

J. J. Schuurman en J. J. H. de Boer

Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren (Gr.)

De invloed van de dichtheid van zandgrond op de wortel- en spruitgroei bij haver

with a summary

Influence of density of sandy soil on root and
top growth of oats



1971 *Centrum voor landbouwpublikaties en landbouwdocumentatie*
Wageningen

ISBN 90 220 0332 9

© Centrum voor Landbouwpublicaties en Landbouwdocumentatie, Wageningen, 1971.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotocopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

No part of this book may be reported and/or published in any form by print, photoprint, microfilm or any other means without written permission from the publishers.

Abstract

SCHUURMAN, J. J. & BOER, J. J. H. DE (1971) De invloed van de dichtheid van zandgrond op de wortel- en spruitgroei bij haver (Influence of density of sandy soil on root and top growth of oats) Versl. landbouwk. Onderz. 751, pp. 26, 5 Tbs. 12 Figs. Eng. summary. ISBN 90 220 0332 9

In five profiles, growth of oat roots depended closely on soil density, especially of subsoil. Root weight was highest in the loose profile and decreased in the order loose top soil on dense subsoil, dense soil, loose top soil on very dense subsoil, dense top soil on very dense subsoil. These differences were paralleled by differences in rooting depth and numbers of nodal roots.

The differences in root mass were paralleled by differences in root weights in the same sequence of profiles. Shoot length and numbers of tillers varied with shoot weight. Percentage dry matter in shoots was highest from profiles with very dense subsoil, lower with dense subsoil and lowest with the loose profile.

The differences from the loose profile in root development in the other four profiles originated 1 or 2 weeks earlier than differences in the shoots, suggesting that changes in shoots are a consequence of changes in roots.

Inhoud

1 Inleiding	1
2 Materialen en methoden	3
3 Verzamelde gegevens	6
3.1 De temperaturen	6
3.2 Wortelontwikkeling	6
3.3 Groei van de bovengrondse delen	15
4 Het verband tussen wortel- en spruitgroei	20
Samenvatting	22
Summary	23
Literatuur	24

1 Inleiding

In 1955 verscheen een uitvoerige publikatie met bijdragen van een aantal onderzoekers waarin de wortelgroei op gronden, bestaande uit een bovenlaag van klei en een ondergrond van zand centraal werd gesteld (Goedewaagen et al., 1955). Door Goedewaagen werd in deze publikatie een uitvoerige analyse gegeven van de factoren die oorzaken kunnen zijn van het niet indringen in het zand. Hij kwam tot de conclusie, dat gebrekkige en abnormale wortelgroei in zandige ondergrond bij voldoende ontwatering in hoofdzaak op mechanische belemmering berust.

Om de invloed van mechanische weerstand te bestuderen werd daarom een onderzoek verricht met kunstmatige profielen (Schuurman, 1965). Uit dit onderzoek — en uit andere nog niet gepubliceerde gegevens — is gebleken, dat de structuur en in het bijzonder de mechanische weerstand een grote invloed heeft op de groei van de wortels en het bovengrondse gewas.

Ook andere onderzoekers hebben zich met het verband tussen plantengroei en dichtheid van de grond bezig gehouden.

Håkansson (1965, 1966) vermeldt dat problemen samenhangende met verdichting van de grond van groot belang zijn voor de Zweedse landbouw en dat zware verdichtingen, die slechte opbrengsten veroorzaken in Zweden, als tamelijk gewoon worden beschouwd. Murty (1965) vond dat de spruitgroei van zonnebloemen ernstig werd beïnvloed door zeer dichte grond. Middelmatic dichte grond had weinig invloed op de groei van de planten. Volgens Stranák (1968) gaf haver op chernosem de hoogste opbrengst bij volumegewichten tussen 1,53 en 1,63. Kaiser & Künze (1968) vonden dat door samendrukken van natte zandgrond de opbrengst van winterrogge verminderde. Ermich (1968) nam waar dat haver gunstig reageerde op samendrukken van humeuze gronden, maar ongunstig op die van humusarme gronden. Tindzulis (1968) ging de invloed van dichtheid van zavel na op het opkomen van zaden. Toeneming van dichtheid veroorzaakte een afneming van het percentage opgekomen planten, maar dit effect verminderde wanneer het vochtgehalte groter was. Sevljagin (1968) vond in droge streken, dat dichtere grond hogere opbrengsten gaf. De getallen voor de optimale dichtheid van 1,2-1,3 g/cm³ zijn echter — vergeleken met onze proef — juist die van losse grond. Revut (1968) vermeldt als optimale dichtheid bij zware gronden 1,2-1,3 g/cm³, bij lichte gronden 1,4-1,5 g/cm³.

Geen van de genoemde onderzoekingen gaat in op het verloop van de groei tijdens de vegetatieperiode en het moment, waarop verschillen optreden bij planten, die groeien op profielen met lagen van verschillende dichtheid.

In de hierna besproken proef is nagegaan welke verschillen optreden in de wortelstelsels en de afzonderlijke wortels als gevolg van bekende verschillen in dichtheid tussen profielen en op welk tijdstip dit gebeurt. Voorts hoe deze doorwerken in de bovengrondse groei. In verband hiermee is getracht door periodieke bemonstering een — onder de gegeven omstandigheden — zo volledig mogelijke analyse te maken van de groeiprocessen.

De proef werd verricht van 1 mei t/m 13 augustus 1962.

2 Materialen en methoden

Er werden 90 eternitbuizen gebruikt met een hoogte van 75 cm en een binnenwerkse diameter van 15 cm. De buitenkant van de buizen was vooraf met een witte chloorrubberverf bespoten om de verdamping via de buiswand te beperken en om verwarming door directe zonnestralen tegen te gaan. De buizen werden voorzien van een poreuze nylonbodem, bevestigd met perlongaren. Het vullen van de buizen met grond gebeurde zoals door Schuurman & Goedewaagen (1965) is beschreven.

De zandgrond die in de proef werd gebruikt, had een humusgehalte van 3,3 %. Er werd een ruime hoeveelheid meststoffen door de grond gemengd. Vóór het vullen van de buizen werd deze grond, met een vochtgehalte van 11,2 %, in plastic zakken opgeslagen om het vochtgehalte constant te houden. De analysesresultaten van de bemeste grond zijn weergegeven in tabel 1.

De drie structuren waarmee de buizen in vijf combinaties werden gevuld noemen we los, vast en zeer vast. De ontstane profielen waren: los (op los), los op vast, los op zeer vast, vast (op vast) en vast op zeer vast. De scheiding tussen lagen met verschillende dichtheden lag op een diepte van 25 cm. De eigenschappen van deze grond bij de verschillende dichtheden zijn gegeven in tabel 2.

Tabel 1. De analyse resultaten van de bemeste grond.

pH-KCl	% Grof zand (> 105 μ m)	% Totaal zand	P-AL	K-HCl \times 0,1
5,0	59	97	46	20
<i>pH-KCl</i>	<i>Coarse sand (% > 105 μm)</i>	<i>Total sand (%)</i>	<i>P-AL</i>	<i>K-HCl \times 0,1</i>

Table 1. Analytical results for the fertilized soil.

