van 90 cm b.m.v. vertoonde een grote achterstand, bij de hogere waterstanden (30 en 50 cm) werd de groei nog meer vertraagd. Aan een aantal buizen met waterstanden van 30, 50 en 90 cm onder het maaiveld werden bij een gift van 100 kg stikstof per ha stijgende hoeveelheden fosfaat gegeven van 0, 94, 187 en 563 kg P_2O_5 per ha, terwijl een andere serie buizen met 563 kg P_2O_5 per ha werd bemest, doch respectievelijk 0, 30 en 100 kg N per ha ontving. De planten werden afgesneden, toen ze in bloei stonden, en daarna gedroogd en gewogen. De gemiddelde gewichten zijn grafisch uitgezet in fig. 10. Van de cylinders zonder waterstand is het gemiddelde drooggewicht in de grafiek weergegeven door twee losse stippen, doordat in deze cylinders slechts de optimale bemesting werd gegeven (100 kg N en 563 kg P_2O_5 per ha). De overige — door lijnen verbonden — stippen hebben betrekking op de gewichten der planten bij stijgende N- en P-bemesting en wel respectievelijk bij waterstanden van 30, 50 en 90 cm b.m.v.

Uit deze grafiek (fig. 10) blijkt, dat zowel de fosfaatbemesting als de stikstofbemesting bij alle waterstanden een toename in ontwikkeling hebben gegeven; verder,

FIG. 10. Invloed van een fosfaat- en stikstofbemesting op de groei (drooggewicht) van mosterdplanten bij verschillende waterstanden in betonnen buizen.
De cijfers bij de krommen geven de waterstand aan (gg bij de punten rechts boven de krommen betekent, dat in deze buizen geen grondwaterstand was aangebracht)

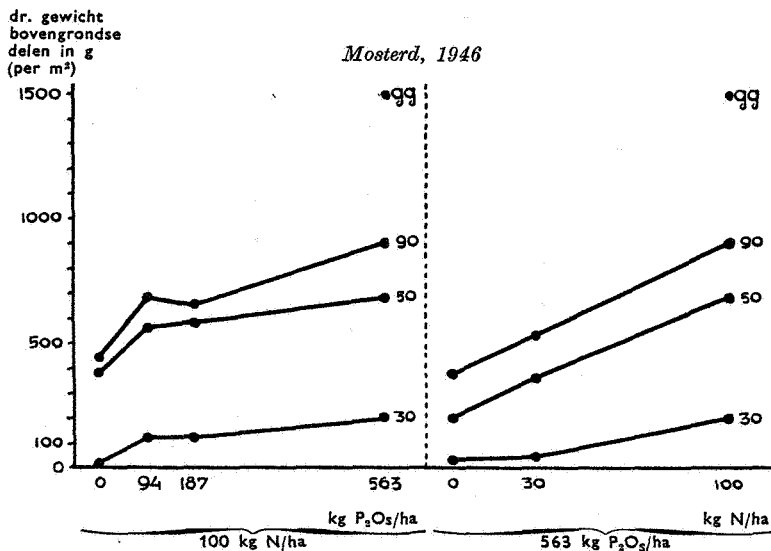


FIG. 10. Influence of the application of phosphate and nitrogen on the development (dry weight) of mustard plants with the groundwater at different levels in concrete tubes. The figures of the curves represent the levels of the groundwater (gg at the points at the right side above the curves means that no groundwater table was provided in these tubes)

dat de gewichten der planten bij alle bemestingen gestegen zijn, naarmate de waterstand lager was. Zelfs bij een waterstandsdiepte van 90 cm, gepaard met een optimale bemesting (100 N en 563 P₂O₅ per ha) staan echter de bovengrondse delen in gewicht nog ver achter bij het gewicht der planten in de even zwaar bemeste cylinders zonder waterstand.

