INHOUDSOPGAVE blz.

I. Betekenis van het wortelstelsel voor de plant 3

II. Mogelijkheden tot regeling van de opname door de plant 4

III. Belangrijke morfologische eigenschappen van het wortelstelsel 6

IV. De faktoren, die invloed hebben op de morfologie van het wortelstelsel 8

V. Het verband tussen wortelgroei en bovengrondse ontwikkeling 22

VI. Methoden van onderzoek 23

I. BETEKENIS VAN HET WORTELSTELSEL VOOR DE PLANT

Alle hogere planten - en dat geldt zeker voor onze landbouwgewassen - bestaan uit

bovengrondse organen
wortels.

Hierbij komen allerlei andere organen, die met de funktie van de wortels als zodanig niets te maken hebben, zoals wortelstokken, stolonen, bollen, knollen enz.

Beide onderdelen behoren bij elkaar. Ze zijn onmisbaar voor het leven en de groei van de normale plant. Verwijdert men een van beide, dan wordt het voortbestaan van het andere bedreigd, zeker wanneer geen reservevoedsel aanwezig is.

De bovengrondse delen zijn vaak groen, als gevolg van de aanwezigheid van chlorophyl. Met behulp van dit chlorophyl en de energie, afkomstig van de zon worden in deze groene delen koolhydraten (suiker en zetmeel) gemaakt. Men noemt dit proces fotosynthese of koolzuurassimilatie. Deze koolhydraten dienen o.a. als bouwstoffen voor de cellen, waaruit de plant is opgebouwd, dus ook voor die van de ondergrondse delen.

In het algemeen kan worden gezegd, dat wortels van landbouwgewassen in de meeste gevallen niet direkt economisch belangrijk zijn. Ze zijn van waarde voor de plant, omdat ze nodig zijn om vruchten te kunnen voortbrengen. Verder hebben ze betekenis als oogstresten in verband met de verzorging van de grond met organische stof.

Het voornaamste proces dat zich in de wortels afspeelt is dat van de opname van voedsel en water en zuurstof uit de grond. Deze stoffen worden ook weer door de gehele plant gebruikt.

De groei van de plant wordt beheerst door een wisselwerking tussen de twee genoemde processen. Verlopen beide processen gunstig dan is een harmonische groei van de planten te verwachten. Verloopt één van beide processen minder goed, dan zal hierdoor de groei van de gehele plant nadelig worden beinvloed. Men kan dus zeggen: Door slechte fotosynthese wordt ook de wortelgroei belemmerd, doordat er niet voldoende bouwstoffen kunnen worden gevormd.
Het omgekeerde geldt, wanneer de wortels weinig voedingsstoffen, water en zuurstof kunnen opnemen. In dergelijke gevallen wordt ook de groei van het bovengrondse gewas nadelig beinvloed.
De verklaring voor verschijnselen in het bovengrondse gewas zal dus dikwijls in de grond aanwezig

zijn bij de wortels. Het is om deze reden, dat wortelonderzoek zin heeft.

II. MOGELIJKHEDEN TOT REGELING VAN DE OPNAME DOOR DE PLANT

Zowel de fotosynthese als de opname door de wortels kunnen inprincipe door een aantal faktoren worden beinvloed. In de praktijk gebeurt dit ook.
Wat de fotosynthese betreft, noemen we slechts één faktor: het licht. Zonder licht is geen fotosynthese mogelijk. Dit punt laten we echter voorlopig verder rusten.

Bij het wortelstelsel kunnen we als uitgangspunt nemen het potentiële opnemend vermogen.

Dit potentiële opnemend vermogen van een wortelstelsel is het opnemend vermogen, wanneer alle omstandigheden voor de opname optimaal zijn en het wortelstelsel zich hier geheel aan heeft aangepast. De aanpassingsmogelijkheden worden bepaald door de erfelijke aanleg. De plant beschikt over twee mogelijkheden om het opnemend vermogen aan te passen aan de milieuomstandigheden. We komen hier op het terrein van de ecologie van het wortelstelsel. Deze mogelijkheden zijn:

1. door morfologische uitbreiding van het wortelstelsel, m.a.w. de wortelgroei. Hieruit volgt, dat het zin heeft dit aspekt te bestuderen.
2. door regeling van de werkzaamheid van de wortels. Dit is dus een fysiologisch proces. Men spreekt in dit verband ook wel van regeling van de activiteit van de wortels.
   Deze kan bijvoorbeeld worden gezien als opname per gewichts- of oppervlakte-eenheid wortels. Deze tweede mogelijkheid geeft een verklaring voor het feit, dat een plant met een gering wortelstelsel een groot bovengronds gewas kan voortbrengen.

De werkelijke opname door de wortels is afhankelijk van het potentieel vermogen en de uitwendige omstandigheden of milieufaktoren. Dat blijkt bijvoorbeeld

wanneer men planten van dezelfde soort en dezelfde ouderdom onder verschillende omstandigheden laat groeien. De opname zal dan zeer sterk kunnen verschillen. De werkelijke opname zal alleen gelijk kunnen zijn aan het potentiele vermogen als alle omstandigheden voor de opname zo gunstig mogelijk zijn. Deze zijn samen te vatten in : de aanwezigheid, de verdeling en de fysischchemische opneembaarheid van de stoffen, die de plant nodig heeft. Deze faktoren kunnen worden bepaald door grondonderzoek met gestandaardiseerde methoden.

De werkzaamheid van een wortelstelsel is in de praktijk moeilijk exact te bepalen. Men kan er in bepaalde gevallen wel een indruk van krijgen door vergelijking van een aantal planten van dezelfde soort, wanneer de bovengrondse groei of dat deel van de plant, dat landbouwkundige waarde heeft als maatstaf wordt genomen. Men moet er dan echter wel zeker van zijn, dat er primair alleen verschillen in groeiomstandigheden in het milieu van de wortels voorkwamen en de primaire groeivoorwaarden voor het bovengrondse gewas gelijk waren. Men kan ook de gehalten aan bepaalde voedingsstoffen (N, P, K, e.a.) in de planten als maatstaf nemen, mits aan bovengenoemde voorwaarden is voldaan. Het lijkt dan echter toch ook nodig de morfologische opbouw van het wortelstelsel in beschouwing te nemen.

De plant beschikt, wat zijn opname betreft dus over een zeker aanpassingsvermogen, dat in twee richtingen kan gaan. Het zal in alle gevallen van de omstandigheden afhangen, welke van de twee hierboven genoemde mogelijkheden door de plant zal worden gebruikt om zich aan deze omstandigheden aan te passen, en daardoor zoveel mogelijk voedsel en water op te kunnen nemen.

In de praktijk zal een plant meestal zijn opname regelen, gezamenlijk zowel door wortelgroei als door de activiteit met meer of minder nadruk op een van beide. Daardoor is het moeilijk deze twee mogelijkheden in de praktijk scherp van elkaar te scheiden. Hiervoor is het nodig speciale proeven te nemen.

