

nota

— instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, wageningen —

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

DE BEWORTELING VAN (HALF-)NATUURLIJKE VEGETATIES

ing. P.C. Jansen

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties. Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten. Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

I N H O U D

| | Blz. |
|---|------|
| VOORWOORD | 1 |
| 1. SAMENVATTING | 2 |
| 2. ALGEMEEN | 3 |
| 3. PRIMAIRE GROEIFACTOREN VOOR DE BEWORTELING | 5 |
| 4. DE WORTELDIEPTE VAN DE PLANTEN ONDER OPTIMALE OMSTANDIGHEDEN | 7 |
| 5. SECUNDAIRE GROEIFACTOREN VOOR DE BEWORTELING | 11 |
| 5.1. Wortelconcurrentie | 11 |
| 5.2. Zuurgraad | 12 |
| 5.3. Aeratie | 12 |
| 5.4. Indringingsweerstand | 15 |
| 6. LITERATUUR | 18 |

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

VOORWOORD

De aanleiding voor deze nota vormt het project waarbij een onderzoek wordt gedaan naar de relatie tussen de vochthuishouding, de waterhuishouding en de vegetatie in natuurgebieden. Hiertoe wordt in eerste instantie het model SWATRE gebruikt, dat de stroming in de onverzadigde zone simuleert. Voor dit model dient ondermeer de dikte van de wortelzone van de vegetatie bekend te zijn.

Het onderzoek naar het wortelstelsel van (half-)natuurlijke vegetaties vormt een min of meer afgerond geheel, waarvan de belangrijkste resultaten in deze nota zijn opgenomen.

1. SAMENVATTING

Van de worteldiepte of de dikte van de wortelzone is van de meeste plantesoorten die in (half-)natuurlijke vegetaties voorkomen erg weinig bekend. De worteldiepte is weliswaar genetisch bepaald, maar is uiteindelijk van een groot aantal factoren afhankelijk. Hiervan zijn lucht, water, voedingsstoffen en warmte van primair belang voor de ontwikkeling van het wortelstelsel. Onder optimale omstandigheden blijken er zowel onder de kruiden alsook onder de bomen soorten te zijn die ondiep (<50 cm), maar ook diep (>100 cm) kunnen wortelen. Bij de grasachtige plantesoorten blijkt er een zekere samenhang van de worteldiepte met de groeiplaats. Veel soorten die vaak in schrale graslanden worden aangetroffen, hebben een wortelzone met een dikte van circa 25 cm. In cultuurgraslanden komen veel soorten voor die een wortelzone van 40 - 60 cm hebben, terwijl een aantal van de ruigere soorten, die vaak in greppels en langs oevers worden aangetroffen, een wortelzone van rond de 100 cm hebben.

De wortelgroei wordt vaak belemmerd door lagen in de bodem met een hoge indringingsweerstand. In tabel 1 is een overzicht gegeven van de belangrijkste eigenschappen en de diepte van voorkomen van de bodemlagen van enkele veel voorkomende bodemtypen. Verder kunnen de meeste wortels niet onder anaerobe omstandigheden groeien. In figuur 1 kan worden afgelezen welke dikte een wortelzone bij verschillende combinaties van zomer- en wintergrondwaterstanden maximaal kan bereiken. Bij een aantal veengronden kan de zuurgraad een beperkende factor voor de beworteling zijn. Tot slot dient de wortelconcurrentie genoemd te worden, die meestal belemmerend werkt op de wortelgroei.

2. ALGEMEEN

Een belangrijk gedeelte van de meeste planten bevindt zich onder de grond. Dit betreft het wortelstelsel. Zo kan 10 - 20% van de houtmassa van een boom uit wortels bestaan. Qua oppervlakte is het wortelstelsel vaak even groot als de totale hoeveelheid bladeren.

De meest voorkomende worteltypen die bij volgroeide planten kunnen worden onderscheiden zijn de hoofd-, zij- en haarwortels. De hoofdwortel die uit de kiemwortel is ontstaan, blijft bij een aantal soorten als penwortel zichtbaar, maar meestal vertakt deze wortel zich in zijwortels van de 1e tot en met de 4e orde. De mate van ontwikkeling van de (primaire) hoofdwortel geeft het grootste onderscheid tussen de diverse wortelsystemen. De fijnste wortels, de haarwortels, leven over het algemeen kort en kunnen op alle hier genoemde wortels voorkomen. Deze wortels nemen het water en de voedingsstoffen uit de bodem op.

Het wortelstelsel vervult een groot aantal functies. Hieronder vallen onder andere:

- het opnemen van water en voedingsstoffen uit de bodem en het transporteren naar de bovengrondse delen van de plant
- het verankeren in de grond (bij landplanten)
- het opslaan van voedingsstoffen
- het transporteren van lucht
- het vormen van nieuwe kiemdelen voor het behoud en de vermeerdering van de plantesoort.

