

Dr. J. F. Bierhuizen en C. Ploegman

Wortelgroei en waterhuishouding

Overdruk uit Mededelingen Directeur van de Tuinbouw **21**, 1958 : 484—490

Dr. J. F. Bierhuizen en C. Ploegman,
Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen

Wortelgroei en waterhuishouding

Een slechte ontwikkeling van het wortelstelsel veroorzaakt dikwijls een lage opbrengst van het gewas. Studie van de wortelgroei en de factoren welke deze groei kunnen beïnvloeden, is daarom van groot belang. Veel onderzoek verrichte Goedewaagen [1] bij landbouwgewassen. Later bepaalde Van Lieshout [3] de top-wortelverhouding van diverse landbouwgewassen; hij bestudeerde ook het effect van de vochtvoorziening op de top-wortelverhouding bij haver [4]. In Nederland is ook de invloed van bemesting, dichtheid van het bodemprofiel en grondwaterstand op de wortelgroei onderzocht [5, 9]. Hierbij werd meestal gebruik gemaakt van het wortelgewicht, bepaald uit grondmonsters, of van de spijkerplankmethode (Goedewaagen [2]). De resultaten vormen een beeld van de horizontale en verticale spreiding van het wortelstelsel. Door periodieke waarnemingen wordt tevens een inzicht in het groeiproces van de wortel verkregen.

De gepubliceerde gegevens over de plantewortel hebben voornamelijk betrekking op landbouwgewassen. In het volgende echter zullen enkele wortelbeelden van tuinbouwgewassen worden weergegeven waaruit onder andere de invloed van de grondsoort en de vochtvoorziening van de plant blijkt. De proeven werden uitgevoerd met behulp van een spijkerplank en in bakken voorzien van een glazen wand om bovendien de dagelijkse groei van de wortel te kunnen bestuderen.

Methode van onderzoek

De wortelgroei werd gemeten in houten bakken van $50 \times 50 \times 70$ cm. Eén zijwand was vervangen door een glasplaat van 1 cm dikte en afgedekt met board om remming van de wortelgroei door het zonlicht tegen te gaan (Rogers [8]). De bakken waren gevuld met een laag van 5 cm grind, 5 cm rivierzand en een teeltlaag van ± 60 cm lichte humusrijke kleigrond uit Wijk bij Duurstede of zandgrond uit de 'Eng' bij Wageningen. De plaats van elke worteltop werd dagelijks met Oostindische inkt op de glaswand aangegeven en de groei met een meetlatje bepaald. Vanwege de grote variatie in groei tussen de verschillende worteltoppen was een zo groot mogelijk aantal metingen (10–20) per bak noodzakelijk. Op verschillende tijdstippen werden foto's gemaakt. Bovendien verkreeg men aan het einde van een groeiperiode wortelbeelden door uitgraven met behulp van een spijkerplank.

Het vochtgehalte in de grond werd bepaald door bemonstering met een grondboortje in parallelproeven of ter plaatse door weerstandsmetingen met nylonelamenten.

De grondwaterstand kon op elk niveau tot een diepte van 60 cm worden gehandhaafd met behulp van een Mariottebuis. Deze werd via een rubber slang verbonden met een opening aan de onderzijde van de pot. De Mariottebuis was zodanig

gekalibreerd dat het waterverbruik tot op 0,05 mm nauwkeurig kon worden afgelezen.

De proeven werden in een onverwarmde kas uitgevoerd. Voor de bemesting werd een mengmeststof gebruikt, aangepast aan de behoefte van het gewas. De watervoorziening werd met druppeldoppen geregeld. Het verloop van de luchtvochtigheid en de temperatuur werd dagelijks geregistreerd.