Om te kunnen beoordelen, of het mogelijk is, door een compensatiebemesting het gewichtsniveau van de planten der optimaal bemeste cylinders-zonder-waterstand te bereiken, behoeft men de krommen in gedachten slechts naar rechts te verlengen. Het ziet er dan naar uit, dat het onder de omstandigheden van deze proef bij de culturen der stikstofseries met een waterstand van 50 respectievelijk 90 cm onder het maaiveld mogelijk geweest zou zijn, door een niet onredelijke extra stikstofgift boven de verstrekte 100 kg N per ha het opbrengstniveau van de cylinder-zonder-waterstand te bereiken. Bij de planten der N-serie bij waterstand 30 alsmede bij de planten der fosfaatseries bij waterstand 30 en 50 kan op deze manier geen volledige compensatie worden bereikt, zonder in abnormaal hoge giften te vervallen.

Bij onderzoek van het wortelstelsel der mosterdplanten in de diverse cylinders werd waargenomen, dat de buizen zonder waterstand tot onderaan toe (1 m diep) zeer dicht met wortels bezet waren. Waar echter een waterstand in de buizen was aangebracht, bleek het wortelstelsel zeer geremd te zijn in zijn ontwikkeling, zelfs bij de waterstand van 90 cm en in nog sterkere mate bij de hogere waterstanden. Vochtbepalingen in de grond brachten aan het licht, dat de geringe bewortelingsdiepte in de „waterstandscylinders” veroorzaakt is, doordat de grond boven het phreatisch vlak over een afstand van niet minder dan 45 cm vrijwel geheel van water verzadigd was. Men kan dit zien in fig. 11, waarin de verdeling van het water in de grond grafisch is weergegeven voor de cylinders met de diepste waterstand (90 cm), en wel respectievelijk voor een begroeide en een niet begroeide cylinder, nadat het verscheidene dagen niet had geregend. Links is in deze figuren met pijlen

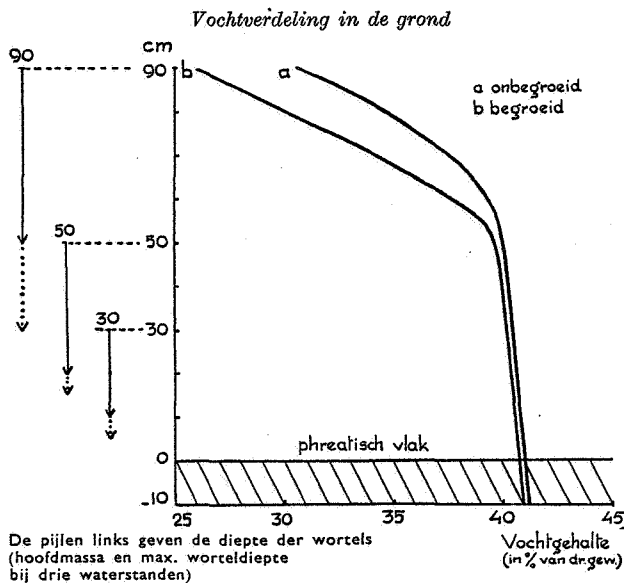


FIG. 11. De diepte der beworteling van mosterdplanten bij drie waterstanden in een leem houdende zandgrond (zie pijlen links) in verband met de vochtverdeling in de grond bij een waterstand van 90 cm onder het maaiveld.

FIG. 11. Depth of the roots of mustard plants with the groundwater at three different levels in a loamy sandy soil (see arrows at left) in connection with the distribution of soil moisture with a water level of 90 cm below the surface

de diepte aangegeven, die door de hoofdmassa der wortels bij de drie waterstanden is bereikt. Van de zeer weinige wortels, die dieper gegaan zijn, is de maximale diepte weergegeven, door de pijlen met een stippellijn te verlengen. De zeer geringe worteldiepte in de „waterstandsbuizen” maakt het begrijpelijk, dat de opbrengst in deze buizen zo ver heeft achtergestaan bij die in de intensief en diep doorwortelde cylinders zonder waterstand.

In de cylinders met een waterstand van 90 cm beneden het maaiveld zijn de wortels practisch niet ingedrongen in het geheel verzadigde gedeelte der capillaire zone. Anders is dit bij de waterstanden van 50 en 30 cm b.m.v., waar de wortels over een zekere afstand zijn ingedrongen in het gesloten capillaire gebied, dat bij waterstand 50 bijna en bij waterstand 30 geheel tot het maaiveld reikte. Een over geringe afstand indringen van wortels in de met water verzadigde bodemzone is door mij trouwens al vaker waargenomen bij planten, die bij een *zeer hoge* waterstand tot ontwikkeling waren gekomen. Of dit veroorzaakt wordt door een zekere zuurstofabsorptie uit de atmosfeer, is nog een open vraag.