Tabel 2. Eigenschappen van losse, vaste en zeer vaste grond.

		Los	Vast	Zeer vast
Volumegewicht, <i>Bulk density</i>	(kg)	1,34	1,48	1,63
Poriënvolume, <i>Pore volume</i>	(%)	45,1	41,9	35,1
		<i>Loose</i>	<i>Dense</i>	<i>Very dense</i>

Table 2. Properties of loose, dense and very dense soil.

Tabel 3. Gevonden poriënverdeling in %.

Doorsnee poriën	Los	Vast	Zeer vast
< 30 μm	15,8	18,5	22,4
30-96 μm	13,7	14	10,1
96-300 μm	11,5	7,2	2,2
> 300 μm	4,1	2,2	0,4
Totaal, <i>Total</i>	45,1	41,9	35,1
<i>Diameter pores</i>	<i>Loose</i>	<i>Dense</i>	<i>Very dense</i>

Table 3. Actual pore-space distribution in %.

Hier kan worden opgemerkt, dat het poriënvolume in verband met de wortelgroei een betere karakterisering van de grond geeft dan het volumegewicht. De poriënverdeling is weergegeven in tabel 3.

Van iedere vijf profielen werden achttien buizen gevuld. Deze werden in Mitscherlichlekkbakken op wagens onder glas geplaatst. Bij droog weer werden de wagens in de openlucht gebracht. Figuur 1 geeft een plattegrond van de proef. De met water gevulde lekkbakken werden afgedekt met een trovidurrring. De bakken werden voor het begin van de proef regelmatig met water bijgevuld, totdat de grond capillair verzadigd was. Het hierna tijdens de proef bijgevoelde water werd gemeten om de verdamping van de planten te kunnen bepalen. De waterstand in de buizen was plm. 70 cm beneden maaiveld.

Na het plaatsen van de buizen in de bakken werd in vijftien buizen van ieder profiel centraal een gaatje in de grond geboord met een kurkboor. Het gebruik van een kurkboor heeft het voordeel dat men een structuurverandering van de grond direct onder het zaad voorkomt. Op 4 april werden twee uitgezochte korrels van Marnehaven 1e nabouw in ieder gaatje te kiemen gelegd, waarna dit weer met de

Fig. 1. Plattegrond van de proef, 1: los, 2: los op vast, 3: los op zeer vast, 4: vast, 5: vast op zeer vast.

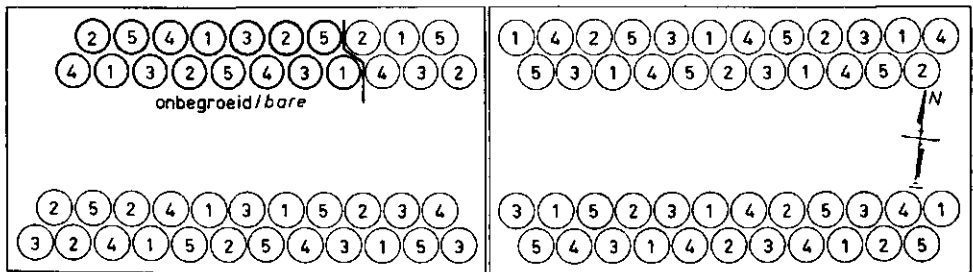


Fig. 1. Lay-out of trial, 1: loose, 2: loose on dense, 3: loose on very dense, 4: dense, dense on very dense.

uitgeboorde grond werd opgevuld. De grond werd van boven afgedekt met 200 cm³ fijn grind.

Na het opkomen werd op 19 april één van de twee plantjes verwijderd, en wel zo, dat het uitgangsmateriaal op het oog gelijkwaardig was.

Vanaf het zichtbaar worden van het derde blad op 1 mei werd iedere week van elk profiel één buis uit de proef genomen voor onderzoek.

Alleen de laatste twee series zijn genomen met tussenruimten van 10 dagen. Van ieder profiel werden de volgende gegevens bepaald:

1. wortels: massa, diepte, kroonwortelvorming en zijwortelvorming door middel van detailonderzoek
2. spruiten: lengte, aantal bladeren, uitstoeling, pluimvorming, gewichten, korrelgewichten en drogestofgehalten, opname van N, P, K, Ca en water
3. spruit-wortel verhoudingen.

Op de wagen tussen de buizen stond, afgeschermd tegen directe zon, een themograaf opgesteld.

3 Verzamelde gegevens

3.1 De temperaturen

Uit de gegevens van de thermograaf zijn de gemiddelde etmaaltemperaturen tijdens de proef berekend en hieruit die van iedere proef tussen twee bemonsteringen (fig. 2). De temperatuur lag in de periode van 1 mei tot 5 juni tamelijk constant op ongeveer 10°C. Deze periode is scherp afgegrensd van de volgende drie weken. Hierin steeg de temperatuur tot resp. 14, 18 en 15°C om daarna weer snel te dalen tot 11°C. Het gemiddelde van deze drie weken was 15,7°C. De rest van de groeiperiode gaf een vrij langzame stijging te zien tot een maximum van ruim 15°C in de week van 17-24 juli, gevolgd door een zwakke daling tot 14°C in de laatste weken. Het gemiddelde van deze periode was 13,8°C.

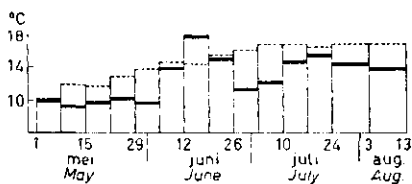


Fig. 2. Gemiddelde etmaaltemperaturen tijdens de proef (vette lijn) en gedurende dertig jaren (stippellijn).

Fig. 2. Average daily temperatures during the trial (solid line) and during thirty years (broken line).

Ter vergelijking zijn de overeenkomstige gemiddelde temperaturen van 30 jaren (1931-1960) toegevoegd van Eelde. Hieruit blijkt, dat de temperatuur over het geheel genomen aan de lage kant was.

3.2 Wortelontwikkeling

Het verloop van de wortelontwikkeling is weergegeven in fig. 3. Hieruit blijkt reeds, dat er belangrijke verschillen zijn opgetreden in dieptegroei van de wortels in afhankelijkheid van de profielen. In het volgende wordt hierop nader ingegaan.

Wortelmassa Bij alle profielen is in principe hetzelfde patroon waar te nemen. In de beginperiode namen de gewichten langzaam toe, daarna volgde een snelle toename en vervolgens werd de toename steeds geringer totdat het maximum was bereikt. Tenslotte volgde een afname. Deze afname was groter, naarmate meer wortels waren gevormd (fig. 4). Jonker (1958) en Dilz (1964) vonden bij watercultures een regelmatige toename tot ongeveer eind juni, waarna geen afname op-

Fig. 4. Droge gewicht van de wortels per plant.