Resultaten

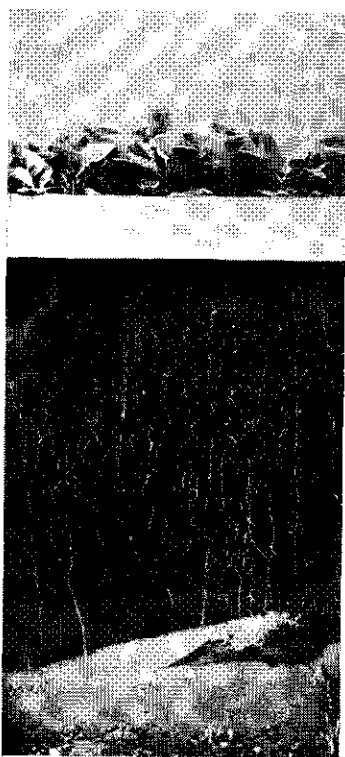
De beworteling gaf meestal een sterk variërend

beeld te zien, afhankelijk onder andere van het gewas, de grondsoort, de vochtspanning en de grondwaterstand.

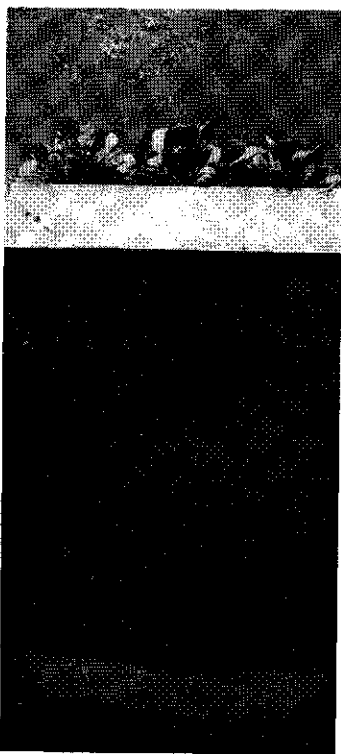
Het gewas

Bij *radijs* groeide de hoofdwortel direct na het zaaien zeer snel tot een grote diepte. In een later stadium werden zijwortels gevormd, welke een regelmatige spreiding vertoonden. Daarna werd een snelle zijwortelgroei waargenomen, waardoor 66 dagen na zaaidatum een vrijwel gesloten door-

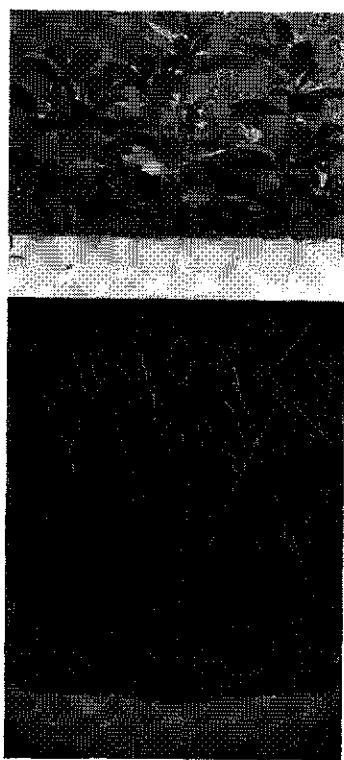
Figuur 1. De wortelontwikkeling in klei van: *a.* radijs, 66 dagen na zaaidatum, *b.* spinazie, 68 dagen na zaaidatum, *c.* tuinboon, 65 dagen na plantdatum



1a



1b



1c

worteling van het bodemprofiel tot ± 60 cm ontstond (figuur 1a). Bij *spinazie* groeide de hoofdwortel minder diep. De zijwortels vertoonden een onregelmatige spreiding; de wortelzone bereikte slechts een diepte van ± 40 cm. Van een gesloten doorworteling van het bodemprofiel tot 40 cm was echter geen sprake (figuur 1b). De genoemde gewassen werden, evenals in de praktijk, ter plaatse gezaaid.