Morfologisch gezien kan er, wat betreft het wortelstelsel, onderscheid gemaakt worden in bijvoorbeeld aantal, lengte, massa, oppervlak, diameter, volume, diepte, ligging en uiterlijk.

Het aantal wortels per oppervlakte-eenheid geeft een goed beeld van de bewortelingsmogelijkheid van de verschillende bodemlagen, terwijl de wortellengte per bodemvolume-eenheid een goede maat is voor de opnamecapaciteit van water en voedingsstoffen. De wortelmassa is eveneens een goede maat voor de relatie die de plant met de groeiplaats heeft. De wortelmassa is afhankelijk van het jaargetijde. De grootste massa wordt aan het begin van de bloei bereikt. Ook de andere parameters geven één of andere vorm van informatie over het wortelstelsel en de interactie ervan met het bodemmilieu. De meting vormt in alle gevallen echter een tijdrovende bezigheid.

Voor het doel van deze studie is de worteldiepte, die geeft tot waar de wortels het bodemvocht kunnen onttrekken, een goede maatstaf. In praktijk blijkt dat in Nederland de worteldiepte van half-natuurlijke vegetatie vaak door het bodemmilieu bepaald wordt. Indien hierover voldoende informatie verkregen kan worden, maakt dit het concreet meten van de worteldiepte in de meeste gevallen overbodig.

In de rest van deze nota zal voornamelijk op de diepte van de worteling en op de factoren die hier invloed op uitoefenen worden ingegaan.

3. PRIMAIRE GROEIFACTOREN VOOR DE BEWORTELING

De diepte van de beworteling van planten is van een groot aantal factoren afhankelijk. Afgezien van het feit dat de beworteling van een plant genetisch bepaald is en volgens een bepaald stramien verloopt, zijn er factoren die het wortelmilieu en daarmee de basisvorm van het wortelstelsel beïnvloeden. Deze factoren worden op hun beurt weer beïnvloed door de vegetatie. Naast de factor licht zijn er omstandigheden in de bodem die van primair belang zijn voor een optimale ontwikkeling van het wortelstelsel. Dit betreft de aanwezigheid van de groeifactoren water, lucht, voedingsstoffen en warmte.

- **LUCHT** in de vorm van zuurstof in de bodem is van belang voor de ademhaling van de plantewortels. Hierbij is een goede uitwisseling (voornamelijk via diffusie) met de atmosfeer noodzakelijk omdat niet alleen een te laag zuurstofgehalte, maar ook een te hoog koolzuurgehalte negatief werkt op de ontwikkeling van wortelharen en vaatwortels. Ook kunnen onder anaerobe omstandigheden stoffen ontstaan die een toxische werking op de wortels hebben.
Aeratie van de bodem is mogelijk als het percentage lucht in de bodem meer bedraagt dan 10 à 15% (Wesseling, 1957).
- **WATER** is het medium waaruit een plant voor 70 - 80% bestaat. Een veelvoud van deze hoeveelheid is jaarlijks echter nodig voor de transpiratie van de planten. Met de vochtstroom worden verder de voedingsstoffen door de plant verplaatst.
Om in droge gebieden aan water te kunnen komen, blijken diverse plantesoorten tientallen meters diep te wortelen. In dergelijke gebieden komen echter eveneens soorten voor die wel een uitgebreid wortelstelsel hebben, maar zeer ondiep wortelen. Daarmee kan dan zoveel mogelijk van de neerslag worden opgenomen.
- **VOEDINGSSTOFFEN** zijn nodig voor de opbouw van een plant. Deze voedingsstoffen kunnen met het water worden aangevoerd of kunnen door omzettingsprocessen in de bodem zelf worden gevormd. Een belangrijke bron vormen de excreties van wortels en afgestorven wortelresten. Ook komen er door inspoeling via het strooisel mineralen terug in het profiel.
- **WARMTE** is een belangrijke groeifactor. Een zekere bodemwarmte is niet alleen onontbeerlijk voor een goede kieming, maar bepaalt tevens de activiteit in de bodem. Vooral organische stof en water zijn fac-

toren die reemend werken op het warmtetransport tussen het maaiveld en de ondergrond.

- LICHT is niet van direkt belang voor de wortel, maar is wel noodzakelijk voor de assimilatie van de planten. Door dit proces is de groei van plant en wortel mogelijk. Ook voor de kieming is licht een noodzaak.

4. DE WORTELDIEPTE VAN DE PLANT ONDER OPTIMALE OMSTANDIGHEDEN

Wanneer de primaire groeifactoren geen belemmeringen opleveren, zal het wortelstelsel van de plant zich in principe optimaal kunnen ontwikkelen. Aan de hand van literatuurgegevens (zie literatuurlijst) wordt hieronder ingegaan op de dikte van de bewortelde zone van een aantal plantesoorten en vegetatietypen.

Wat betreft de dikte van de bewortelde zone zijn meerdere begrippen in omloop. Er worden ondermeer een worteldiepte, een wortelzone, een effectieve wortelzone en een werkzame worteldiepte onderscheiden.