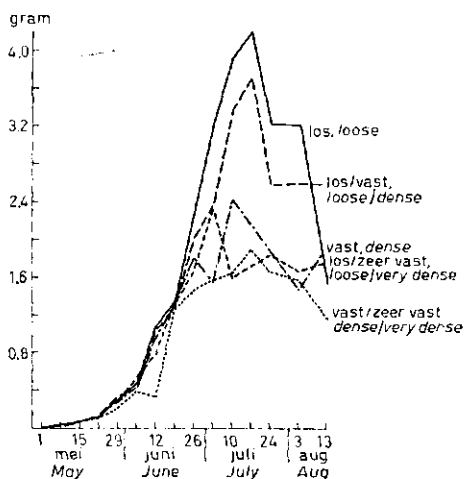


Fig. 4. Dry weights of the roots of a plant.

trad, maar het gewicht vrijwel constant bleef.

Binnen dit algemene patroon bestaan grote kwantitatieve verschillen die verband houden met de dichtheid van de grond. In de profielen kunnen in dit verband reeksen worden onderscheiden, ten eerste: los op vast met vast en los op zeer vast met vast op zeer vast, waaruit de invloed van de dichtheid van de bovengrond blijkt bij resp. vaste en zeer vaste ondergrond, en ten tweede: los, los op vast met los op zeer vast en vast met vast op zeer vast, waarin de invloed van de dichtheid van de ondergrond bij resp. losse en vaste bovengrond naar voren komt.

Uit fig. 3, 4 en 5 blijkt dat de grootste hoeveelheden wortels werden gevormd

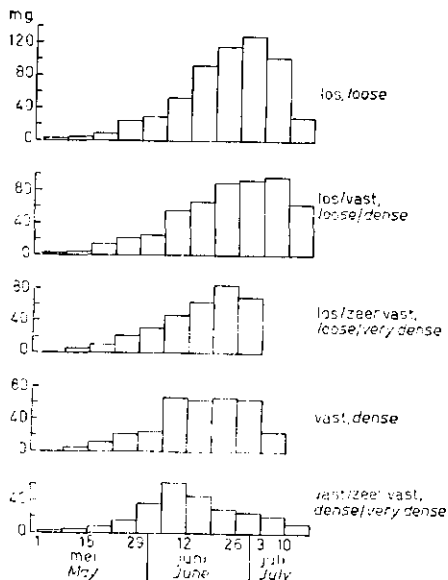
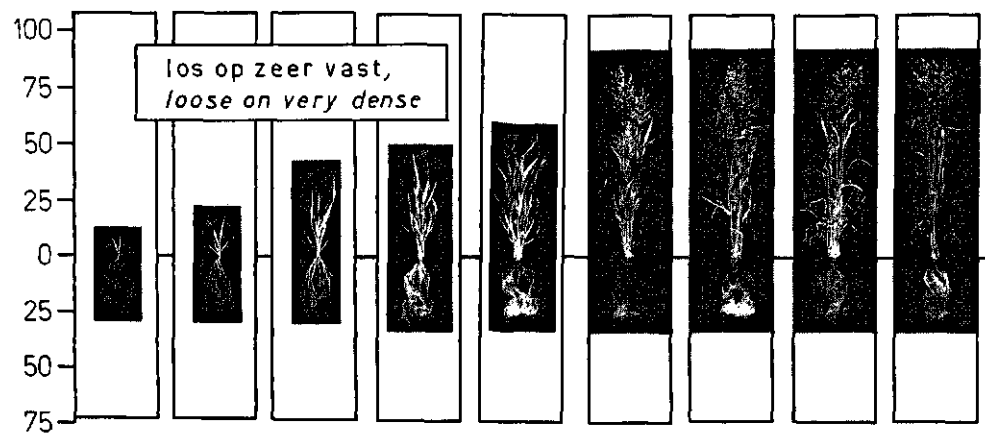
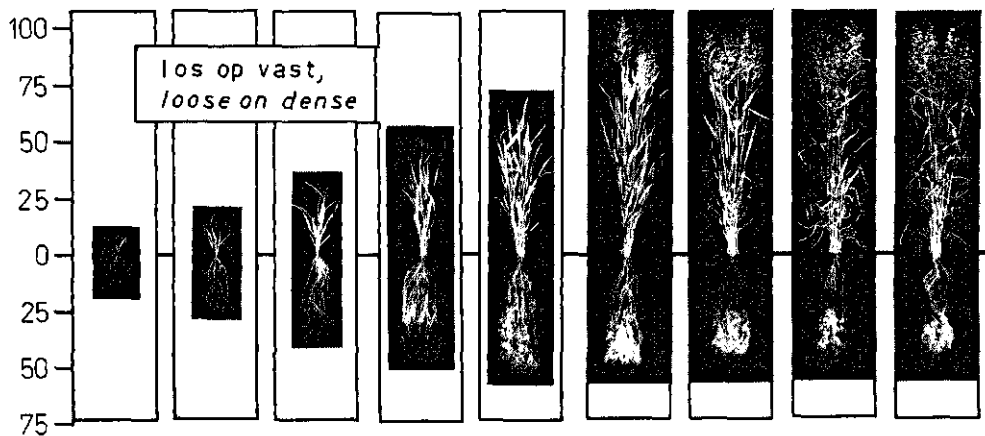
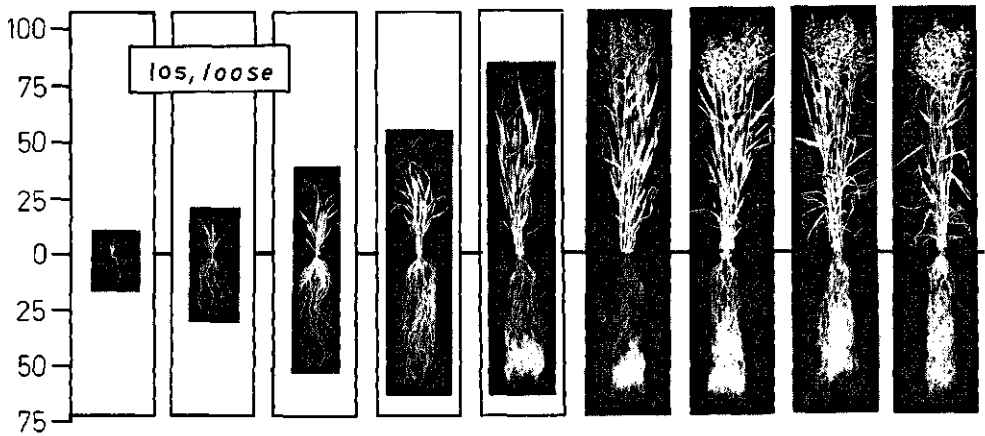


Fig. 5. Gemiddelde toename van het wortelgewicht per dag.

Fig. 5. Average daily increase in root weight.