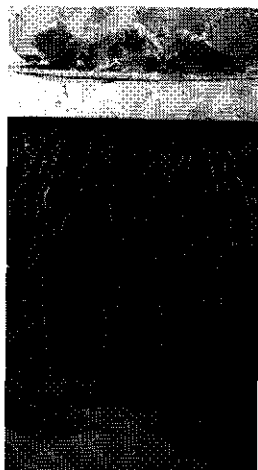
Eveneens werd het verloop van de wortelgroei nagegaan van gewassen na verplanting. Bij *tuinboon* werd als gevolg van het verplanten geen hoofdwortel waargenomen. Er ontstonden bij de wortelhals veel zijwortels met vrij regelmatige spreiding, die zich tijdens de verdere groei weinig vertakten (figuur 1c). De wortelzone vertoonde geen gesloten doorworteling en bereikte een diepte van ± 55 cm. Ook bij *kropsla* (fig. 2) en *tomaat* werd een sterke ontwikkeling van het wortelstelsel zonder hoofdwortel waargenomen. Bij *tomaat* was de zijwortelspreiding onregelmatiger en de doorworteling van het bodemprofiel meer gesloten dan bij *sla*.

De grondsoort

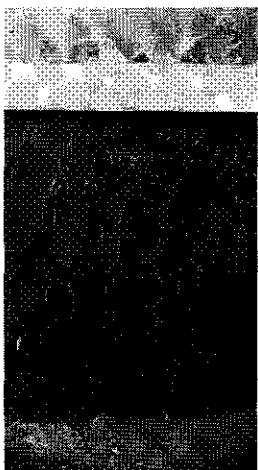
De beworteling van verschillende gewassen werd zowel in klei als in zand nader bestudeerd. Bij *kropsla* werd in beide grondsoorten een goede zijwortelontwikkeling waargenomen (figuur 2a en b, diepte van de wortelzone ± 60 cm). Over het algemeen was de diepte van de wortelzone in zand geringer en de vertakking minder regelmatig. Het profiel vertoonde in de bovenste zone een gesloten doorworteling; bij de oogst zelfs tot 60 cm. De opbrengst van sla aan vers gewicht was in zand 20 % lager dan in klei.

In vergelijking met *tomaat* in klei werd bij tomat in zand een meer onregelmatige doch zeer goed gesloten doorworteling van het profiel tot een diepte van ten minste 65 cm waargenomen. Ook in de daaronder liggende zand- en grindlaag werden nog wortelresten van de tomat gevonden. De

2a



2b



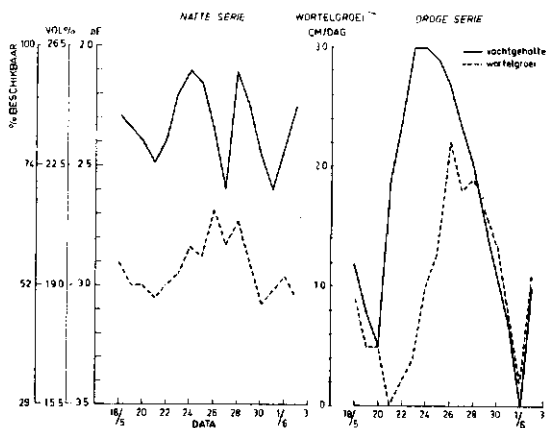
Figuur 2. De wortelontwikkeling van kropsla, 54 dagen na plantdatum: a. in klei, b. in zand

wortels in klei drongen eveneens door deze lagen heen. In de praktijk wordt vele malen een verdikking van de worteltop en een stilstand van de groei geconstateerd bij overgang van klei op zand [9]. Door de losse structuur en de geringe dikte van de zand- en grindlagen in de wortelbakken werd deze stilstand en verdikking hier echter niet waargenomen. De opbrengst van de *tomaat* in zand was ± 25 % lager dan in klei.