De worteldiepte ofwel de onderzijde van de bewortelde zone wordt ook wel totale (maximale) worteldiepte genoemd. Dit is de diepte gerekend vanaf het maaiveld, waarop nog een enkele wortel kan doordringen. Dit is derhalve geen effectieve maat die aangeeft tot welke diepte het wortelstelsel de bodem goed ontsluit. Bij de volgende begrippen wordt aan dit bezwaar tegemoet gekomen, hoewel ook daarbij het niet bekend is of de onttrekking van bodemvocht uit die zone representatief is voor de werkelijk onttrekking. Zo omvat de wortelzone, gerekend vanaf het maaiveld, 90% van de werkzame (haar-)wortels. BUTIJN (1958) was degene die dit begrip introduceerde. Volgens RIJTEMA (1971) is de dikte van de wortelzone waarbinnen 80% van de wortels aanwezig zijn een betere maat voor de wortelzone. Hij noemde deze laag de effectieve wortelzone. Er wordt verondersteld, dat er binnen de wortelzone een goed en homogeen contact is tussen de wortels en de bodem.

Een volgend begrip is de werkzame worteldiepte. Volgens VAN DER SCHAAF (1955), die dit begrip introduceerde, is dit de diepte waarop het aantal wortels snel afneemt tot nagenoeg niets.

De grenzen tussen de wortelzone, de werkzame diepte en vaak ook de effectieve wortelzone zullen meestal dichtbij elkaar liggen. Deze grenzen zijn pas na uitvoerig onderzoek vast te stellen. In de praktijk zal echter blijken dat er vaak andere, secundaire, factoren zijn die de diepte van de wortels bepalen en maken dat de bovengenoemde grenzen samenvallen. Dergelijke secundaire groeifactoren komen in het volgende hoofdstuk ter sprake.

Aangezien de bekende diktes van (effectieve) wortelzones in de meeste gevallen slechts globaal bekend zijn en de wortelzone en de

effectieve wortelzone in de meeste gevallen dicht bij elkaar zullen liggen, is in de rest van dit hoofdstuk voor de afzonderlijke soorten en vegetatietypen een diepte aangegeven die tussen de wortelzone en de effectieve wortelzone in ligt. Dit zijn dan wortelzones die onder optimale omstandigheden aangetroffen kunnen worden. Aangezien slechts van een beperkt aantal soorten de dikte van de wortelzone bekend is, vindt de bespreking ervan gedeeltelijk aan de hand van vegetatie-groepen plaats. Voor de kruidachtige vegetaties vormen de diktes van de wortelzone van een aantal soorten grassen, russen en cypergrassen hiertoe het uitgangspunt. In veel gevallen blijkt namelijk dat de dikte van de wortelzone van een plant in veel gevallen gekoppeld is aan het type groeiplaats van die soort. Soorten die een afwijkende wortelzone hebben, maar wel een vergelijkbare groeiplaats worden hierbij in zekere zin verwaarloosd. Pas indien van alle soorten de dikte van de wortelzone bekend zou zijn, kan hier rekening mee worden gehouden. In dat geval zal ook de berekening van de onttrekking van bodemvocht uit de wortelzone hieraan aangepast dienen te worden.

Van grasachtige plantesoorten wordt ten onrechte vaak verondersteld dat het oppervlaktewortelaars zijn. Voor veel soorten die in (natte) schrale graslanden kunnen worden aangetroffen geldt dit wel. Erg ondiep wortelen soorten als *Cynosurus cristatus* (Kamgras), *Anthoxanthum odoratum* (Reukgras), *Poa trivialis* (Ruwbeemdgras), *Agrostis cinina* (Kruipend Struisgras), *Juncus squarrosus* (Trekgras), *Juncus articulatus* (Zomprus), *Luzula campestris* (Gewone Veldbies) en *Carex panicea* (Blauwe Zegge). Deze soorten hebben een wortelzone die niet dieper is dan 20 cm.

Een volgende groep heeft een wortelzone met een dikte van rond de 30 cm. Hiertoe behoren soorten als *Festuca rubra* (Rood Zwenkgras), *Briza media* (Beverdjes), *Bromus racemosus* (Trosdravik), *Poa palustris* (Moerasbeemdgras), *Agrostis stolonifera* (Fioringras), *Poa pratensis* (Veldbeemdgras), *Agrostis tenuis* (Gewoon Struisgras), *Juncus gerardii* (Zilte Rus), *Eriophorum vaginatum* (Eenaarig Wollegras) en *Carex nigra* (Gewone Zegge).

Als *Molinia caerulea* (Pijpestrootje) niet domineert en/of geen duidelijke pollen vormt, is de wortelzone ook niet dikker dan zo'n 30 cm.