Het onderzoek, dat verricht wordt in verband met landbouwkundige problemen, is dus niet bedoeld om de wortelontwikkeling als verschijnsel op

zichzelf te bepalen, maar om vast te stellen, of bepaalde omstandigheden of maatregelen invloed hebben op de wortelontwikkeling tijdens de hele groeiperiode van de plant en, zo ja, welke.
Aansluitend wordt dan meteen bepaald of deze veranderingen doorwerken in de opname van voedingsstoffen en water en daardoor in de groei van het bovengrondse gewas en, zo ja, met welk resultaat en langs welk mechanisme.

III. BELANGRIJKE MORFOLOGISCHE EIGENSCHAPPEN VAN HET WORTELSTELSEL

Voor een beschrijving van de morfologie van een wortelstelsel is het nodig te beschikken over een aantal kenmerken. Deze moeten bovendien betekenis hebben in verband met de opname door de wortels. Men moet altijd vastleggen in welk groeistadium de betreffende plant zich bevond. Men moet onderscheid maken tussen de eigenschappen van het wortelstelsel als geheel en die van afzonderlijke wortels. In het algemeen hebben noch het wortelstelsel noch de afzonderlijke wortels veel scherp begrensde kenmerken. Bruikbare kenmerken van het wortelstelsel zijn:

1) de totale hoeveelheid wortels. Men kan deze uitdrukken in gewicht, lengte en oppervlakte.

Zeer veel gebruik wordt gemaakt van wortelgewichten. Deze worden in het algemeen bepaald van wortels, die gedroogd zijn bij een bepaalde temperatuur. De door ons meest gebruikte temperatuur is bij het wortelonderzoek aan het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Groningen 70°C. Hogere temperaturen zijn minder geschikt, omdat daardoor verpulvering en verliezen in de hand worden gewerkt. Deze informatie is in wezen nog zeer beperkt. Het kan in bepaalde gevallen nodig zijn de wortels van een plant vóór het wegen in groepen in te delen, bijvoorbeeld in verband met de dikte.

In verband met verschillen in bouw van de wortels moet men bijzonder voorzichtig zijn met het vergelijken van wortelgewichten van verschillende plantesoorten.

De bepaling van de totale lengte van de wortels van een wortelstelsel is aanzienlijk moeilijker, terwijl een bepaling van de totale oppervlakte zeer moeilijk is.

Daarom gebeuren deze bepalingen dan ook weinig.

2) de verdeling in het profiel. Hiervoor is het nodig het wortelstelsel, vóór het drogen, in bepaalde horizontale lagen te verdelen, zodat de wortelgewichten per laag kunnen worden bepaald. Men kan deze dan in percentages van het totale gewicht uitdrukken. Deze bepaling heeft zin bijv. bij profielen met lagen die zowel een gunstige als wel een ongunstige invloed kunnen uitoefenen. Op dezelfde manier kan men ook een verdeling maken volgens vertikale vlakken, waardoor men een indruk kan krijgen van de horizontale verdeling van de wortels. Deze kennis kan belangrijk zijn, bijvoorbeeld in verband met de gewenste afstanden bij rijenteelt en ook in verband met schoffelen. Het spreekt vanzelf, dat beide mogelijkheden ook gecombineerd kunnen worden.

3) de diepte en de breedte. Deze volgen eigenlijk al uit de gegevens over de verdeling in het profiel. Een afzonderlijke bepaling zal in het algemeen echter nauwkeuriger gegevens opleveren.

4) de snelheid van ontwikkeling. Bij iedere bemonstering wordt een momentopname verkregen van de morfologie van een wortelstelsel in een bepaald groeistadium. De snelheid van ontwikkeling kan worden bepaald door vergelijking van een aantal van deze groeistadia. Hierbij speelt niet alleen een rol, dat de groeisnelheid bij verschillende plantesoorten, of variëteiten uiteen kan lopen, maar ook, dat dit het geval kan zijn bij wortels van dezelfde plant.
Door ons is bijvoorbeeld in een onderzoek met haver gevonden, dat de eerstgevormde wortels in korte tijd een grote diepte bereiken, terwijl de iets later gevormde ook over langere tijd gerekend veel korter bleven. Deze laatste hebben dus een veel geringere groeisnelheid. Dit kan van belang zijn in verband met de invloed van de weersomstandigheden op de groei van de plant.

We komen nu bij de eigenschappen van de afzonderlijke wortels. Deze vertonen zoals gezegd weinig bruikbare kenmerken. Dit komt o.a. doordat bepaalde kenmerken een grote variabiliteit vertonen, zoals de kleur, terwijl bovendien - in tegenstelling met het bovengrondse gewas - weinig differentiatie aanwezig is. Zo ontbreken bij wortels bijvoorbeeld leden en knopen, bladeren, bloemen en vruchten. Er zijn eigenlijk alleen hoofd- en zijwortels, of, als men een iets neutralere benaming wil gebruiken, primaire, secundaire, enz. wortels.

Hier kunnen het aantal, de dikte en de lengte onder invloed van de omstandigheden variëren. Men kan eventueel ook nog denken aan wortelharen. Het onderzoek hiernaar kan echter alleen met behulp van een microscoop worden uitgevoerd.

Voor een volledig onderzoek is het nodig om op alle genoemde punten te letten. Met elkaar geven ze een redelijk inzicht in de morfologie van het wortelstelsel.

IV. FAKTOREN, DIE INVLOED HEBBEN OP DE MORFOLOGIE VAN HET WORTELSTELSEL

De vraag, die hier gesteld wordt is: Hoe past de plant zich met zijn wortelontwikkeling aan bij de in zijn milieu voorkomende omstandigheden binnen de voor de soort bepaalde erfelijke mogelijkheden. In eerste instantie bepaalt de erfelijke aanleg de mogelijkheden van een plant om zich aan te passen aan de uitwendige omstandigheden. De volgende vraag is dan: welke zijn de uitwendige omstandigheden, die de wortelgroei kunnen beinvloeden. We zullen deze eerst groepsgewijze noemen en ze daarna meer in detail gaan behandelen. Hierbij zullen zoveel mogelijk voorbeelden worden genoemd, voornamelijk uit het onderzoek van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Groningen. Afgezien van de erfelijke aanleg krijgen we dan:

2. aanwezigheid en opneembaarheid van voedingszouten
3. aanwezigheid en opneembaarheid van water en zuurstof
4. fysische bodemeigenschappen
5. ontwikkeling vàn het bovengrondse gewas in verband met de behandeling door de mens
6. ziekten

1). De invloed van de <u>erfelijke aanleg</u> blijkt wanneer men planten van verschillende soorten of rassen onder dezelfde omstandigheden laat groeien. Deze omstandigheden moeten zo gunstig mogelijk zijn, om te voorkomen, dat bepaalde groeiremmingen optreden.

Dergelijk onderzoek heeft ertoe geleid, dat men is gaan spreken van diep- en vlakwortelende gewassen. Daarnaast zijn er gewassen waarvan de wortelstelsels met breed of smal worden betiteld. Met deze naamgeving moet men echter wel voorzichtig zijn, omdat men bij het onderzoek niet altijd heeft voldaan aan de eis, dat

remmingen van de wortelgroei door de uitwendige omstandigheden moeten zijn vermeden. Men kan er echter wel zeker van zijn, dat er in dit opzicht grote verschillen bestaan.