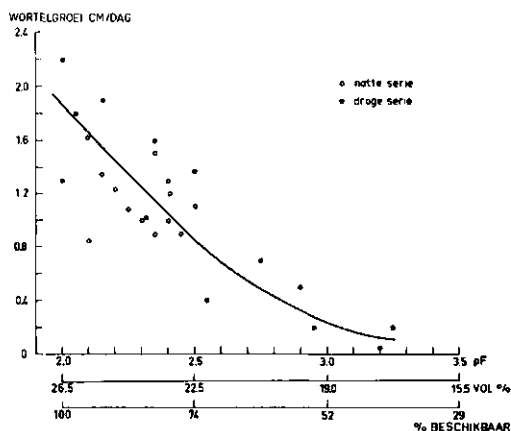
Over het algemeen werd bij de tuinbouwgewassen in zand een meer gesloten beworteling van fijnere structuur waargenomen. Dit ging met lagere opbrengsten gepaard; deze kunnen echter toegeschreven worden aan de geringere vruchtbaarheid van de zandgrond. In verband met de proefopzet was een organische bemesting ter verhoging van de vruchtbaarheid niet mogelijk.

Vochtspanning

Voor de groei van de plantewortel is onder andere een goede water- en luchthuishouding noodzakelijk. Optimale groeiomstandigheden hiervoor zijn echter moeilijk aan te geven, omdat het vochtvolume en de hoeveelheid lucht in de grond met elkaar in verband staan; toeneming van het ene heeft een vermindering van het ander tot gevolg. Bovendien is het niet mogelijk gedurende een



Figuur 3. Het verloop van de wortelgroei (cm/dag) en de vochttoestand in de grond (pF, vochtgehalte in vol. % en beschikbare hoeveelheid water) van een natte en een droge serie bij de stamboom var. Servus in klei



Figuur 4. Het effect van de vochttoestand in de grond (pF, vochtgehalte in vol. % en beschikbare hoeveelheid water) op de snelheid van de wortelgroei in cm/dag bij stamboom var. Servus in klei

zekere tijd een bepaalde vochtspanning in de grond te handhaven. Daarom werd het verloop van de vochtspanning en de dagelijkse groei van de wortel gemeten in wortelbakken om aldus het effect van de watervoorziening en eventueel van de aëratie te kunnen vaststellen.

Bij enkele tuinbouwgewassen werden proeven in twee series opgezet. De ene serie werd regelmatig berekend en op veldcapaciteit gehouden; de andere kon uitdrogen tot pF 3.5. In fig. 3 zijn de dagelijkse groeiwaarnemingen van de wortel bij *stamboom* (var. *Servus*) in klei en de vochtspanning voor de natte en de droge serie weergegeven. Er is een duidelijke overeenkomst in het verloop tussen vochtspanning en wortelgroei vooral bij uitdroging. De optima en minima echter zijn 1-3 dagen ten opzichte van elkaar verschoven. Blijkbaar moet de wortel zich aanpassen aan de verandering van de vochtspanning in de grond.

In figuur 4 is het effect van de vochtspanning op de wortelgroei in klei weergegeven, waarbij rekening is gehouden met deze aanpassing. Uit de figuur blijkt dat de wortelgroei sterk afneemt bij een toeneming van de vochtspanning en nog nauwelijks 10-15 % bedraagt bij een pF van 3.0 (vochtgehalte 19,0 vol. %; $\pm$ 50 % beschikbaar water) in vergelijking met die bij veldcapaciteit

(pF 2.0; vochtgehalte 26,5 vol. %; 100 % beschikbaar water). Onder beschikbaar water in de grond wordt verstaan de hoeveelheid water welke de plant kan opnemen tussen veldcapaciteit (pF 2.0) en verwelkingspunt (pF 4.2).