1 15 29 12 26 10 24 3 13
 mei, May juni, June juli, July aug., Aug

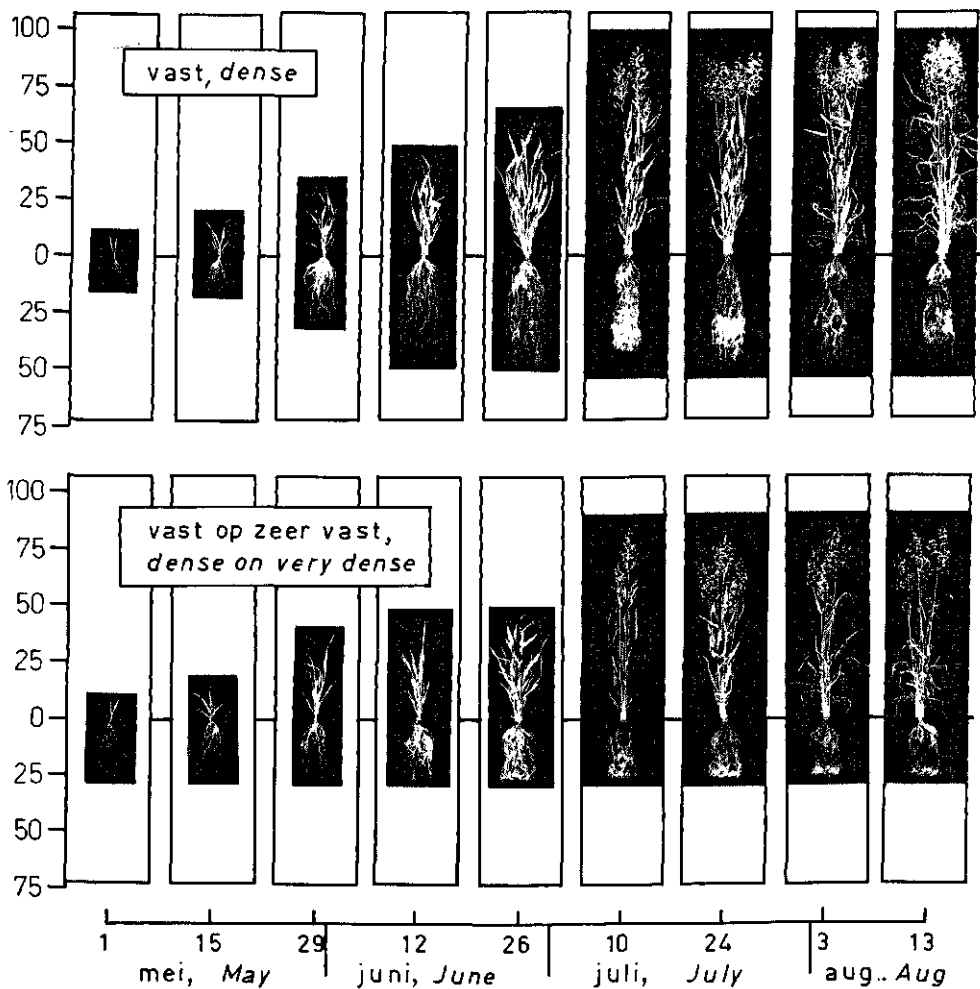


Fig. 3. Beeld van de wortelontwikkeling en spruitgroei op de vijf verschillende profielen.

Fig. 3. Root development and shoot growth.

door de planten op het geheel losse profiel en daarna achtereenvolgens door planten op los op vast, vast, los op zeer vast en vast op zeer vast. Het maximum viel bij de eerste twee profielen omstreeks 17 juli, bij de dichtere profielen mogelijk iets eerder. Zowel grotere dichtheid van de bovengrond als van de ondergrond hebben dus een nadelige invloed gehad op de wortelmasse. De invloed van de bovengrond was bij vaste ondergrond groter dan bij zeer vaste, en de invloed van de ondergrond was bij een losse bovengrond groter dan bij een vaste. Al deze effecten waren statistisch zeer significant.

Périgaud (1966a) zag bij mais een vermindering van de hoeveelheid wortels in verdichte ondergrond (4-10 cm) en een toename in de niet verdichte bovengrond

(0-4 cm) t.o.v. een homogeen niet verdicht profiel. In een homogeen verdicht profiel was de wortelmassa zowel in boven- als ondergrond geringer. Dit is in overeenstemming met onze ondervindingen.

Het tijdstip, waarop de verschillen in wortelmassa tussen de profielen optraden is niet exact te bepalen. De toename in vast op zeer vast bleef achter bij los omstreeks 22 mei; daarna volgden vast, los op zeer vast en los op vast resp. ca. 29 mei, 12 en 19 juni. De toename in de profielen met de vaste bovengrond bleef dus eerder achter dan die met de losse. In beide gevallen bleef de toename in het profiel met zeer vaste ondergrond eerder achter dan in dat met vaste.

Diepte Deze werd nauwkeurig bepaald door de grond vanaf de onderkant uit de buizen te spoelen.

De dieptegroei van de wortels verliep vanaf 1 mei in het algemeen zeer gelijkmatig totdat de maximale diepte was bereikt (fig. 6). Tussen 1 mei en 10 juli nam de worteldiepte in het losse profiel per dag gemiddeld toe met ongeveer 1 cm. Dit getal is redelijk in overeenstemming met gegevens van andere auteurs, hoewel er bij sommige gewassen ook hogere waarden worden genoemd (Boonstra, 1931; Goede-waagen, 1942; Bierhuizen & Ploegman, 1958; Périgaud, 1966a). Alleen bij het vaste profiel werd in de eerste week van mei een hapering waargenomen, maar daarna verliep de dieptegroei ook hier regelmatig.

De maximale diepten liepen zeer sterk uiteen. Dit wordt ook door andere auteurs vermeld (Phillips & Kirkham, 1962; Barley, 1963; Gardner & Danielson, 1964; Tackett & Pearson, 1964; Witsell, 1964; Barley et al., 1965).

Het diepst kwamen de wortels in het geheel losse profiel, vervolgens in los op vast en vast, terwijl de wortels in los op zeer vast en vast op zeer vast veel minder diep gingen. In feite drongen bij het vast op zeer vaste profiel alleen enkele vroeg gevormde wortels over geringe afstand door tot in de zeer vaste ondergrond. Op de overgang naar de zeer vaste ondergrond was een vloertje van wortels aanwezig (Schuurman, 1965). De uiteindelijke diepte van de beworteling werd niet door de dichtheid van de bovengrond beïnvloed, wel door die van de ondergrond (Opitz, 1904). Gezien de opzet van de proef moeten deze groeiremmingen worden toegeschreven aan mechanische oorzaken, d.i. de geringe verplaatsingsmogelijkheden van de gronddeeltjes. De dieptegroei bleef in de profielen met vaste bovengrond reeds vanaf 1 mei achter ten opzichte van het losse profiel, die in de profielen los op vast en los op zeer vast vanaf 8 mei. Na 22 mei bleven de profielen met zeer vaste ondergrond helemaal achter.

Kroonwortelvorming Ook deze ging op alle profielen volgens een bepaald gemeenschappelijk patroon (fig. 6). De vorming begon vlak voor het zichtbaar worden van het derde blad en ging langzaam door tot midden juni ongeveer tot de eerste pluimen zichtbaar werden. Daarna nam het aantal kroonwortels sterk toe. Er bestond geen verband tussen deze sterke toename en de temperatuur (fig. 2). Het is niet duidelijk of de kroonwortelvorming omstreeks 10 juli eindigde of later.

Fig. 6. Gegevens van de wortels, boven: maximale diepte, beneden: aantal kroonwortels.