Uit onderzoek, dat is uitgevoerd met verschillende grassoorten in monocultuur op zandgrond is bijvoorbeeld gebleken, dat er grote verschillen bestonden in wortelgewicht en verdeling der wortels in het profiel. Bij ruwbeemdgras was het percentage van de totale hoeveelheid wortels in de bovenlaag van 0 - 5 cm zeer hoog in vergelijking met andere soorten. De droogtegevoeligheid van deze soort hangt hier mogelijk mee samen.
Boonstra vond, dat productievere erwterassen, gekweekt in de volle grond, minder wortels hadden dan minder productieve. De eerste namen dus per gewichtseenheid wortels meer water en voedingszouten op dan de laatste. Bij de beste rassen was de worteldiepte wel groter dan bij minder productieve. Een overeenkomstig resultaat werd verkregen door Schneider met 88 haverrassen, die in potten werden gekweekt.

2). De aanwezigheid van voedingsstoffen wordt bepaald door de natuurlijke vruchtbaarheidstoestand en de toediening door de mens. Men kan hierbij onderscheid maken tussen anorganische en organische stoffen. De opneembaarheid wordt behalve door de aanwezigheid door een groot aantal andere faktoren beheerst, zoals bijvoorbeeld oplosbaarheid, aanwezigheid van water en de temperatuur. In het leven van de plant spelen verschillende mineralen een rol. Ze komen alle voor in het milieu van de wortel en kunnen daardoor invloed uitoefenen op de wortelontwikkeling. Er moet rekening mee worden gehouden, dat er van deze elementen een specifieke werking uitgaat. Het heeft daarom zin de invloed van de verschillende elementen afzonderlijk te behandelen. Hierbij moet nog weer rekening worden gehouden met allerlei facetten, zoals hoeveelheden, vorm, plaats, tijd van toediening en andere. Van verschillende hiervan is de kennis i.v.m. de wortelontwikkeling nog gering. Gedeeltelijk spelen deze punten ook een rol bij de opneembaarheid. Hierop komen we bij de fysische bodemeigenschappen terug.

De belangrijkste macroëlementen zijn stikstof, fosfaat en kali. Deze zullen achtereenvolgens worden behandeld. Ten aanzien van stikstof kan worden gezegd, dat

de meningen over de invloed van dit element op de wortelontwikkeling uiteenlopen. Er zijn onderzoekers, die menen, dat de totale hoeveelheden wortels bij matig hoge stikstofgiften verminderen. Andere vermelden een toename. De mogelijkheid bestaat dat alle gewassen niet op dezelfde manier reageren, zodat bij sommige het maximum in de wortelontwikkeling bij lagere stikstofgiften wordt bereikt dan bij andere.
Dit zou met name bij de grassen zo kunnen zijn, waar inderdaad bij betrekkelijk lage giften een afname werd vastgesteld, o.a. door Goedewaagen. Door ons werd bij winterrogge bij hogere giften nog een toeneming gevonden van de wortels tot in de ondergrond. Goedewaagen vond daarentegen bij haver een afname in de ondergrond.

De invloed van stikstof op de zijwortelvorming is ook onderzocht. Door de Duitse onderzoeker Gliemeroth werd bij gerst een rijkere zijwortelvorming gevonden in lagen, die met stikstof waren bemest. Wiersum vond, dat nitraat een grotere stimulerende invloed had op de vorming van zijwortels dan fosfaat.

Stikstof heeft vaak ook een gunstige invloed op de bovengrondse groei. In verschillende onderzoekingen is gevonden, dat de bovengrondse groei sterker bevorderd werd door stikstof, dan de wortelgroei. De spruit-wortelverhouding nam daardoor toe, naarmate de stikstofgift hoger was.

Door sommige onderzoekers werd ook nagegaan hoe de wortelontwikkeling reageerde, wanneer stikstof in verschillende lagen van de grond werd gegeven. De wortelontwikkeling in dergelijke bemeste lagen nam als regel toe, terwijl ook gevonden werd, dat de wortelgroei beneden een bemeste laag geringer was dan normaal.

Over het verband tussen de stikstofopname en het aantal wortels, dat over de meststof kon beschikken zijn interessante onderzoekingen gedaan. Gevonden werd, dat, naarmate meer wortels waren weggeknipt, de hoeveelheid opgenomen stikstof relatief groter was. De hoeveelheid opgenomen stikstof per wortel nam dus toe.

Het aantal onderzoekingen met betrekking tot de invloed van fosfaat lijkt groter te zijn dan met stikstof. Vooral Goedewaagen heeft hier belangrijk werk verricht.

In een onderzoek met verschillende hoeveelheden fosfaat bij haver op zandgrond vond Goedewaagen, dat de maximale worteldiepte eigenlijk niet veranderde onder invloed van grotere hoeveelheden

fosfaat. Wel nam de hoeveelheid wortels in de onbemeste ondergrond duidelijk toe. Dit resulteerde in een betere groei van het bovengrondse gewas als gevolg van betere mogelijkheden voor opneming van voedingsstoffen en water.

Bij tarwe werd door Goedewaagen ook een invloed op de diepte gevonden, maar dat zal vermoedelijk moeten worden toegeschreven aan de extreme fosfaatarmoede van de betreffende grond.

Ook bij fosfaat is nagegaan, welke invloed de hoeveelheid wortels uitoefenen op de opneming. Men kan dit op verschillende manieren doen. Goedewaagen nam een proef waarin slechts één vertikale helft van de grond werd bemest met fosfaat en de haverplant geplaatst was op de grens van het onbemeste en het bemeste gedeelte. De wortelontwikkeling in de bemeste helft nam sterk toe met de hoeveelheid fosfaat. Bovendien nam echter de hoeveelheid wortels in de onbemeste helft toe. Hieruit volgt, dat er in een onbemeste laag een intensieve wortelgroei kan plaatsvinden, mits er in de grond bemeste gedeelten aanwezig zijn, waaruit de benodigde voedingszouten kunnen worden opgenomen. Wanneer minder wortels over het fosfaat konden beschikken was de opname per gram wortels groter. Tegelijk met de wortelgroei nam de bovengrondse groei toe. Uit deze proef volgde duidelijk, dat wortels niet gericht naar een bemest gedeelte toe groeiden. In sommige gevallen groeiden ze van het bemeste gedeelte in het onbemeste, in andere groeiden ze over een afstand in het onbemeste deel op geringe afstand van het bemeste.

Proeven van andere onderzoekers, waarbij een deel der wortels van een plant in voedingsoplossingen werden geleid met of zonder bepaalde voedingszouten gaven overeenkomstige resultaten.

Goedewaagen bestudeerde ook de invloed van de vorm, waarin de mest wordt gegeven. Monocalciumfosfaat werd in de grond gebracht in de vorm van korrels met een doorsnee van 1½ mm volgens een eenvoudig patroon. Alleen wanneer de wortels binnen een bepaalde afstand langs deze korrels groeiden reageerden ze op de aanwezigheid van de meststof door een zeer sterke zijwortelvorming en dit des te sterker, naarmate ze dichter langs de mestkorrel groeiden.