Een wortelzone met een dikte van ongeveer 50 cm hebben veel soorten die vaak in cultuurgraslanden kunnen worden aangetroffen. Enkele kenmerkende soorten uit deze groep zijn: *Lolium multiflorum* (Italiaans Raaigras), *Elytrigia repens* (Kweek), *Avena factua* (Oot), *Lolium perenne*

(Engels Raaigras), *Dactylis glomerata* (Kroopaar), *Holcus lanatus* (Echte Witbol), *Phleum pratense* (Timotheegras), *Alopecurus pratensis* (Grote Vossestaart), *Nardus stricta* (Borstelgras), *Juncus effusus* (Pitrus), *Carex hirta* (Ruige Zegge) en *Carex disticha* (Tweerijige zegge).

Tot de soorten die diep kunnen wortelen en waarvan de wortelzone een dikte van rond de 80 cm heeft, behoren *Bromus mollis* (Zachte Dravik), *Arrhenatherum elatius* (Frans Raaigras) en *Deschampsia cespitosa* (Ruwe Smele). Ook zijn er forse, vaak wat ruigere soorten, die een dergelijk diepe wortelzone hebben. Vaak groeien deze soorten langs greppels en slootkanten of in een moerasachtige omgeving. Hiertoe behoren soorten als *Glyceria maxima* (Liesgras), *Phalaris arundinacea* (Riegras), *Eriophorum angustifolium* (Veenpluis) en *Carex acutiformis* (Moeraszegge). Deze soorten kunnen onder anaerobe omstandigheden groeien dankzij een intern systeem van luchtkanalen. Een dergelijk systeem hebben *Molinia caerulea* (Pijpestrootje) en *Phragmites australis* (Riet) ook. Deze beide soorten hebben een wortelzone die meer dan een meter diep kan zijn.

Behalve vegetaties waarin grasachtige soorten voorkomen zijn ook de heidevelden veel voorkomende half-natuurlijke vegetatietypen. Voor een heidevegetatie waarin *Erica tetralix* (Dopheide) domineert, bedraagt de wortelzone ongeveer 25 cm en in het geval *Calluna vulgaris* (Struikheide) aspect bepalend is, kan hier circa 40 cm voor worden aangehouden.

Van struiken zijn onvoldoende gegevens bekend, maar bij bomen is het opvallend dat loofbomen over het algemeen op eenzelfde oppervlak veel intensiever wortelen dan naaldbomen. Dit zegt nog niets over de dikte van de wortelzone. Er zijn zowel diep als ondiep wortelende loofbomen en naaldbomen. De worteldiepte neemt weliswaar toe met de leeftijd van de bomen, maar bij oude exemplaren sterven de diepste wortels weer af.

Voor min of meer volgroeide bomen kan een indeling worden gemaakt in ondiep, middeldiep en diep wortelende soorten:

- De ondiep wortelende boomsoorten hebben een wortelzone met een dikte die minder is dan 0,6 m. Hiertoe horen onder andere:
Picea abies (Spar), *Pinus strobus* (Weymouthden), *Picea sitchensis* (Sitkaspar) en *Sorbus aucuparia* (Lijsterbes).
- De middeldiep wortelende boomsoorten hebben een wortelzone met een

dikte tussen de 0,6 m en 1,2 m. Voorbeelden hiervan zijn:

Larix decidua (Europese larix), *Pseudotsuga taxifolia* (Douglas),
Fagus silvatica (Beuk), *Betula pendula* (Ruwe berk), *Campinus betu-*
lus (Haagbeuk), *Quercus rubra* (Amerikaanse eik) en *Alnus incana*
(Grauwe els).

- De diep wortelende boomsoorten hebben een wortelzone met een dikte die meer is dan 1,2 m. De volgende soorten horen tot deze groep:
Abies alba (Zilverspar), *Quercus robur* (Zomereik), *Quercus petraea*
(Wintereik), *Populus tremula* (Ratelpopulier), *Alnus glutinosa*
(Zwarte els) en *Pinus silvestris* (Grove den).

5. SECUNDAIRE GROEIFACTOREN VOOR DE BEWORTELING

Er zijn een aantal factoren die de primaire groeifactoren en daarmee de beworteling negatief beïnvloeden. Ook zijn er factoren die directe invloed op de groei van de wortels hebben. Deze factoren zijn hier secundaire groeifactoren genoemd. De belangrijkste hiervan zijn ondoordringbaarheid, zuurstofgebrek, wortelconcurrentie en een te zure bodem. Hieraan kunnen verschillende oorzaken ten grondslag liggen. Te denken valt aan het klimaat c.q. de neerslag en de verdeling daarvan, het grondwaterniveau, het vochtleverend vermogen van de grond en de profielopbouw. Het zal duidelijk zijn, dat de factor die het minst diep in het profiel voorkomt, bepalend is voor de worteldiepte. Er zal in de rest van deze nota alleen op de factoren die voor de Nederlandse situatie het meest relevant zijn nader worden ingegaan.