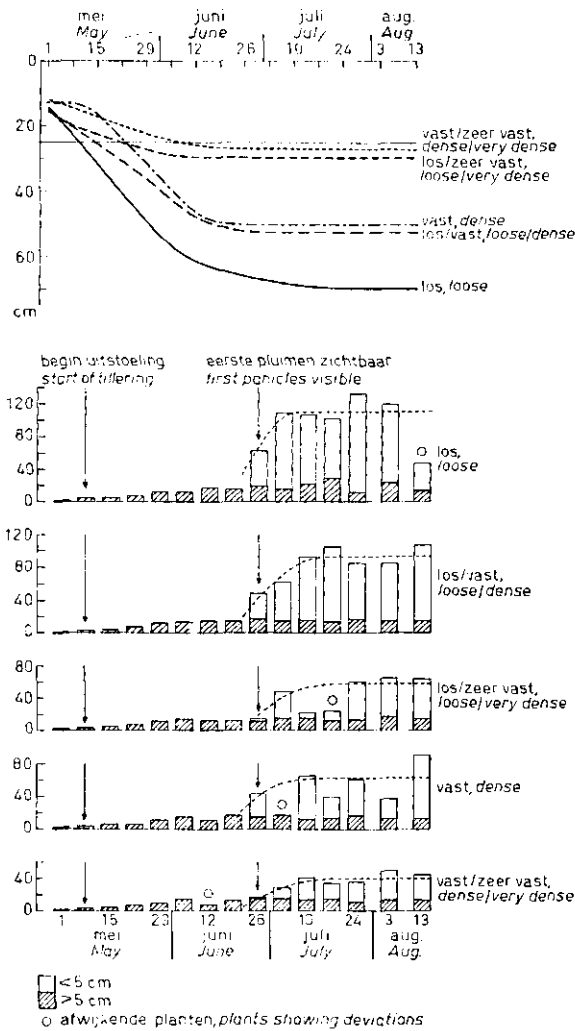


Fig. 6. Data on the roots, above: maximum depth, below: numbers of nodal roots.

De aantallen kroonwortels namen uiteindelijk af in de reeds enige malen genoemde volgorde los, los op vast, vast, los op zeer vast, vast op zeer vast. De vorming van de latere kroonwortels begon bij de profielen met zeer vaste ondergrond ongeveer een week later dan bij de andere profielen. Deze kroonwortels werden meestal niet langer dan 5 cm en waren vrijwel niet vertakt. De oorzaak van het niet doorgroeien moet waarschijnlijk worden gezocht in de — op dat moment — droge bovengrond (Locke & Clarke, 1924). De laag van 0-5 cm had toen een vochtgehalte tussen 1 en 2 % en die van 5-10 cm minder dan 4 % van het gewicht van de droge grond.

De aantallen waren bij vaste bovengrond geringer dan bij losse. De absolute verschillen tussen los op vast en vast waren groter dan de absolute verschillen

tussen los op zeer vast en vast op zeer vast, maar relatief ongeveer gelijk. Eveneens waren de aantallen geringer, naarmate de ondergrond dichter was. Hier waren de verschillen bij losse bovengrond in absolute zin ook groter dan bij vaste, terwijl ze relatief gering waren.

Het tijdstip waarop de kroonwortelvorming bij alle profielen t.o.v. het losse profiel achterbleef, lag ongeveer op 8 mei. Aangezien toen ook de worteldiepte van de profielen met vaste bovengrond achterbleef is er sprake van een algemene groeiremming van de wortels in deze profielen.

Uit de vergelijking van dieptegroei en kroonwortelvorming volgt, dat er twee stadia zijn. In het eerste overheerste de dieptegroei, in het tweede de vorming van nieuwe wortels. Uit de gegevens volgt, dat de verschillen in wortelgewicht bij de jonge planten zullen zijn veroorzaakt, doordat de lengtegroei van de wortels in bepaalde profielen geringer was en bij de oudere planten doordat er minder wortels werden gevormd.

Zijwortelvorming Van de periodieke bemonsteringen 29 mei t/m 13 augustus werden om de andere bemonstering van de meest gave en volgroeide kiem- en kroonwortels lichtdrukken en foto's gemaakt, waarna de hiervoor gebruikte wortels weer aan het bijbehorende wortelstelsel werden toegevoegd om de totale wortelgewichten per plant op verschillende tijdstippen zo nauwkeurig mogelijk te bepalen.

Met behulp van de lichtdrukken en foto's werd getracht om mogelijke profielinvloeden op vertakking en eventuele verdikking van de wortels vast te stellen. Daar de kiemwortels in grondlijnen een zelfde tendens in ontwikkeling te zien gaven, doch minder gaaf waren dan de kroonwortels, hebben we ons met globale metingen (schattingen) en tellingen beperkt tot de kroonwortels. Nagegaan werd:

1. het gemiddeld aantal zijwortels 1e orde per cm lengte hoofdas
2. de gemiddelde lengte zijwortels 1e orde in cm
3. verdikkingen en afbraak van wortels.

Sub. 1 en 2 werden voor de lagen 0-10, 10-25 en 25-40 cm bepaald, bij sub. 3 werden de waarnemingen niet in zone's onderverdeeld.

Aantal zijwortels Bij het bepalen van het aantal zijwortels 1e orde per cm lengte hoofdas werd alleen rekening gehouden met het vertakte gedeelte van de hoofdas.

In tabel 4 zijn de gemiddelde aantallen zijwortels 1e orde per cm hoofdas weergegeven. In de lagen 0-10 en 10-25 cm zijn geen reële verschillen tussen de diverse profielen aanwezig. In de laag dieper dan 25 cm was het gemiddelde aantal zijwortels 1e orde bij de profielen met een zeer vaste ondergrond ongeveer de helft van dat in de overeenkomstige laag bij de profielen los, los op vast en vast. Deze verschillen zijn betrouwbaar bij $P = 0,01$. We mogen echter niet vergeten, dat de hoofdassen bij profielen met een zeer vaste ondergrond tot een veel geringere diepte in deze laag zijn gedrongen dan bij deze lossere profielen.

Tabel 4. Aantal zijwortels Je orde per cm kroonwortels en de gemiddelde (geschatte) lengte in cm.