De kans, dat de wortels in de werkingssfeer van de mestkorrels terechtkomen wordt mede bepaald door de onderlinge

afstand van de korrels. Dit betekent, dat wanneer men een zekere hoeveelheid mest geeft in de vorm van grove korrels de trefkans kleiner is dan bij fijne korrels. Het lijkt dus voor de hand te liggen om - zeker wanneer het gaat om een moeilijk oplosbare meststof - niet met grote korrels te werken.

We raken hier het terrein van de rijenbemesting. Men kan zich afvragen, welke invloed deze heeft op de wortelontwikkeling. Veel gegevens hierover zijn er niet bekend. Bij een onderzoek met mais in Noord-Brabant werden bij een eenmalige bemonstering in een laat groeistadium geen duidelijke verschillen in ontwikkeling van het wortelstelsel gevonden. Of er verschillen in zijwortelvorming waren kon in dit onderzoek niet worden nagegaan. De opbrengsten waren bij rijenbemesting, vergeleken met overeenkomstige hoeveelheden breedwerpig gegeven fosfaat, wel hoger.

Van ondergrondbemesting zijn enkele gegevens van tuinbonen bekend. Goedewaagen deed een onderzoek met fosfaat, waarbij telkens dezelfde hoeveelheid fosfaat tot 5, 10, 15 of 20 cm diep in de grond werd verdeeld. Hierbij werd slechts een geringe toename in de wortelontwikkeling van tuinbonen gevonden, bij stijgende hoeveelheden fosfaat. De verdeling in de grond had nauwelijks invloed op de hoeveelheid wortels. De groei van het bovengrondse gewas reageerde zowel op de verdeling van de meststof in de grond, als op de hoeveelheid.

Een ander geval, dat door Goedewaagen werd bestudeerd, had betrekking op de wortelontwikkeling van mosterdplanten.

Het fosfaat werd door het gehele profiel van 75 cm heen gemengd (P/P) of alleen in de bovengrond van 0 - 25 cm (P/O) of in de ondergrond van 25 - 75 cm (O/P). Bij P/O waren veel meer fijne wortels in de bovengrond tot ontwikkeling gekomen dan bij O/P. Doordat de totale hoeveelheid fosfaat bij O/P driemaal zo groot was bij P/O was er tenslotte weinig verschil in bovengrondse groei.

Op een proefveld met rogge op humeuze zandgrond vond Goedewaagen, dat stijgende kaligiften de hoeveelheden wortels in de bovengrond van 0 - 20 cm en in de ondergrond van 20 - 60 cm in geringe mate deden toenemen. Steineck vond in waterkultures bij een lage stikstofgift, dat de wortelontwikkeling van tomaten niet en van ala positief reageerde op toenemende hoeveelheden kalium. In een proef met

zomergerst bij een hoge stikstofgift werd geen reaktie op kalium gevonden.

Op een arme zandgrond vond Goedewaagen bij 2 maandoude wintertarwe een toename van de wortelgewichten bij hogere kaligift, maar bij een nog hogere gift trad een afname op. Dit ging parallel met de spruitgewichten. De opname per gram wortels steeg echter wel, naarmate meer kali gegeven was. We zien in dit resultaat dus weer duidelijk een aanwijzing, dat de plant over twee middelen beschikt om zijn opname te regelen.

Calcium is een onmisbaar element voor de plantegroei. Door bekalking neemt zowel het kalkgehalte als de pH toe. Deze twee aspekten zijn niet goed van elkaar te scheiden. Kalk heeft verder een gunstige invloed op de struktuur van de grond en het bacterieleven.

Verschillende onderzoekers hebben zich bezig gehouden met de invloed van kalk op de wortelontwikkeling. Hierbij is wel gebleken, dat niet alle gewassen even gevoelig zijn voor zure grond, maar toch kan als algemene regel worden gegeven, dat gewassen in zure grond in doorsnee minder wortels ontwikkelen dan in basenrijke gronden, In zure grond zien de wortels er kronkelig uit, dragen slechts weinig zijwortels en vormen weinig of geen wortelharen.

Van Schreven vond bij suikerbieten bij calciumgebrek een vertraagde wortelgroei en een afsterven van zijwortels. Goedewaagen nam waar bij tarwe in een proef met verschillende bekalkingen, waarbij de verkregen pH werd gebruikt als maat hiervoor, dat de hoeveelheid wortels toenam van pH 4,6 tot 5,7 evenals het gewicht van de spruiten.

Onze proeven geven aanwijzingen dat bekalking van kleigrond een gunstige invloed uitoefent op de groei van de bovengrondse delen en de wortels van haver en wintergerst. De spruitwortel verhouding nam bij bekalking toe, m.a.w. het gewicht van de bovengrondse delen neemt relatief meer toe dan dat van de wortels. Goedewaagen vond een evenredigheid tussen de gewichtsvermeerdering der wortels en spruiten. Enkele onderzoekers vonden, dat de wortelgroei achteruit ging bij overbekalking.

De opname van water en voedingszouten door de wortels bij stijging van de pH van de voedingsoplossing nam ongeveer evenredig met het wortelgewicht toe.

Ook in een proef met mosterd in kisten met grond waarbij de kalk tot 1 meter door de grond was gemengd vond Goedewaagen, dat de wortels in gewicht toenamen

bij stijgende pH. Het absorptie oppervlak van de wortels nam bij bekalking van de grond dus toe, waardoor de gewassen meer voedingszouten aan de grond konden onttrekken. We zien dan ook, dat de spruitgewichten eveneens toenamen.

In de praktijk bevindt de kalk zich vaak in hoofdzaak in de bovengrond. In een proef met gerst is gebleken, dat in dergelijke gevallen de wortelontwikkeling geheel beperkt kan blijven tot de bekalkte bovenlaag. Is de beperking niet volledig, dan ziet men in ieder geval toch een sterke afname in de wortelontwikkeling. Overigens bleek het aan Goedewaagen, dat de kalk beter gelijkmatig verdeeld kon zijn dan ongelijkmatig, omdat de invloed op de pH dan te plaatselijk is en zowel een te lage als te hoge pH schadelijk kan zijn voor de wortelontwikkeling. Het feit, dat kalk zich in het algemeen slechts langzaam door de grond verplaatst, is hier mede van belang.

Een bekalking van de ondergrond kan een duidelijk effekt hebben op de wortelgroei. Goedewaagen toonde dit aan in een proef met mosterd, waarvan de ondergrond beneden 25 cm bekalkt werd tot een pH van 6, terwijl de zure bovengrond een pH had van 4.2. Slechts weinig planten slaagden erin met hun wortels de ondergrond te bereiken en daarin door te groeien. In deze gevallen was het effekt op de zijwortelvorming zeer duidelijk.

In zandgrond met een humuspercentage van plm. 5% is de wortelgroei van zomergerst bij een pH van plm. 3.8 slecht. Een verhoging van de pH in de bouwvoor tot 5,0 resulteerde in een veel gunstiger groei van de bovengrondse en ondergrondse delen van de planten. Het samengaan van de bouwvoor- met een ondergrondbekalking gaf eveneens gunstige resultaten.

Over de specifieke invloed van sporenelementen op de wortelgroei is nog zeer weinig bekend, zodat we dit punt zullen laten rusten.