5.1 Wortelconcurrentie

Er is een duidelijke interactie tussen de levende wortels en het lokale wortelmilieu. Ook tussen de wortels onderling is dit het geval, hoewel de wortels van planten pas in tweede instantie binnen elkaars medium groeien. In een vegetatie met meerdere soorten kunnen in principe diep en ondiep wortelende planten naast elkaar voorkomen. Bij een uitdrogende grond zal de plant met de diepste wortels in principe in het voordeel zijn. Wanneer er tijdens een dergelijke periode echter neerslag valt, zal de ondiep wortelende plants als eerste kunnen profiteren van deze aanvulling van de bodemvochtvoorraad. Dit houdt nog niet in dat de ene soort in het voordeel is ten opzichte van de andere soort, want er kunnen grote verschillen bestaan in de vochtbehoefte en in de gevoeligheid voor een vochttekort.

De wortelgroei zal als gevolg van de concurrentie van de bovengrondse delen met betrekking tot licht en van de wortels met betrekking tot vocht en voedingsstoffen in de meeste gevallen minder intensief en diep zijn dan onder meer optimale omstandigheden. Verder bestaan er ook plantesoorten die een stof kunnen produceren die de werking en/of de groei van de wortels belemmeren.

Wortelconcurrentie hoeft niet in alle gevallen negatief te zijn. Er zijn plantesoorten waarvan de wortels bepaalde stoffen kunnen uit-

scheiden die juist een stimulerende werking op de groei van de wortels hebben en er zijn ook situaties bekend waarin de wortels dieper het profiel ingedrongen waren, ondanks een dichte beworteling. In dit laatste geval waren licht en voedingsstoffen geen beperkende factoren.

De gevolgen van de wortelconcurrentie op de dikte van de wortelzone zijn moeilijk te kwantificeren. Bij een dichte opeenhoping van wortels moet er rekening mee worden gehouden, dat de wortelzone tot een kwart minder dik zal zijn, dan onder gunstige omstandigheden het geval zou zijn. In de praktijk zal echter vaak blijken, dat door de indringingsweerstand en/of anaerobie van de ondergrond de onderzijde van de wortelzone wordt bepaald.

5.2. De zuurgraad

De zuurgraad kan negatieve invloed uitoefenen op de wortelgroei. In dat geval zal er sprake zijn van een pH die lager is dan 3,5. Een dergelijk lage pH komt regelmatig voor wanneer de bodem uit veenmosveen bestaat. Verder is gliede, dat als een vrijwel afsluitende laag in veen- en vennengebieden voor kan komen, erg zuur. Dergelijke gronden komen in het oosten van Nederland voor. Ook veenkoloniale gronden kunnen erg zuur zijn.

Een lage pH heeft, vooral op minerale gronden, tot gevolg dat mangaan, aluminium en ijzer vrijkomen, waarbij het vooral aluminium is waarvan een toxische werking uitgaat.

5.3. Aeratie

Er zijn veel plantesoorten die (korte) perioden waarin anaerobie optreedt, met name als deze in het voorjaar vallen, zonder schadelijke gevolgen kunnen doorstaan. Tot deze conclusie komen FEDDES e.a. (1978) naar aanleiding van eigen onderzoek en aan de hand van literatuurgegevens. Bij langere perioden waarin zuurstofloosheid in de wortelzone optreedt, sterven veel plantewortels af. Verder zijn er plantesoorten die wel met hun wortels tot in het grondwater kunnen groeien. Dit zijn enerzijds soorten die een intern vatenstelsel hebben, waardoor diffusie

en uitwisseling van lucht mogelijk is en anderzijds zijn er soorten zoals *Alnus* (Els), die zonder dergelijke aanpassingen met hun wortels in zuurstofrijk (en fluctuerend) grondwater kunnen groeien.

De meeste plantesoorten kunnen echter slecht tegen wat langere anaerobe omstandigheden in het wortelmilieu. Vooral bij alle niet zandige gronden komen dergelijke situaties voor. De anaërobie die vaak bij klei- en leemgronden voorkomt, betreft niet alleen laaggelegen gronden met een hoge grondwaterstand, maar ook een geringe doorlatendheid of een geringe waterberging maken dat de ondergrond van deze gronden vrijwel anaeroob kan zijn. In jaren met veel neerslag zal de vegetatie op dergelijke gronden minder diep wortelen. Bij een daling van het grondwaterniveau neemt weliswaar de hoeveelheid lucht in de bodem toe, maar dit houdt tevens in, dat in de meeste gevallen ook de weerstand toeneemt. De wortels groeien dan vaak wel in zekere mate het grondwater achterna. Het gevaar bestaat dan echter, dat als gevolg van een natte periode het grondwater stijgt en de diepere wortels vervolgens afsterven.