Oogst datum	Los		Los op vast		Los op zeer vast		Vast		Vast op zeer vast						
	0-10	10-25 > 25	0-10	10-25 > 25	0-10	10-25 > 25	0-10	10-25 > 25	0-10	10-25 > 25					
Aantal per cm kroonwortels, Number per cm nodal roots															
29/5	8,2	4,9	—	6,2	6,7	—	5,4	5,3	—	4,2	4,0	—	6,2	4,6	—
12/6	6,2	6,5	10,6	7,2	8,6	8,1	7,1	6,3	7,4	5,5	5,5	—	7,3	6,3	—
26/6	6,9	6,7	11,3	7,1	6,4	8,3	6,7	5,9	5,4	5,0	6,3	9,5	5,7	6,5	5,0
10/7	5,0	5,4	10,2	6,5	7,6	10,1	6,8	6,3	6,5	5,4	5,3	9,4	5,3	6,0	5,6
24/7	5,5	4,3	7,8	6,4	3,4	9,3	3,3	3,3	4,0	4,8	6,0	10,5	6,1	4,8	5,6
13/8	4,5	5,5	10,5	5,6	4,5	8,3	6,1	5,8	4,4	4,7	5,7	8,9	6,5	4,5	4,8
Gem., Av.	6,1	5,6	10,1	6,5	6,2	8,8	5,9	5,5	5,5	4,9	5,5	9,6	6,2	5,5	5,3
Gemiddelde lengte, Average length															
29/5	4,5	1,6	—	2,0	1,5	—	7,0	2,0	—	6,5	0,5	—	4,2	0,8	—
12/6	8,0	7,0	4,5	5,0	8,5	2,0	11,5	9,5	2,5	7,0	2,5	—	10,0	3,0	—
26/6	4,0	6,0	6,5	5,0	7,5	7,5	9,0	8,0	4,5	6,5	4,5	3,0	7,5	4,0	3,0
10/7	5,0	7,5	8,0	3,0	5,0	5,0	10,5	7,0	3,0	7,0	6,0	3,5	4,0	5,0	1,0
24/7	6,0	11,0	14,0	2,5	8,0	7,5	7,0	6,0	4,5	1,7	2,0	4,0	8,0	6,0	0,5
13/8	0,7	1,0	5,5	8,0	7,0	8,5	9,0	8,5	3,5	5,0	3,0	3,0	8,0	5,5	0,7
Totaal, Total	28,2	34,1	38,5	25,5	37,5	30,5	54,0	41,0	18,0	33,7	18,5	13,5	41,7	24,3	5,2
Harvesting date															
Loose		Loose on dense		Loose on very dense		Dense		Dense on very dense		Dense		Dense on very dense		Dense on very dense	
0-10	10-25 > 25	0-10	10-25 > 25	0-10	10-25 > 25	0-10	10-25 > 25	0-10	10-25 > 25	0-10	10-25 > 25	0-10	10-25 > 25	0-10	10-25 > 25

Tabel 4. Number of primary branch-roots per cm nodal root and estimated average length in cm.

Lengte zijwortels In tabel 4 is bovendien de geschatte gemiddelde lengte van de zijwortels 1e orde in verschillende zone's en op diverse oogstdata weergegeven. De invloed van de dichtheid in de bovengrond is weinig duidelijk. Het lijkt er echter wel op, dat de lengte bij grotere dichtheid kleiner was. Opmerkelijk is dat dit ook geldt voor de vaste of zeer vaste ondergrond. Dit zou er op kunnen wijzen, dat de toestand in de ene laag de wortelgroei in de andere beïnvloedt. Dit is ook reeds door Goedewaagen (1955) geconstateerd.

Fig. 7. Boven: kroonwortels van het vaste profiel, beneden: kroonwortels van het vast op zeer vaste profiel.

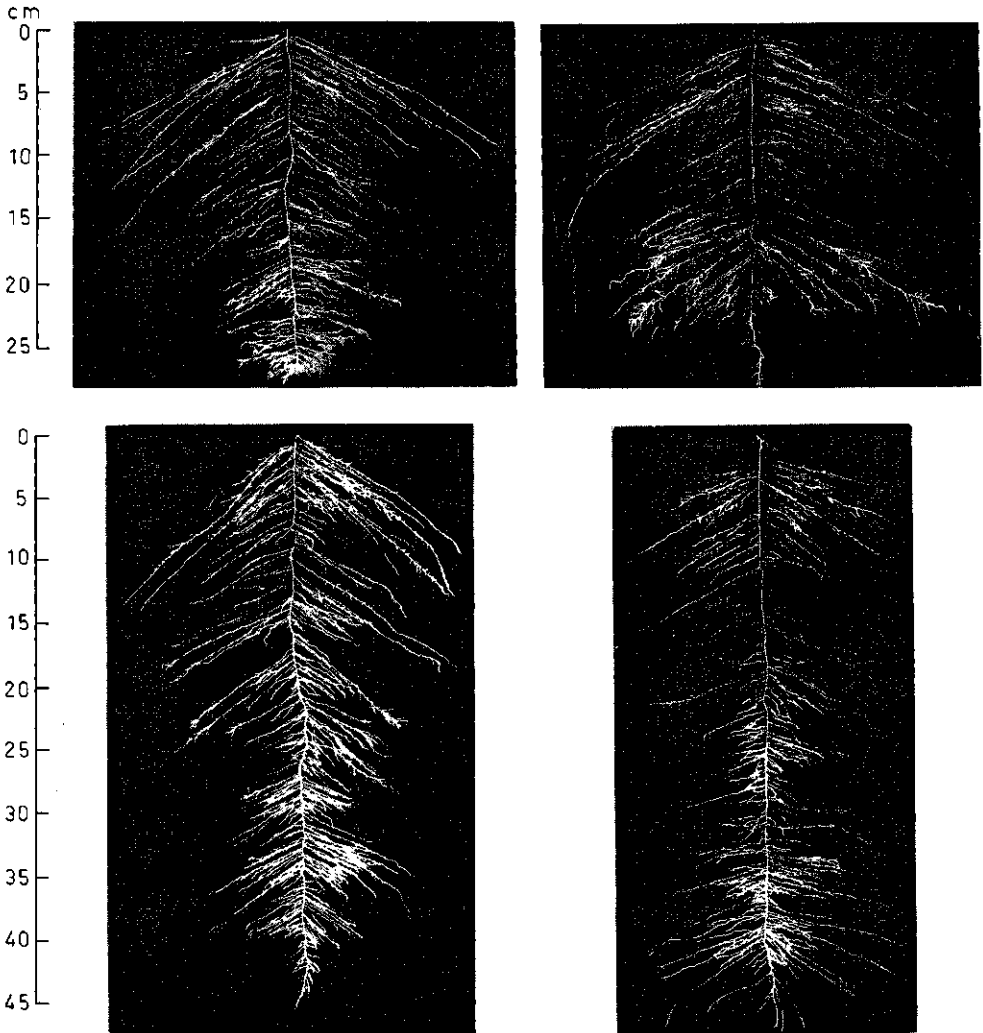


Fig. 7. Above: nodal roots from the dense profile, below: thickened nodal roots from the dense on very dense profile.

Bij toenemende dichtheid van de ondergrond verminderde de lengte in deze laag eveneens. Het is niet duidelijk of de zijwortellengte in de losse bovengrond wordt beïnvloed door de verschillen in dichtheid van de ondergrond.

Verdikkingen en afbraak In de bovengrond traden — alleen tijdens de bemonsteringen in juli en augustus — enkele verdikkingen op in de vaste grond.

In de ondergrond werden verdikkingen gevonden in vaste en zeer vaste grond (fig. 7). Dit geldt zowel voor de hoofdas als voor de zijwortels 1e en 2e orde (Schuurman, 1965). Het blijkt dus, dat de wortels alleen dikker worden bij hogere volumegewichten van de grond. Dit is niet alleen het geval bij een overgang van een losse bovengrond naar een dichtere ondergrond, maar ook de dichtere bovengronden bevorderen de diktegroei van de wortels.