Samenvattend kan worden gezegd, dat er aangenomen kan worden, dat wortels vrij goed in voedselarme grond tot ontwikkeling kunnen komen, maar dat aanwezigheid van meststoffen tot een bepaalde koncentratie, onverschillig in welke laag, ter plaatse en dikwijls ook op andere plaatsen, de hoeveelheid wortels doet toenemen. Men kan de zone van de grootste wortelontwikkeling - zij het beperkt - naar de diepte verplaatsen door de mest dieper in de grond te brengen. Als neven-verschijnsel moet worden vermeld, dat de

wortelontwikkeling onder bemeste lagen soms kan worden afgeremd. Bij stikstof lijkt de optimale hoeveelheid al bij lage giften te worden bereikt en dit is bij grassoorten mogelijk nog meer geprononceerd. Boven de optimale koncentratie ziet men soms een gelijk blijven van de wortelmassa of een afname. Niet alleen de hoeveelheid meststof speelt een rol, maar ook de vorm, waarin deze gegeven wordt in verband met de trefkans door de wortels. Het spreekt wel vanzelf, dat de tijd van toediening ook belangrijk is evenals plaats en verdeling.

De invloed van organische meststoffen op de beworteling is nog weinig onderzocht. Resultaten van bemesting van bloemkool met stalmest of rioolslib gaven een aanwijzing, dat het wortelgewicht groter was dan bij een bemesting met kunstmest (zie verder onder hummsgehalte, blz. 21).

De aanwezigheid van meer wortels maakt een grotere opname mogelijk. In het algemeen neemt de zoutopname toe, naarmate er meer wortels hieraan deelnemen. Bovendien kan de opname per gram wortels ook toenemen, maar dit laatste is niet zeker voor alle elementen. In vele gevallen gaat dan ook een grotere wortelontwikkeling gepaard met een betere spruitgroei.

3). Planten hebben water nodig voor hun groei en voor het transport van voedingsstoffen. Overtollig water verdwijnt normaliter uit de plant door verdamping waardoor het water in de plant ook nog een zekere temperatuur regelende werking heeft. De aanwezigheid van <u>water</u> in de grond wordt in eerste instantie door de hoeveelheid neerslag bepaald. Daarnaast spelen andere invloeden echter een rol. Hoe meer water er in de grond aanwezig is, des te minder <u>lucht</u> is er en omgekeerd. Beneden de grondwaterspiegel zijn vrijwel alle poriën in de grond met water gevuld. Voorzover de poriën van de grond met lucht zijn gevuld, speelt de samenstelling hiervan een rol, vooral in verband met het gehalte aan zuurstof en koolzuur.

De vraag, hoe het wortelstelsel reageert als de grond geheel gevuld is met water is betrekkelijk gemakkelijk te beantwoorden, omdat dit blijkt uit het gedrag van de wortels boven een grondwaterspiegel. In sommige gevallen zijn op graslandproefvelden bij hogere grondwaterstanden wortels beneden de grondwaterspiegel gevonden, maar het vermoeden is gerechtvaardigd, dat deze dood

waren en afkomstig van planten die aanwezig waren, voordat de grondwaterstand werd ingesteld. Bij verschillende onderzoekingen is komen vast te staan, dat de wortels van landbouwgewassen, zoals haver, tarwe, gerst, erwten, aardappelen, rogge en verder ook van Engels raaigras en van aardbeien niet in grondwater doordrongen, maar hun groei zelfs ongeveer 10 cm erboven eindigden. Bij volledig verzadigde grond is dus geen wortelgroei mogelijk. Een uitzondering hierop vormen bepaalde gewassen, die hier speciaal op ingericht zijn (rijst, moerasplanten).

In het algemeen mag worden aangenomen, dat deze remming wordt veroorzaakt door luchtgebrek. Bij pF 2.5 is al duidelijk minder groei, bij sommige gewassen te constateren dan bij hogere pF. In verschillende van bovengenoemde proeven was het zuurstofgehalte van het water echter zeker niet bijzonder laag.

De vraag is nu bij welk watergehalte de wortelgroei maximaal is.

Boonstra vond bij erwten, dat zowel het wortelgewicht als het spruitgewicht bij toenemend vochtgehalte tussen 30 en 90% van de watercapaciteit toenam met het vochtgehalte. Tollenaar nam ook waar, dat tabak in een vochtige grond een betere wortelontwikkeling had dan in een droge. Zo zijn er nog meer gegevens. Men kan wel als zeker aannemen, dat de wortelgroei bij stijgend vochtgehalte van de grond toeneemt tot een bepaald maximum. Het kan echter best zijn, dat het maximum in de spruitontwikkeling ligt bij een hoger vochtgehalte, zoals door Kauter is gevonden bij Frans raaigras. De maximale wortelontwikkeling wordt door het ene gewas bij een lager vochtgehalte bereikt dan door het andere en dit zal ook afhankelijk zijn van de grondsoort. Boven dit maximum neemt de wortelgroei af om, zoals we boven hebben gezien nul te worden in volledig verzadigde grond.

De volgende vraag is nu bij welke benedengrens van het vochtgehalte de wortelgroei stopt. Hier geldt ook weer, dat dit niet voor alle planten en alle grondsoorten gelijk hoeft te zijn. Er zijn grote verschillen in droogtegevoeligheid tussen de gewassen. Deze kunnen verband houden met het vermogen om water aan de grond te onttrekken, maar ook met het bewortelingstype. Het is in ieder geval duidelijk, dat toenemende zuigspanning in de grond op de duur een afname van de wortelgroei veroorzaakt. Bij pF 4.2 is geen wortelgroei meer mogelijk. De spruitgroei is in dit opzicht gevoeliger en neemt reeds af, wanneer

de afneming in wortelgroei nog weinig te betekenen heeft. Het ligt voor de hand, dat een gewas, dat van nature een gering ontwikkeld en oppervlakkig wortelstelsel heeft, eerder op droogte zal reageren dan planten met grote wortelstelsels. De worteldiepte speelt in dit opzicht een belangrijke rol, omdat deze beslist over de mogelijkheid water op te nemen uit diepere lagen. In dit verband kan aan woestijnplanten worden gedacht als extreem geval.

Beregening heeft ook invloed op de wortelontwikkeling. Op grasland werd gevonden, dat de hoeveelheid wortels in de bovengrond bij beregening relatief zeer sterk toenam. De totale hoeveelheid wortels was geringer dan op het niet beregende deel. Het is duidelijk, dat de door beregening veroorzaakte veranderingen in de wortelontwikkeling de planten gevoeliger maken tegen droogte. Dit betekent, dat beregening, eenmaal begonnen, vaak voortgezet moet worden, tenzij er natte perioden volgen.

De plant heeft regelmatig en naar verhouding veel water nodig. In feite is het eerste wat een zaad nodig heeft water. Het is daarom een gelukkige omstandigheid, dat de eerste wortelvorming voorafgaat aan de spruitvorming.

De hoeveelheid water, die een plant nodig heeft gedurende zijn leven is niet steeds dezelfde. In normale gevallen is er bijvoorbeeld bij haver een periode van gering waterverbruik, gevolgd door een meestal snelle stijging, die weer wordt gevolgd door een afneming. De eerste periode van gering waterverbruik gaat samen met een nog geringe bovengrondse en ondergrondse ontwikkeling, maar de wortelgroei heeft toch een zekere voorsprong op de spruitgroei. Deze laatste blijft in deze periode ook min of meer beperkt. Als dan, voor en tijdens het schieten de spruit sterk gaat groeien, is het wortelstelsel normaal voor zijn taak berekend.