Door HOUBEN (1979) wordt in een overzicht aangegeven dat bij enkele veen- en kleigronden beworteling tot de zomergrondwaterstand kan optreden. Dit is de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG). Voor de berekening van de GLG en de indeling in grondwaterstandsklassen wordt verwezen naar een artikel van VAN DER SLUIS (1982). Aangezien de onderzijde van de wortelzone niet vaak door zal dringen tot het GLG-niveau lijkt een gemiddelde diepte van het grondwater gedurende het groeiseizoen hier een betere maat voor. Dit impliceert dat de wortelzone dieper reikt dan de Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en de wortels dus gemiddeld een periode in het voorjaar in het grondwater doorbrengen. Een dergelijke gemiddelde periode kan uit meerdere kortere perioden bestaan.

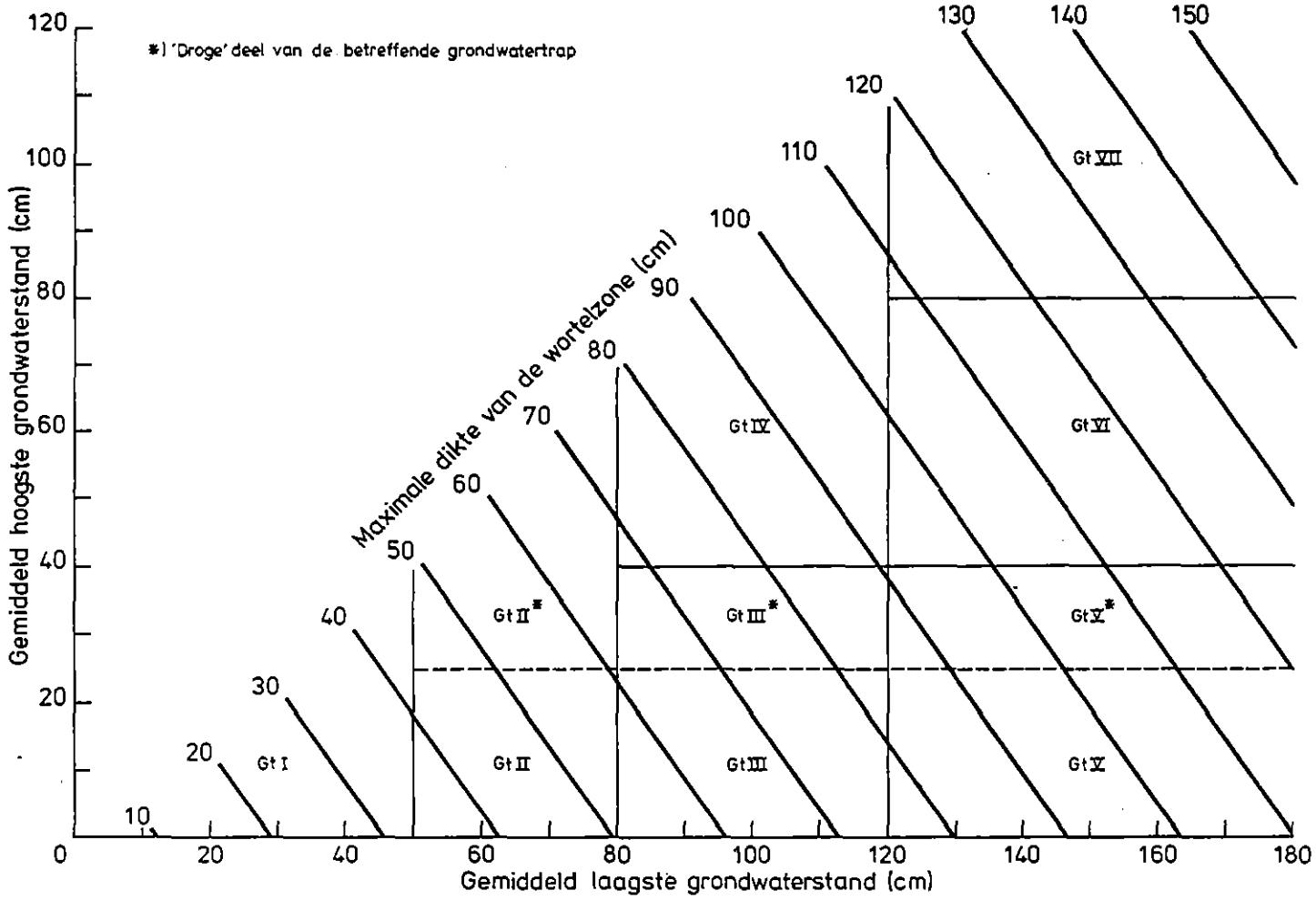
Indien, tot er betere gegevens beschikbaar zijn, wordt verondersteld dat de dikte van de wortelzone als gevolg van de aanwezigheid van grondwater het gemiddelde is van de GVG en de GLG kan deze berekend worden. VAN DER SLUIS (1982) geeft aan hoe de GVG uit de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en de GLG berekend kan worden:

$$GVG = 5,4 + 0,83 GHG + 0,19 GLG \quad (1)$$

Hieruit kan dan de dikte van de wortelzone bepaald worden:

Dikte wortelzone = 2,7 + 0,415 GHG + 0,595 GLG (2)

In figuur 1 is deze relatie grafisch uitgezet. Tevens zijn in dit figuur de grenzen van de verschillende grondwatertrappen opgenomen.