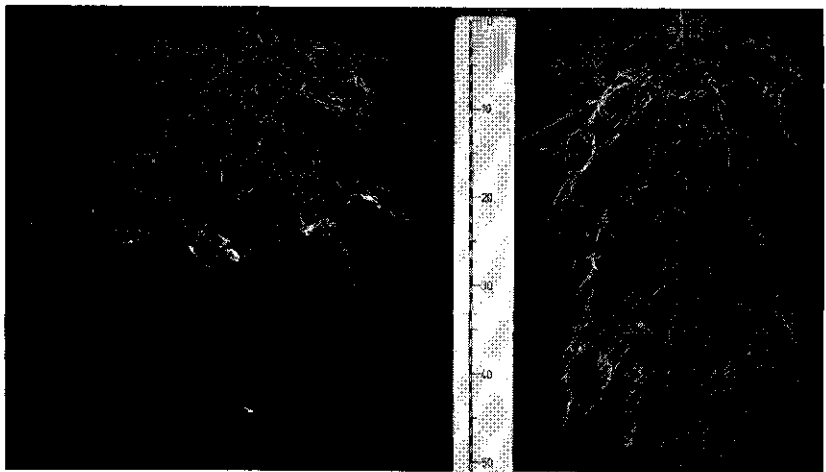
Ook bij de andere tuinbouwgewassen (*sla*, *spinazie*, *en radijs*) werd bij een zelfde proefopzet een duidelijke correlatie tussen wortelgroei en vochtspanning in de grond waargenomen (tabel 1, kolom 5). De snelheid van de wortelgroei hangt sterk af van het gewas, zowel bij een vochtige (kolom 2), als bij een droge grond (kolom 3). De procentuele groei afnemings (kolom 4) bij een pF van 3.0 (50 % beschikbaar) is voor alle gewassen zeer groot. Vooralsnog is echter niet te verklaren of de onderlinge verschillen in deze afnemings berusten op een uiteenlopende reactie van elk gewas dan wel worden veroorzaakt door systematische verschillen in de methodiek van de vochtbepaling.

Grondwaterstand

De grondwaterstandsproeven werden in klei en in zand in drievoud, op twee verschillende diepten (-30 cm en -50 cm) uitgevoerd. Bij alle wortelbeelden die zijn verkregen door middel van de spijkerplank, werd geen wortelgroei beneden het freatisch niveau waargenomen. Door de geringe

Tabel 1. Het effect van de vochtspanning in klei op de snelheid van de wortelgroei bij verschillende tuinbouwgewassen

Gewas	Groei in cm/dag		Groeiafneming in % $\frac{(2)-(3)}{(2)} \times 100$	Correlatie-coëfficiënt tussen pF en groei
	pF 2.0	pF 3.0		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Sla	3.40	1.50	56	— 0.75
Spinazie . .	2.10	1.25	40	— 0.79
Radijs . . .	2.75	0.55	80	— 0.77
Boon	1.75	0.20	89	— 0.86



Figuur 5. Het wortelstelsel van tomaat na de oogst in kleigrond bij grondwaterstand — 30 cm (links) en — 50 cm (rechts)

diepte-werkzaamheid van de beworteling bij een grondwaterstand van —30 cm waren de dichtheid en de horizontale spreiding over het algemeen groter dan bij —50 cm (figuur 5). De geringere vruchtbaarheid veroorzaakte in zand lagere opbrengsten dan in klei. Bij *kropsla* (var. *Meikoningin*) in klei en zand werd in het voorjaar 1956 bij —30 cm een 25 %

hogere opbrengst en een betere kropontwikkeling dan bij —50 cm waargenomen. In het najaar 1956 en het voorjaar 1957 daarentegen werd in een zelfde proefopzet het omgekeerde resultaat verkregen. Voorshands kan nog geen aannemelijke verklaring worden gegeven voor deze tegenstelling. Voor *radijs* (var. *Scharlaken Rode*, najaar 1956) werd een zelfde proefopzet gemaakt. Tijdens de

groei van het gewas werd ook het totale bladoppervlak periodiek gemeten. Dit was voor beide grondsoorten bij -30 cm het kleinst. Ook werd bij de hoogste grondwaterstand een opbrengstverlaging vastgesteld en wel van 30 % bij klei en 20 % bij zand. Een herhaling in klei in het voorjaar 1957 vertoonde ook een opbrengstverlaging; deze bedroeg slechts 5 à 6 %. Over het algemeen veroorzaakte de hoogste grondwaterstand (-30 cm) het hoogste percentage gescheurde knolletjes.