Uit het ongelijke beloop van de vochtverdelingskromme in de begroeide en de onbegroeide cylinder in fig. 11 bij een waterstand van 90 cm is op te maken, dat er door de plantenwortels een zekere daling van het vochtgehalte in het open gedeelte van de capillaire zone tot stand is gebracht.

6. CONCLUSIE

Op lichte gronden kan bij een te diepe grondwaterstand droogteschade optreden, doordat de wortels van nature niet voldoende groeikracht bezitten of door watergebrek in de bovengrond verhinderd worden, om diep genoeg in de capillaire zone door te dringen. Verhoging van de grondwaterstand is dan gewenst, doch men hoede zich er voor, het grondwater hoger op te voeren dan nodig is, om de optimale grondwaterstand te bereiken. Bij verdere stijging van het grondwater neemt nl. de opbrengst af doordat het gewas door zuurstofgebrek, ongunstige bacteriële omstandigheden en anderszins alsmede door het onvoldoende indringen der wortels in de ondergrond niet genoeg stikstof en minerale bestanddelen kan opnemen om een maximale opbrengst tot stand te brengen.

Wanneer een gewas aan watergebrek lijdt en dit blijkt veroorzaakt te zijn door een onvoldoende dieptegroei der wortels bij een redelijke waterstand, dan zal een onderzoek naar de oorzaak van de geringe worteldiepte ingesteld en deze oorzaak eerst weggenomen moeten worden, alvorens in overweging wordt genomen, de grondwaterstand te verhogen.

Door verschillende oorzaken kan de uitbreiding en de dieptegroei der wortelstelsels worden verhinderd. Vaak doen zich mechanische belemmeringen (stijve lagen) voor, die in het algemeen gemakkelijk te constateren zijn. Er kunnen echter groeibelemmeringen in het profiel optreden, die voor de oningewijde niet of niet zo gemakkelijk uit het profiel af te lezen zijn en een deskundig onderzoek vereisen. Voorbeelden hiervan zijn de minder opvallende structuurgebreken, het voorkomen en de localisatie van zand- en veenlagen in humeuze gronden en in kleigronden, alsmede de aanwezigheid van zure of droge lagen in het profiel. Ook kunnen er in de grond invloeden werkzaam zijn, die met het profiel zelf weinig of niets hebben uit te staan, doch niettemin de uitbreiding van het wortelstelsel in de ondergrond kunnen verhinderen. Hiertoe behoren de gevallen van vretelij aan de wortels, die meestal

gemakkelijk vast te stellen zijn. Verder het te sterk fluctueren van de grondwaterstand en onvoldoende vruchtbaarheid van de grond, die een meer diepgaand onderzoek vereisen. Ten slotte zijn er nog omstandigheden, die de ontwikkeling der *bovengrondse* delen benadelen en indirect zeer nadelig kunnen zijn voor de wortelgroei, zoals insectenvraat, ziekte in het gewas, wind en erosieverschijnselen.

SAMENVATTING

De verschillende omstandigheden werden genoemd, die de dieptegroei van het wortelstelsel kunnen verhinderen en schade door droogte kunnen doen ontstaan.

Bij het bespreken van de mechanische belemmeringen voor de wortelgroei (verdichte lagen) werd gewezen op het ongelijke vermogen van verschillende gewassen om mechanische weerstanden in de grond te overwinnen. Als voorbeelden werden koolzaad en rogge op zavelgrond genoemd, die op een stijve laag onder de bouwvoor zeer ongelijk reageerden (fig. 1 en 2).

Aan de hand van de resultaten van proeven in bakken met aardbeien (fig. 3, 4 en 6) en met aardappelen (fig. 5) in een lichte grond werd de betekenis van de „open” capillaire zone en van het indringen der wortels in deze zone voor de wateropname en de groei der gewassen toegelicht. Er werd gevonden, dat de wortels van deze gewassen niet in het grondwater en evenmin in het daarbij aansluitende, met water verzadigde gedeelte der capillaire zone konden doordringen.