Figuur 1. De dikte van de wortelzone in afhankelijkheid van de Gemiddeld Hoogste en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand.

De laag direkt boven het grondwater is voor veel soorten eveneens te anaeroob om in te kunnen wortelen en dient dus in mindering gebracht te worden op de worteldiepte die met bovenstaande formule c.q. met behulp van figuur 1 is bepaald. De dikte van deze laag is sterk afhankelijk van de grondsoort. Voor de berekening van de dikte van deze laag is, uitgaande van een evenwichtsvochtsituatie, gekeken hoe hoog boven het grondwater (aan het begin van het groeiseizoen) het gehalte aan lucht samen met het luchtgehalte aan het einde van het groeiseizoen een gemiddelde van 10% oplevert. Hierbij is er van uitgegaan dat het een 'normaal' groeiseizoen betreft en dat de vegetatie zodanig op de waterhuishouding is afgestemd, dat de planten over voldoende vocht beschikken om potentieel te kunnen blijven transpireren. De potentiaal van het bodemvocht zal dan minimaal circa -500 cm bedragen. Rond deze waarde zijn voor diverse soorten de grenswaarden aangetroffen, waarbeneden de transpiratie reduceert (JANSEN, 1977; DE GRAAF, 1982). Op grond van deze benadering bleek dat zand en veen geen correctie behoeven, maar dat de wortelzone in zavel en klei minder dik zijn. Voor zavel is dit circa 20 cm en voor zware klei is dit meer dan 50 cm. Hierbij dient echter bedacht te worden, dat door uitdroging scheurvorming in de klei op kan treden, waardoor bovenstaande redenering niet meer opgaat.

5.4. Indringingsweerstand

Eén van de belangrijkste factoren die in Nederland bepalend is voor de worteldiepte is de te grote weerstand van sommige lagen die in zand-, veen- en leemgronden kunnen voorkomen. De kritieke weerstand waarboven geen wortelgroei meer mogelijk is, bedraagt ongeveer 3 mPa. De groeisnelheid neemt af naarmate deze weerstand bereikt wordt. De wortels bereiken dan wel een wat grotere diepte dan in het geval eenzelfde weerstand abrupt optreedt.

De minerale ondergrond van zand en leem hebben in alle gevallen een dermate dichte pakking, dat dit tevens de grens voor de beworteling is. Dit kan eveneens het geval zijn met de inspoelingslaag van veldpodzol- en leemgronden, indien deze laag als gevolg van verkitting vrijwel ondoorlatend is geworden.

Bij een aantal typen veengrond is het de laagsgewijze opbouw die de wortelontwikkeling remt.

Klei- en zavelgronden zijn vrij plastisch en hebben over het algemeen een lage indringingsweerstand. Bij kleigronden werkt in een paar gevallen de structuur belemmerend op de wortelgroei. Behalve in het geval er een laag met een hoge weerstand in de ondergrond aanwezig is, zijn zavelgronden goed doorwortelbaar.

Door HOUBEN (1979) is een overzicht samengesteld waarin voor een groot aantal bodemtypen de belangrijkste beperkingen voor de wortelgroei zijn opgenomen. Dit overzicht is aangevuld met andere gegevens en is hier als tabel 1 opgenomen.

Tabel 1. Overzicht van een aantal bodemtypen en de beperkingen, de beperkingen voor de wortelgroei en de dikte van de wortelzone (vnl. naar HOUBEN, 1979).

| Grondsoort + Bodemtype | Beperkende Factor *) | Grens Beworteling | Max. Dikte Wortelzone |
|---|----------------------|--------------------|-----------------------|
| Veengronden | | | |
| bosveengronden | 1 | grondwaterstand | 50 à 70 cm |
| broekveengronden | 1 | grondwaterstand | 50 à 70 cm |
| veenmosveen | 1+3 | t/m verweerde laag | 30 à 50 cm |
| idem met veenkol.dek | 1+3 | t/m verweerde laag | 20 à 30 cm |
| zeggeveen | 1 | t/m verweerde laag | 30 à 50 cm |
| rietveen | 1 | t/m verweerde laag | 30 à 50 cm |
| vlietveen | 1+2 | t/m verweerde laag | 15 à 30 cm |
| vlierveen | 1+2 | t/m verweerde laag | 15 à 30 cm |
| Podzolgronden | | | |
| holtpodzol | 2(+4) | tot C-horizont | 40 à 100 cm |
| horstpodzol | 2(+4) | tot C-horizont | 40 à 100 cm |
| veldpodzol | 2(+4) | tot C-horizont | 30 à 70 cm |
| haarpodzol**) | 2(+4) | tot C-horizont | 30 à 50 cm |
| - storende (verkitte) lagen, de B-horizont, zijn tevens de grens voor de beworteling | | | |
| - podzolgronden met een moerige bovengrond hebben een worteldiepte die 10 à 20 cm groter is | | | |
| Brikgronden | | | |
| zandige leembrik | 1+2 | | circa 70 cm |
| siltige leembrik | (1+2+4) | | - |