Ook bij *tomaat* (var. *Moneymaker*) en *spinazie* (var. *Breedblad Scherpzaad*) werd in 1957 bij de hoogste grondwaterstand een opbrengstverlaging waargenomen.

Discussie en samenvatting

Bij verschillende tuinbouwgewassen werd in potproeven de groei van de wortel in zand en klei nader bestudeerd. Daarbij werd gebruik gemaakt van een spijkerplank en bakken voorzien van een glazen wand. Ook werd het effect van de vochtspanning en van de grondwaterstand op de wortelgroei nagegaan. Bij potproeven zijn de verkregen resultaten niet altijd vergelijkbaar met die uit de praktijk. De horizontale en verticale spreiding van de wortels wordt namelijk beperkt door de potwand. Bovendien groeien de gewassen in een geïroerde grond. In het algemeen echter werd de praktijkervaring bevestigd dat gewassen met penwortel, welke als pootgoed zijn uitgeplant, geen penwortel vormen (*tuinboon*, fig. 1c; *sla*, fig. 2; *tomaat*) in tegenstelling met die welke ter plaatse gezaaid zijn (*radijs*, fig. 1a; *spinazie*, fig. 1b). Bij spinazie echter is deze penwortel minder duidelijk zichtbaar, doordat niet vlak tegen de glaswand is gezaaid. De beworteling is bovendien vrij ondiep (± 40 cm). Bij de andere gewassen varieerde de worteldiepte van 50 tot 70 cm. Voor deze gewassen bedroeg de groeisnelheid van de worteltoppen 1-3 cm/dag, zodat de bakken 1-2 maanden na zaaien of planten volledig doorworteld waren. In zand werd een dichtere beworteling

met fijnere structuur waargenomen dan in klei; de vertakking was groter en de diameter van de wortels kleiner.

De invloed van de vochtspanning in de grond op de snelheid van de wortelgroei is zeer groot (tabel 1). Bij de boon werd zelfs een afneming van ± 90 % geconstateerd bij een vochtgehalte, waarbij de planten nog 50 % van de totale hoeveelheid beschikbaar water konden opnemen. Door Rogers [7] werd ook bij vruchtbomen een sterke vermindering van de wortelgroei bij uitdroging geconstateerd. De sterke afneming van de wortelgroei bij een toeneming van de vochtspanning in de grond is in schijnbare tegenspraak met de diepere beworteling, welke doorgaans in droge zomers bij gewassen wordt geconstateerd. In het voorjaar is de grond tot in diepere lagen op veldcapaciteit. De benedenwaartse groei van de worteltop vindt steeds plaats in een vochtige omgeving. Intussen zal in de bovenliggende zone de grond door waterafgifte aan de wortels uitdrogen en de snelheid van de wortelgroei in deze zone afnemen. Waarschijnlijk wordt in deze situatie de wortelgroei naar beneden gestimuleerd, vooral in droge zomers bij sterke uitdroging van de bovengrond. Berekening kan deze stimulering verminderen, waardoor een meer oppervlakkige beworteling optreedt. Dit laatste is ook vele malen in de praktijk geconstateerd, terwijl onder andere bij de boon in potproeven na uitdroging een diepere beworteling werd waargenomen.

Men kan zich afvragen of berekening bij tuinbouwgewassen in het voorjaar (eerste teelt) succes zal opleveren. Waarschijnlijk wordt een diepe beworteling afgeremd, zodat de plant een kleiner grondvolume ter beschikking heeft.