Bij het geheel losse profiel werd afbraak van wortels voor het eerst op 10 juli waargenomen. Ook bij los op vast waren de eerste symptomen van wortelafbraak op 10 juli aanwezig, doch alleen nog maar bij het basale gedeelte van de hoofdas. Bij los op zeer vast, vast en vast op zeer vast werden voor het eerst tekenen van vertering der wortels gezien op 24 juli. Een vergelijking van de wortelbeelden van 10 juli en 13 augustus (fig. 7 boven) op het vaste profiel laat zien dat de afbraak, die bij de zijwortels 1e orde evenals bij de hoofdassen werd waargenomen, meestal aan de basis begon. Dit werd ook door Schulze (1911) waargenomen. Ook fig. 7 (beneden) vertoont verschijnselen van afbraak bij het vast op zeer vaste profiel. Samenvattend kunnen we zeggen dat de afbraak van wortels in het losse profiel eerder plaats vond dan in de vastere profielen. In het losse profiel begon de wortelafbraak ongeveer 2 weken na het begin van de pluimvorming. In de zeer vaste profielen was dit een week later.

3.3 Groei van de bovengrondse delen

De kieming verliep regelmatig. Op 18 april kwamen de plantjes op alle profielen boven de grond. Het verloop van de groei is weergegeven in de figuren 3, 8 en 9.

Lengtegroei De grootste lengte van de plant werd bij iedere periodieke bemonstering gemeten. Uit fig. 8A blijkt, dat de lengtegroei bij alle profielen verliep volgens een S-kromme, zij het op verschillend niveau. De lengtegroei ging bij alle profielen door tot 17 juli, of wel 13 weken na het opkomen.

Vergeleken met het gewas op het losse profiel bleef de lengtegroei bij vast en vast op zeer vast tussen 29 mei en 5 juni achter, de lengtegroei van los op zeer vast omstreeks 12 juni en de lengtegroei van los op vast omstreeks 19 juni. Hieruit blijkt een duidelijke invloed van de dichtheid van de boven- en ondergrond. Bij de vaste bovengrond traden de vertragingen vroeger op dan bij de losse; de dichtheid van de ondergrond maakte weinig uit. Uiteindelijk werd de grootste lengte bereikt op het losse profiel, gevolgd door los op vast, vast en tenslotte los en vast op zeer vast.

De afremming van de lengtegroei door een vaste bovengrond was uiteindelijk

Fig. 8. Gegevens van de bovengrondse delen, A: maximale lengte, B: aantal spruiten per plant, C: gemiddeld aantal zichtbare pluimen, D: droge gewicht van de spruiten per plant.

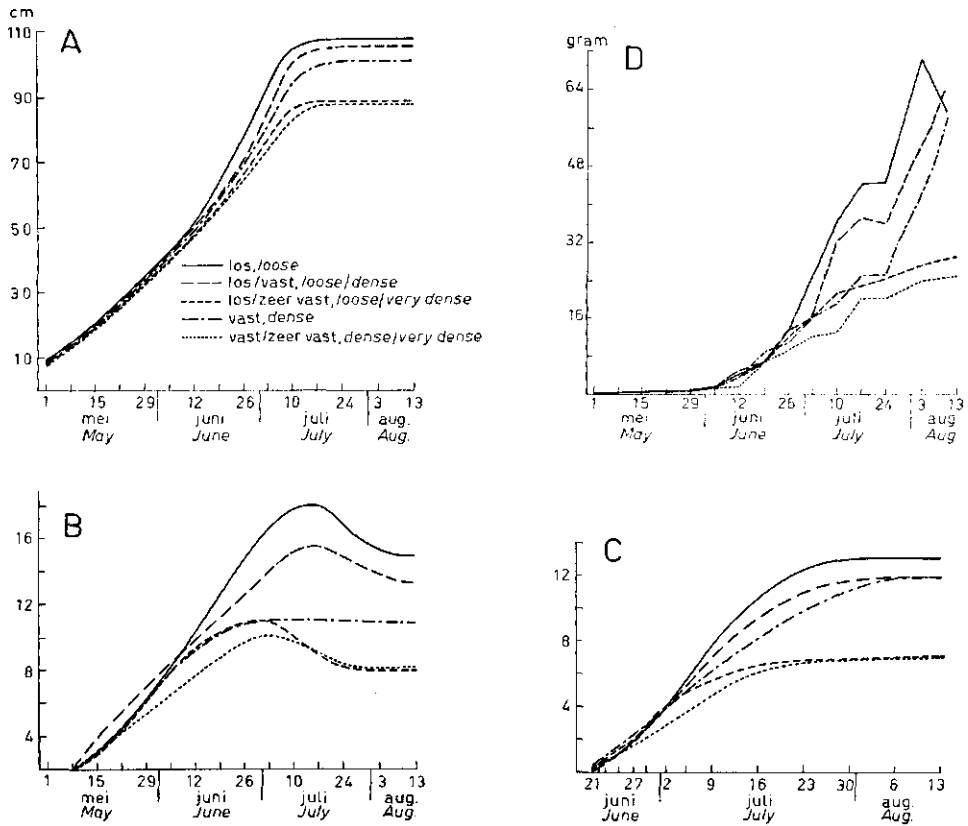


Fig. 8. Data on the shoots, A: maximum length of shoots, B: tiller numbers per plant, C: average number of visible panicles, D: dry weights of shoots per plant.

betrekkelijk gering, evenals de remming door een vaste ondergrond. De remming door zeer vaste ondergrond was aanzienlijk.

Aantal bladeren Tot en met het vijfde blad was er tussen het verschijnen van de bladeren hoogstens een dag verschil. Vanaf het vijfde blad bleven los op zeer vast en vast op zeer vast voortdurend een of meer dagen achter. Het achtste blad was ook bij het vaste profiel later.

Alle planten, die op 12 juni nog aanwezig waren hadden acht bladeren gevormd, met een uitzondering van zeven bij een plant op vast op zeer vast. Van de acht planten die na 12 juni per object nog aanwezig waren kwam slechts bij enkele een negende blad tevoorschijn. Dit aantal planten was het grootst bij los op vast.

Aantal spruiten Uit fig. 8B blijkt, dat de dichtheid van de bovengrond alleen bij vaste ondergrond een rol speelde en niet bij zeer vaste. Vaste ondergrond ver-

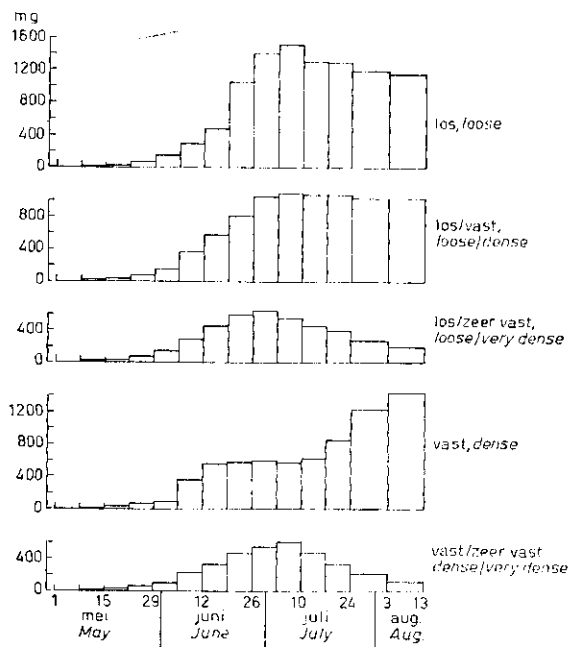


Fig. 9. Gemiddelde toename van het spruitgewicht per plant.