Samenvattend kan worden gezegd, dat wortelgroei bij verzadigde grond niet mogelijk is, evenmin als in grond, waarvan het vochtgehalte daalt tot het verwelkingspunt. Hiertussen ligt een punt met maximale wortelontwikkeling, dat kan liggen bij verschillende vochtspanningen, afhankelijk van de plantesoort en mogelijk ook de grondsoort.

De verschillen in wortelontwikkeling maken, dat de ene plant ook weer meer water kan opnemen dan de andere. Tezelfder tijd kan de hoeveelheid opgenomen zouten verschillen. Dit heeft vanzelfsprekend invloed op de bovengrondse groei. Dit is in het voorgaande ook tot uiting gekomen.

Wat hiervoor over water is gezegd, geldt in omgekeerde zin voor de zuurstof. Daar waar overmaat water aanwezig is, is de hoeveelheid zuurstof gering. In droge grond is veel zuurstof aanwezig. Men kan het dus zo stellen, dat, waar geringe wortelgroei is bij overmaat water, dit wordt veroorzaakt door gebrek aan zuustof, terwijl als de wortelontwikkeling slecht is bij overmaat lucht, dit wordt veroorzaakt door gebrek aan water.

4) fysische bodemeigenschappen:

We zullen achtereenvolgens een aantal eigenschappen bespreken.

a. struktuur van de grond (poriënvolume)
b. profielopbouw
c. humusgehalte
d. zuurgraad
e. temperatuur

a) Een aspekt van de struktuur van de grond is de dichtheid of - anders gezegd - het poriënvolume. De laatste jaren is dit aspekt steeds meer in de belangstelling gekomen als gevolg van het gebruik van zware machines. De vraag is dus weer: hoe reageert de wortelgroei op de dichtheid van de grond en hoe werkt dit door in de groei van het bovengrondse gewas.

Uit onze proeven is gebleken, dat dichtheid als zodanig duidelijk een faktor is waarop de wortelgroei reageert, ook wanneer de invloed van faktoren als zuurstof en water, die met de dichtheid samenhangen, zo goed mogelijk worden uitgeschakeld. Dat is ook niet te verwonderen. Immers de wortel moet, om te kunnen groeien, kracht uitoefenen op de granddeeltjes om deze te verplaatsen. Dit kost energie, waardoor de plant zelf de benodigde brandstof moet leveren. Hoe meer energie hiervoor geleverd moet worden, des te minder blijft er over voor de opbouw van de plant. We zien, dat de wortelgroei geremd wordt, naarmate de grond dichter is. Dit uit zich dan in de eerste plaats in een geringere diepte van het wortelstelsel en een geringer wortelgewicht. Daarnaast kunnen verschillen in zijwortelvorming optreden, maar het staat nog niet vast of er bij grotere dichtheid meer of minder zijwortels gevormd worden. Het ligt voor de hand om - bij vergelijking van planten in dezelfde grondsoort van verschillende dichtheid - te denken aan meer zijwortels per eenheid hoofdwortels omdat de lengtegroei van deze laatste geremd wordt. Het totale aantal zijwortels behoeft dan echter niet belangrijk te verschillen. Mogelijk speelt hier ook de grondsoort een rol.

Een verschijnsel, dat vaak optreedt bij wortelgroei in dichte gronden is vergroting van de doorsnee van de wortels. In zeer dichte gronden kan deze verdikking, speciaal van de uiteinden van de wortels, zeer spectaculair zijn. Ook dit moet waarschijnlijk worden gezien als een gevolg van de geremde lengtegroei.

Het is dus duidelijk, dat een zeer dichte grond de wortelgroei volledig afremt. De dichtheid, waarbij dit gebeurt, behoeft niet voor alle gronden dezelfde te zijn. Het poriënvolume mogelijk wel. Bovendien kon het zijn, dat wortels, die in een losse laag groeien, daardoor niet in een onderliggende vastere laag kunnen doordringen. De wortelgroei neemt toe in lossere grond. Dit is in principe bij verschillende gewassen gevonden. Er kunnen echter wel graduele verschillen in reaktie bestaan. Zo heet lucerne in staat te zijn met zijn wortels gemakkelijker in dichte lagen te groeien dan andere gewassen. De vraag is hoe ver dit doorgaat, en of er niet eerder moet worden gesproken van open houden van de grond. Het is bijzonder moeilijk hierover proeven te nemen, omdat een zeer losse pakking van de grond vrijwel niet te handhaven is onder natuurlijke omstandigheden. Het ligt echter in de lijn der verwachting, dat een grond ook te los kan zijn voor de wortelgroei als gevolg van secundaire omstandigheden als bijvoorbeeld watergebrek. Dit blijkt bij ondergrondbewerkingen, waar geen groeiverbeteringen worden waargenomen, maar eerder het tegendeel.

Ook hier zien we weer, dat - in het algemeen gesproken - de bovengrondse groei toeneemt met de wortelontwikkeling tot een bepaald punt. Bij zeer gunstige omstandigheden behoeft de wortelontwikkeling niet meer toe te nemen terwijl de bovengrondse groei dit nog wel doet.

Een punt, dat hier mogelijk genoemd moet worden is dat van verkitte lagen, bijvoorbeeld koffiezand, die een belemmering vormen voor de wortelgroei. Het behoeft geen betoog, dat het probleem hier heel anders kan liggen dan bij verdichte lagen, omdat de dichtheid van een verkitte laag helemaal niet ongunstig behoeft te zijn. In dergelijke gevallen speelt het feit een rol, dat de gronddeeltjes door de wortels niet verplaatst kunnen worden. Hierdoor kunnen de poriën niet worden verwijd. Dit heeft tot gevolg dat de wortelgroei stopt, omdat de wortels - zoals door Wiersum is aangetoond - niet in staat zijn hun eigen doorsnee te verkleinen.

Men kan de gevolgen van geremde wortelgroei als gevolg van een ondoordringbare laag in de ondergrond in bepaalde gevallen

proberen te verminderen door een grotere bemesting te geven. Uit ons onderzoek is gebleken, dat de wortelontwikkeling van haver hierdoor werd vergroot, doordat het aantal kroonwortels was toegenomen. Het gewicht per wortel was echter geringer en de worteldiepte bleef dezelfde. De bovengrondse groei nam sterk toe.

Door ondergrondbewerking kan ook verbetering worden verkregen, zoals is gebleken uit proeven van Goedewaagen en onszelf. Men moet er echter wel op bedacht zijn, dat de resultaten naderhand weer kunnen verminderen, doordat de grond later weer dichter wordt.

b. Profielopbouw is voornamelijk daar van betekenis, waar het profiel bestaat uit verschillende lagen met min of meer scherpe overgangen. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn waar zavel- of kleilagen rusten op een ondergrond van humusarm zand of ook waar humusrijk zand op humusarm zand ligt. Dit is ook niet te verwonderen, omdat er bij dergelijke overgangen vaak allerlei eigenschappen van de grond veranderen (waterhuishouding). Het is te verwachten, dat de plant - mede ook doordat de wortelgroei zal zijn aangepast aan de omstandigheden in de bovengrond - op dergelijke veranderingen zal reageren.