In aansluiting daaraan werden enige waarnemingen besproken op tuinderijen in Kennemerland, waar het gewas in de humusarme grond van de droogte leed, doordat de wortels door verschillende oorzaken (ziekte in het gewas, fluctuerende grondwaterstand en windschade) de diepere bodemlagen niet konden bereiken (fig. 7).

Vervolgens werd aan de hand van een onderzoek bij aardappelen op het eiland Schouwen aangetoond, dat op lichte zavelgronden zowel de ontwikkeling van dit gewas als de bewortelingsdiepte met de diepte der ontwatering eerst toeneemt, daarna een maximum bereikt, doch bij diepere waterstanden weer afneemt (fig. 8). In tegenstelling daarmee bleek de bewortelingsdiepte en de opbrengst op zware klei in de provincie Groningen met de ontwateringsdiepte over de gehele linie toe te nemen (fig. 9).

Ten slotte werden de oorzaken genoemd van de schadelijke invloed der hoge waterstanden. Er werd een beschouwing gegeven, die tot de conclusie leidde, dat de slechte groei bij hoge waterstand, althans grotendeels, berust op een verminderde opname van stikstof en andere voedingselementen. Betoogd werd, dat de geringe beschikbaarheid der voedingsstoffen in slecht ontwaterde gronden niet alleen veroorzaakt wordt door een onvoldoende zuurstofvoorziening, een gestoorde bacteriële werkzaamheid en dergelijke, doch tevens door het geringe bodemvolume, waarover de wortels op deze te natte gronden kunnen beschikken.

Dit werd toegelicht aan de hand van de resultaten van een proef met mosterd, die gekweekt werd in diepe betonnen buizen met een leem- en vochthoudende zandgrond bij verschillende waterstanden en verschillende bemestingen.

Hierbij werd gevonden:

1. De mosterd nam bij alle mestgiften met de diepte van het grondwater en met de bewortelingsdiepte in ontwikkeling toe (fig. 10).

2. Stikstof en in mindere mate fosfaat heeft de groei van het gewas bij alle waterstanden bevorderd (fig. 10).
3. De dieptegroei der wortels was zelfs bij een waterstand van 90 cm onder het maaiveld door het grondwater ernstig geremd, doordat de grond over een afstand van 45 cm boven het phreatisch vlak nagenoeg geheel met water was verzadigd. — Het verband tussen de worteldiepte en de vochtverdeling in de grond is grafisch weergegeven in fig. 11. — De cylinders, waarin geen grondwater aanwezig was (gg in fig. 10) waren tot op grote diepte intensief doorworteld en hebben een veel hogere opbrengst gegeven dan de buizen, waar de wortelgroei door het grondwater was geremd (fig. 10).
4. Het bleek mogelijk te zijn, het tekort aan stikstof bij de waterstanden van 50 en 90 cm beneden het maaiveld door een extra N-bemesting te compenseren. (Dit wordt duidelijk, wanneer men de betreffende opbrengstkrommen in fig. 10 naar rechts verlengt tot men aangeland is op het niveau van de opbrengst der gg-cylinders, waar de dieptegroei der wortels niet door grondwater werd belemmerd). Bij waterstand 30 beneden het maaiveld zou geen compensatie mogelijk zijn geweest, zonder in zeer hoge N-giften te vervallen. Het effect van het fosfaat op de plantengroei was, althans bij de waterstanden 30 en 50 zodanig, dat het niet mogelijk lijkt, het fosfaatgebrek bij deze hoge waterstanden met een redelijke fosfaatgift op te heffen.

DISCUSSIE

Ir P. DE GRUYTER: Is het mogelijk dat het grondwater op het grondwaterstandsproefveld te Nieuw-Beerta toch gedaald is, zodat er zich wortels hebben kunnen vormen beneden het vastgestelde grondwaterniveau?

Dr S. B. HOOGHOUTD: De grondwaterspiegel is op dit proefveld constant met een nauwkeurigheid van enkele centimeters.

INLEIDER deelt naar aanleiding van de vraag, welke invloed de vorst op het wortelgestel van de aardbei heeft, mede, dat de aardbei wat het wortelstelsel betreft te vergelijken is met gras. Hoog opvoeren van het water in de winter is funest voor het wortelstelsel. De groei van de wortels zet zich tot in December voort.