| Grondsoort + Bodemtype | Beperkende Factor *) | Grens Beworteling | Max. Dikte Wortelzone |
|--|----------------------|-------------------|-----------------------|
| kuilbrik | 1(+2) | | 40 à 100 cm |
| daalbrik | 1(+2) | | 40 à 100 cm |
| kleibrik | 4 | | 60 à 120 cm |
| zandbrik | 4 | | 60 à 120 cm |
| Eerdgronden | | | |
| hoge enkeerd | 2 | tot C-horizont | 70 à 150 cm |
| lage enkeerd | 2 | tot C-horizont | 60 à 90 cm |
| Kalkloze zandgronden | | | |
| beekeerd***) | 2 | tot C-horizont | 20 à 40 cm |
| gooreerd***) | 2 | tot C-horizont | 20 à 40 cm |
| vlakvaag***) | 2 | tot C-horizont | 20 à 40 cm |
| Kalkhoudende zandgronden | | | |
| - voor profielopbouw met kleiarm zand: zie kalkloze gronden | | | |
| kleiïg zand | 1+2 | | 40 à 60 cm |
| Kleigronden | | | |
| zee- en rivierklei | 1 | grondwaterstand | 30 à 200 cm |
| Zavelgronden | | | |
| licht en zwaar | 1+4 | | 40 à 80 cm |
| Leemgronden | | | |
| zandig leem | (1+2) | | 40 à 70 cm |
| siltig leem,kalkloos | (1+2) | | 50 à 80 cm |
| siltig leem,kalkrijk | (1+2) | | 100 à 120 cm |
| Een moerige bovengrond en moerige tussenlagen zijn goed doorwortelbaar. Voor de ondergrond zie de andere gronden. | | | |

- *) 1 aeratie
 2 weerstand
 3 pH
 4 vaak een laag met een hoge weerstand aanwezig

**) bos kan dieper wortelen

***) indien ijzerhuidjes aanwezig zijn, is een diepere beworteling mogelijk tot 40 à 80 cm. Bomen kunnen nog dieper wortelen.

6. LITERATUUR

- Butijn, J. 1958. Betekenis van bewortelingsopnamen in de fruitteelt. Med. Dir. Tuinbouw. 21: 622-631.
- Feddes, R.A., P.J. Kowalik and H. Zaradny, 1978. Simulation of field water use and crop yield. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen. 189 p.
- Graaf, M. de, 1982. Toepassingen van het niet-stationaire model SWATRE op enkele veenkoloniale profielen. Nota 1354, ICW, Wageningen.
- Houben, J.M.M.Th., 1979, Bodemgesteldheid en diepte van beworteling. Rapport nr. 1459. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. 45 p.
- Jansen, P.C. en R.H. Kemmers, 1977. Onderzoek naar de relatie vegetatie-waterhuishouding in het komgrondenreservaat Tielerswaard-West. Deelrapport 2: Berekening van enkele hydrologische grootheden. Nota 1143. ICW, Wageningen 41 p.
- Köstler, J.N., E. Brückner, H. Biebelriether, 1968. Die Wurzeln der Waldbäume. Untersuchungen zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- Kutschera, L., 1960. Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. DLG-Verlags-GMB. Frankfurt am Main. 574 p.
- Kutschera, L. und E. Lichtenegger, 1982. Wurzelatlas mitteleuropäischer Grünlandpflanzen. Band I. Monocotyledoneae. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, New York. 516 p.
- Rijtema, P.E., 1971. Een berekeningsmethode voor de benadering van de landbouwschade ten gevolge van grondwateronttrekking. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. Versl. Landbouwkundig Onderzoek 61. 7: 57-71.
- Schaaf, D. van der, 1955. Beworteling van de grasmat in het randgebied van de Noordoostpolder. In: Wortelgroei in gronden bestaande uit een bovengrond van klei en een ondergrond van zand. (M.A.J. Goedewaagen, e.a.) Versl. Landbouwk. Onderz. 61.7: 57-71.
- Sluis, P. vander, 1982. De grondwatertrap als karakteristiek van het grondwaterstandsverloop. H2O, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling 15. 3: 42-46.
- Wesseling, J., 1957. Enige aspecten van de waterbeheersing in landbouwgronden. Versl. Landbouwkundig Onderzoek 63: 5 p.
- Wiersum, L.K. en A. Reijmerink, A. 1980. Beworteling. Syllabus no. 16, Cursus Bodemkunde 1980/1981. Ministerie van Landbouw en Visserij, afdeling Scholing. 45 p.