Uit ons onderzoek is gebleken, dat een scherpe overgang van profiellagen vrijwel steeds moeilijkheden oplevert voor de wortelgroei. Hoe groter het verschil tussen de lagen des te moeilijker is de overgang voor de wortels. Dit bleek o.a. uit een proef, waarin de bovengrond van zavel rustte op ondergrond van humusarm zand van uiteenlopende fijnheid. In het fijnste zand drongen de wortels het best door. Dit wijst er op, dat de wortels zich op een bepaalde manier aan hun milieu aanpassen, want er zijn voorbeelden bekend van wortels, die goed in humusarm zand groeiden, wanneer ze daar vanaf het begin in zaten.

Uit het feit, dat de wortelgroei bij overgang van de bovenste profiellaag naar lager gelegen lagen moeilijkheden ondervindt - wat dan zijn weerslag vindt in de groei van het bovengrondse gewas - kan worden afgeleid, dat het voor de plantengroei het beste is, dat dergelijke overgangen zo laag mogelijk in de grond voorkomen, om de gedachten te bepalen beneden een diepte van 1 meter. Dit is uit ons onderzoek wel gebleken, evenals het feit, dat het niet eenvoudig is met bijkomstige maatregelen zoals extra bemesting, de opbrengsten van profielen met een dunne zavellaag op zand op te voeren tot die van gunstiger profielen met dikkere zavellagen.

c. Het humusgehalte van de grond beinvloedt verschillende faktoren, zoals poriënvolume, water- en luchthuishouding en vruchtbaarheid. Welke van deze faktoren bij grond met verschillende humusgehalten op het sterkst op de wortelgroei inwerkt, is moeilijk na te gaan.

Uit een door ons uitgevoerde proef met haver, lucerne en erwten op zandgrond met resp. 2.0, 3.8 en 5.5% humus is wel gebleken, dat de wortelontwikkeling van lucerne en erwten in een homogeen losse grond gunstig reageerde op het humusgehalte en dat van haver geen reaktie vertoonde. De bovengrondse groei reageerde overeenkomstig. Dit onderzoek vraagt echter wel om herhaling. Andere onderzoekers vonden wel min of meer gelijksoortige reakties. Men mag dus wel aannemen, dat het in de praktijk gewenst is maatregelen te nemen, om het humusgehalte van de grond op peil te houden. In een ander onderzoek werd gevonden, dat een dikke laag met een gering humusgehalte gunstiger was dan een dunnere laag met een hoger gehalte.

d. Over de zuurgraad is onder kalkbemesting reeds het een en ander gezegd.

e. Dat de temperatuur een zeer belangrijke faktor is in het leven van de planten is genoegzaam bekend uit het feit, dat de plantenwereld in de verschillende klimaatgordels zeer sterk uiteenloopt. De vraag, die ons in dit verband interesseert is, welke rol speelt het wortelstelsel bij de reakties van de planten op de temperatuur. Als voorbeeld kunnen we noemen het onderzoek van Grobbelaar met mais. Het wortelstelsel van deze planten werd aan verschillende temperaturen blootgesteld gedurende een aantal dagen, terwijl het bovengrondse gewas in alle gevallen bij 20°C groeide. De wortelgroei bleek optimaal te zijn tussen 20 en 30°C.

De geringere groei bij 35°C werd vooral veroorzaakt door een remming van de groei van de kiemwortels. De aanleg van kroonwortels was sterker vertraagd, naarmate de temperatuur lager werd gehouden tussen 20 en 5°C.

Het optimum van de spruitgroei bleek te liggen in het gebied tussen 25 en 35°C. Dit optimum lag dus iets hoger dan bij de wortels.

Deze gegevens zullen zeker niet voor alle gewassen dezelfde zijn. Toch kan er wel met enige voorzichtigheid een algemene konklusie uit worden getrokken. Deze luidt dan, dat de wortelgroei bij een bepaalde lage en hoge temperatuur onmogelijk wordt, terwijl daartussen in een optimum ligt. Deze drie temperaturen

zullen zonder twijfel specifiek zijn voor elk gewas afzonderlijk. Bovendien is het wel waarschijnlijk, dat in het algemeen de gevoeligheid van spruiten anders is dan die van de wortels.

5) Behandeling

Hieronder worden speciale maatregelen verstaan, waaraan het gewas wordt onderworpen. Een sprekend voorbeeld hiervan is het maaien en weiden van grasland. Hierdoor wordt een hoeveelheid in de plant aanwezig reservevoedsel weggenomen, terwijl tegelijkertijd het produktie-apparaat voor de fotosynthese grotendeels verdwijnt. Dit zal vooral invloed hebben op de verdere groei van het gewas, wanneer dit zich bevindt in een stadium van sterke groei. Verder is natuurlijk belangrijk de frequentie, waarmee het maaien of weiden gebeurt. Het is duidelijk, dat de nadelige invloed op de wortelgroei groter is, naarmate de frequentie stijgt. Dit is ook gebleken uit onze en andere onderzoekingen.

V. HET VERBAND TUSSEN WORTELGROEI EN BOVENGRONDSE ONTWIKKELING

In het voorgaande zijn verschillende faktoren behandeld, die invloed hebben op de morfologie van het wortelstelsel. Hierbij is gebleken, dat er faktoren zijn, die remmend, andere die bevorderend werken op de wortelontwikkeling. In enkele gevallen werd gevonden, dat de invloed omsloeg van gunstig naar ongunstig als gevolg van hogere doseringen. Bij de beoordeling van een wortelstelsel moet men altijd rekening houden met de groei van het bovengrondse gewas en met de omstandigheden waaronder het gewas groeide.
Bij elke situatie in het leven van een plant behoort een bepaalde spruit-wortelverhouding. Dit blijkt, wanneer men planten onder konstante omstandigheden kweekt. Aangezien de omstandigheden bij planten te velde van minuut tot minuut veranderen, moet worden aangenomen, dat er in het leven van de plant een voortdurende proces van aanpassing plaatsvindt, zonder dat de plant er in slaagt een bij de situatie behorende spruit-wortelverhouding tijdig te bereiken. In grote lijnen is wel gebleken, dat er bij de landbouwgewassen een verband bestaat tussen de wortelgroei en de groei van het bovengrondse gewas. In vele gevallen gingen onbelemmerde wortelgroei binnen de erfelijk bepaalde mogelijkheden en goede spruit-groei samen. Men kan zich dus afvragen of een zo groot mogelijk wortelstelsel een voorwaarde is voor een zo gunstig mogelijke groei van het gewas en dus

voor een zo hoog mogelijke opbrengst. Het antwoord hierop kan zijn dat dit zeker niet steeds het geval behoeft te zijn. Wanneer de plant voortdurend onder gunstige omstandigheden groeit, wat betreft de opname van voedsel en water en daarnaast ook bovengronds niets te kort komt kan een optimale groei worden bereikt, bij geringe wortelgroei. Dat is wel gebleken uit de gegeven voorbeelden. Een prachtig voorbeeld hiervan werd gevonden door Goedewaagen, bij koolzaad op een maagdelijke grond in de toen pas drooggelegde N.O.P. Dit koolzaad was bovengronds zeer zwaar ontwikkeld tot een hoogte van 1.80 meter. De wortelgroei was zeer gering. De maximale diepte was slechts 30 cm (zie publicatie 2, blz. 41). Een dergelijke toestand is in de plantenteelt in de open grond echter hoge uitzondering. Men moet dit blijkbaar als volgt zien:

Een gewas te velde groeit onder omstandigheden, die voor een groot deel niet beheerst kunnen worden. Er is een grote variatie in omstandigheden van jaar tot jaar, maar vooral binnen de vegetatieperiode van een gewas. Perioden van droogte of overvloedige regenval zijn onder onze omstandigheden niet zeldzaam. Verder kan ook de temperatuur sterk schommelen. Vooral wanneer er sprake is van een langdurige periode met min of meer extreme omstandigheden, worden er aan de mogelijkheden tot opname door de wortels hoge eisen gesteld. Bij langdurige droogte treedt watergebrek op, bij overmaat water kan zuurstofgebrek optreden of gebrek aan voedingsstoffen. Dit alles maakt, dat het voor de gewassen te velde onder onze omstandigheden buitengewoon gewenst is te beschikken over een goed ontwikkeld wortelstelsel. Het is duidelijk dat planten met een minder goed ontwikkeld wortelstelsel onder extreme omstandigheden eerder te gronde zullen gaan dan die met een goed ontwikkeld. Wanneer men ziet, dat een wortelstelsel slechts weinig centimeters diep gaat, kan men met grote zekerheid zeggen, dat daaronder iets fout is, omdat de wortelgroei kennelijk belemmerd is. Dit behoeft in bepaalde jaren niet catastrofaal te zijn, maar kan toch gemakkelijk tot oogstderving leiden. Het is dus verstandig om zolang men niet alle belangrijke faktoren in de hand heeft, ervoor te zorgen, dat de wortelgroei van de gewassen zo weinig mogelijk belemmerd wordt . Dit kan men o.a. doen door storende lagen te breken, beheersing van de waterhuishouding, goede bemesting enz.

VI. METHODEN VAN ONDERZOEK

Deze zullen slechts kort behandeld worden. Voor een uitvoerige beschrijving zie men de publicaties, genoemd onder 3 en 5, in

bijgevoegde literatuurlijst.

De methoden, die bij het wortelonderzoek worden toegepast, hebben in de eerste plaats tot doel de wortels toegankelijk te maken voor verder onderzoek. Daaropvolgend worden methoden gebruikt voor het bestuderen van de wortels, om de in hoofdstuk III genoemde gegevens te verkrijgen.

Om wortels toegankelijk te maken voor verder onderzoek moet men ze zichtbaar maken. Daarvoor is het nodig monsters te nemen, die óf een geheel wortelstelsel óf een groter of klein deel hiervan omvatten. Volledige wortelstelsels kan men in de meeste gevallen slechts onder bepaalde omstandigheden verkrijgen. Vooral bij onderzoek van gewassen te velde zal men zich vrijwel steeds met een deel ervan tevreden moeten stellen.

Een groot gedeelte van een wortelstelsel kan men krijgen met behulp van de zogenaamde naaldenplanken. Hiermee worden monsters genomen, waarvan de afmetingen variëren in verband met het gewas en de leeftijd ervan. Naaldenplankmonsters worden naar het laboratorium gebracht en daar gespoeld, waardoor de wortels zichtbaar worden, ongeveer in de positie, waarin ze in de grond aanwezig waren. De eigenschappen van het wortelstelsel en van individuele wortels kunnen dan bestudeerd worden.

Zeer kleine gedeelten van een wortelstelsel verkrijgt men met de zogenaamde wortelboor. Hiermee worden cilindervormige monsters gestoken uit de grond in het hart of in de nabijheid van de te bemonsteren plant. Deze worden in het laboratorium gespoeld op fijne zeven. Men krijgt dus slechts fragmenten van wortels in handen, waardoor de mogelijkheden van bestudering beperkt zijn.

De boormethode is zeer bewerkelijk. Daarom is uitgezien naar een methode waarin een aantal bewerkingen achterwege kan blijven. Het resultaat is geweest dat een methode is ontwikkeld, waarbij de hoeveelheden wortels in een boormonster te velde worden geschat. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een groot aantal standaardfiguren, die worden gebruikt als vergelijkingsobjekten. De methode is ontwikkeld voor granen en grassen en eventueel andere gewassen met fijne wortels en is beschreven in publiactie 6 van de literatuurlijst.

De wortelontwikkeling van bomen wordt in het algemeen bestudeerd door de afgesneden worteleinden in de wand van een profielkuil te karteren. Hierbij wordt nog rekening gehouden met de dikte van de wortels.

Bij het bewortelingsonderzoek op proef- en praktijkvelden heeft men vaak te maken met variaties, bijvoorbeeld in het profiel. Daardoor wordt de interpretatie van verkregen gegevens sterk bemoeilijkt. Om dergelijke ongewenste variaties uit te schakelen en ook om onder beter geconditioneerde omstandigheden te kunnen werken, wordt bij het bewortelingsonderzoek gebruik gemaakt van kunstmatige profielen in betonnen of eternitbuizen of in bakken. Het spreekt welvanzelf, dat het vullen hiervan met grote zorg moet gebeuren. Men kan volledig intakte wortelstelsels verkrijgen, nadat de grond uit een dergelijke buis is weggespoeld. Deze methode leent zich bijzonder goed voor de bestudering van de opbouw van een wortelstelsel en van detailkenmerken van individuele wortels.

Verder kan men gebruik maken van glazen cilinders of bakken, gevuld met voedingsoplossing. Dit heeft het voordeel, dat men de groei van de wortels van dag tot dag kan volgen. Het biedt ook de mogelijkheid om door het verwijderen van één of meer wortels op verschillende tijdstippen het aanpassingsvermogen van een plant na te gaan.

AANBEVOLEN LITERATUUR:

1). BUTIJN-SCHUURMAN, 1957. De invloed van verschillende bodembehandelingen op de eigenschappen van de bodem en op de opbrengst en wortelgroei van appelbomen.

2). GOEDEWAAGEN, 1942. Het wortelstelsel der landbouwgewassen.

3). GOEDEWAAGEN, M.A.J. 1948. De methoden, die aan het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut TNO te Groningen bij het wortelonderzoek op bouw- en grasland in gebruik zijn.

4). GOEDEWAAGEN, e.a. 1955. Wortelgroei in gronden, bestaande uit een bovengrond van klei en een ondergrond van zand. Versl. Landbouwk. Onderz. 61.7.

5). SCHUURMAN-GOEDEWAAGEN, 1965. Methods for the examination of root systems and roots.

6). SCHUURMAN-KNOT, 1957. Het schatten van hoeveelheden wortels in voor wortelonderzoek genomen monsters.

7). De plantenwortel in de landbouw. Voordrachten gehouden op de A-cursus van 14-16 september 1954. Pudoc.