De plant heeft bij een beschikbare hoeveelheid water in de grond van 10 tot 20 vol. % en een snelheid van de wortelgroei van bijvoorbeeld 2 cm/dag, 2-4 mm water per dag extra ter beschikking. Deze hoeveelheid zal in het voorjaar waarschijnlijk voldoende zijn om de waterbehoefte van

een eerste teelt te dekken. Bij een tweede teelt in de zomer echter zal bij een hogere vochtspanning in de grond de wortelgroei sterk verminderen en misschien het tiende gedeelte bedragen van die in het voorjaar. Berekening zal dan wel degelijk zin hebben, vooral als daardoor de grond tot op grote diepte op veldcapaciteit wordt gebracht. Bij proeven met berekening [10] is dan ook vele malen een opbrengstverhoging, vooral bij een tweede teelt geconstateerd. Wel moet worden opgemerkt, dat de temperatuur in de grond zowel de wortelgroei als de opneming van water beïnvloedt. Bij een eerste teelt kunnen ook andere factoren, onder andere de vermindering van de wortelgroei tijdens de bloei en vruchtzetting van een gewas [6], berekening noodzakelijk maken.

In het bovenstaande is de invloed van een grondwaterstand buiten beschouwing gelaten. Daarom werden proeven met verschillende grondwaterstanden uitgevoerd. Hierbij zijn geen wortels onder het freatisch niveau waargenomen. De wortelzone reikte steeds tot dit niveau, hetgeen een bevestiging is van andere onderzoeken. Door de ondiepe beworteling bij een hoge grondwaterstand is de horizontale spreiding van het wortelstelsel groter.

Summary

Root growth and water management

The root development in relation to soil type, moisture tension and ground water level has been studied of some vegetables (radish, lettuce, broad beans, tomatoes and spinach), grown in pots in a greenhouse. In sandy soil the root habit has a finer structure and is more branched than in clay soil. In all the plants studied, except spinach, the roots reach a depth varying from 50 to 70 cm. In spinach the root depth is shallower. The availability of soil moisture has a remarkable effect on root growth. At a pF 3.0, which corresponds with 50 % available water, the growth rate of bean roots was 90 % lower than at field capacity (pF 2.0). Comparable effects were observed in the other species.

The reduction in root growth under low moisture content does agree with the fact that roots penetrate deeper in a dry summer, reaching for more humid layers. Sprinkling gives a greater branching of the roots in the upper soil layer, resulting in a shallower root depth. Roots do not penetrate deeper than the water table. A more horizontal extension of the roots was observed, in particular with relatively high water tables.

Literatuur

1. Goedewaagen, M. A. J.: *Het wortelstelsel der landbouwgewassen*. Algemene Landsdrukkerij, 's-Gravenhage, (1942), 173 pp.
2. Goedewaagen, M. A. J.: *Een en ander over de methodiek van het wortelonderzoek op bouw- en grasland*. Maandbl. Landbouwvoorl. 6 (1949): 194-200.
3. Lieshout, J. W. van: *De beworteling van een aantal landbouwgewassen*. Versl. Landb. Onderz., 62 (1956), 46 pp.
4. Lieshout, J. W. van: *De wortelontwikkeling van haver in jeugd stadium bij verschillende vocht- en voedingstoestand van de grond*. Landbouwk. Tijdschr. 69 (1957): 317-326.
5. *De plantenwortel in de landbouw*. Staatsdr.- en Uitg. 's-Gravenhage (1955), 204 pp.
6. *Jaarverslag 1956*. Proefstation voor de groente- en fruitteelt onder glas te Naaldwijk. 168 pp.
7. Rogers, W. S.: *Apple root growth in relation to rootstock soil, seasonal and climatic factors*. Root Studies VIII. Journ. of Pomol. 17 (1939): 99-131.
8. Rogers, W. S.: *The effect of light on growing apple roots: a trial with root observation boxes*. Root Studies IX. Journ. of Pomol. 17 (1939): 131-141.
9. *Wortelgroei in gronden bestaande uit een bovengrond van klei en een ondergrond van zand*. Versl. Landb. Onderz., 61 (1955), 137 pp.
10. Witte, K.: *Klimatologische, pflanzenphysiologische und technische Probleme der Berechnung*. Schriftenreihe des Kuratoriums für Kulturbauwesen. 3 (1954), 203 pp.