Fig. 9. Average daily increase in shoot weight.

oorzaakte bij losse bovengrond een lichte vermindering van het aantal spruiten, zeer vaste een sterkere afname. De dichtheid van de bovengrond speelde bij zeer vaste ondergrond geen rol. De invloed van het profiel op het aantal spruiten was vrijwel gelijk aan de invloed van de lengtegroei.

Pluimvorming Het aantal pluimen werd alleen bij zeer vaste ondergrond duidelijk gereduceerd, zowel bij aanwezigheid van losse als van vaste bovengrond (fig. 8C).

Spruitgewicht De gewichten van de droge spruiten werden van iedere bemonstering per plant bepaald (fig. 8D). De korrelgewichten van de latere groeistadia zijn hierbij inbegrepen. Uit fig. 8 en 9 blijkt dat ze in principe bij alle profielen op overeenkomstige wijze toenamen.

Tot 19 juni nam het spruitgewicht op alle profielen relatief in gelijke mate toe. Op deze datum was het laatste blad bij alle profielen vrijwel volgroeid. Daarna namen de spruitgewichten relatief steeds minder toe (Williams, 1957). Uit fig. 3 en 8 blijkt dat de spruitgroei nog doorging nadat die van de wortels al was gestopt. Strebeyko (1961) en Dilz (1964) vonden hetzelfde bij haver, Troughton (1957) vermeldt dit van grassen en Jonker (1958) o.a. van wintertarwe.

De remmende invloed van de dichtheid van het profiel op de droge spruitgewichten begon zich omstreeks 29 mei zwak af te tekenen bij het vast op zeer vaste profiel. Een week later bleef de groei van vast achter, weer later de groei van los op zeer vast en tenslotte de groei van los op vast. Hieruit blijkt weer, dat de groei-

remming primair uitging van de vaste bovengrond. De verschillen werden, naarmate het groeiproces vorderde, in absolute zin steeds groter, maar relatief bleven de extreme verschillen tussen de profielen los op los en vast op zeer vast vrijwel gelijk.

De hoogste opbrengst werd uiteindelijk op het losse profiel verkregen, die op het profiel los op vast was 12 % minder, los op zeer vast 53 %, vast op vast 28 % en vast op zeer vast 60 %. De grootste nadelige invloed ging dus uit van de zeer vaste ondergrond. De dichtheid van de bovengrond speelde een minder grote rol (fig. 8D).

Korrelgewicht Van de laatste drie periodieke oogsten werden de korrelopbrengsten bepaald (fig. 10).

Bij een beoordeling van deze gegevens, moet rekening worden gehouden met het feit dat er vrij grote verschillen bestonden in de rijpingstoestand van het zaad tijdens de oogst bij de 5 verschillende profielen. Van de laatste oogst op 13 augustus werd de hoeveelheid rijp zaad in % van het totaal als volgt getaxeerd: los 30 %, los op vast 50 %, los op zeer vast 90 %, vast 35 % en vast op zeer vast 70 %. De profielen met zeer vaste ondergrond waren dus het verst afgerijpt.

De verschillen in korrelgewichten waren op 24 juli nog gering. Bij de oogst op 13 augustus kwamen de verschillen in korrelopbrengst sterk tot uiting. Dat het korrelgewicht op het losse profiel bij de eindbemonstering lager lag dan verwacht komt, doordat de desbetreffende plant door onbekende oorzaak in groei was achtergebleven in vergelijking tot de andere planten op het losse profiel. Door interpolatie kan worden vastgesteld, dat dit gewicht ongeveer 50 gram had moeten zijn.

Het feit, dat er op 24 juli nog nauwelijks verschillen waren, kan worden gezien als een aanwijzing dat de remming laat is opgetreden. Dit is aannemelijk als men ziet, dat het korrelgewicht vooral ongunstig werd beïnvloed door de dichtheid van

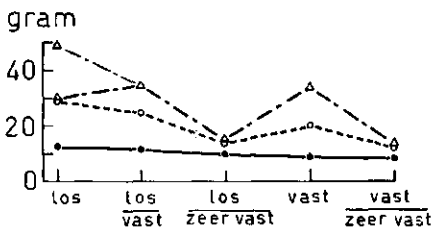


Fig. 10. Gegevens van de korrelopbrengsten, boven: opbrengst per plant, beneden: duizendkorrelgewicht. ●: 24 juli, ○: 3 augustus, △: 13 augustus.

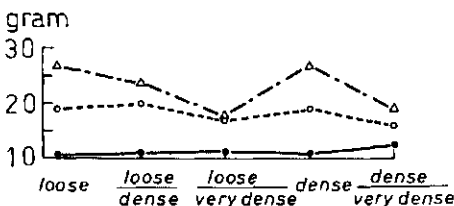


Fig. 10. Data on grain yield, above: grain yields per plant, below: thousand-grain weights. ●: 24 July, ○: 3 August, △: 13 August.

de ondergrond. Van der Paauw (1949) vond iets dergelijks bij invloed van droogte op de ontwikkeling van haver.

Het duizendkorrelgewicht gaf een soortgelijk beeld te zien als het totaal korrelgewicht. De grotere korrelgewichten werden dus grotendeels veroorzaakt door grotere zaden. Het duizendkorrelgewicht werd nadelig door de dichtheid van de ondergrond beïnvloed. Opvallend was, dat het bij vaste bovengrond groter was dan bij losse. Uit het percentage rijp zaad op 13 augustus en fig. 10 volgt dat als het zaad op alle profielen voor 100 % rijp zou zijn geweest, de verschillen in totaal korrelgewicht en duizendkorrelgewicht tussen de vijf profielen belangrijk groter zouden zijn geweest.

Drogestofgehalten Van iedere periodieke oogst werd het versgewicht, alsmede het drooggewicht per plant bepaald. Hieruit werd het drogestofgehalte berekend (fig. 11).

Er is een duidelijke algemene lijn in de gehalten, nl. een toeneming tot midden juni, daarna een afname of gelijkblijven tot eind juni en vervolgens een stijging. Er waren op 19 juni voor het eerst profielinvloeden te zien. De hoogste percentages droge stof van de spruiten werden toen gevonden bij de profielen met een zeer vaste ondergrond en dit bleef verder zo tot het eind van de groei. Na 19 juni werd het laagste percentage gevonden bij het losse profiel.

Aan het eind van de proef gaven de planten op de zeer vaste ondergrond een veel hoger percentage droge stof te zien dan die op de vaste ondergrond, welke weer enkele procenten boven los uitkwamen. Deze resultaten kunnen worden beschouwd als een aanwijzing, dat de planten op het losse profiel over een grotere hoeveelheid water konden beschikken dan die met een vaste ondergrond. Dit blijkt ook uit het waterverbruik.

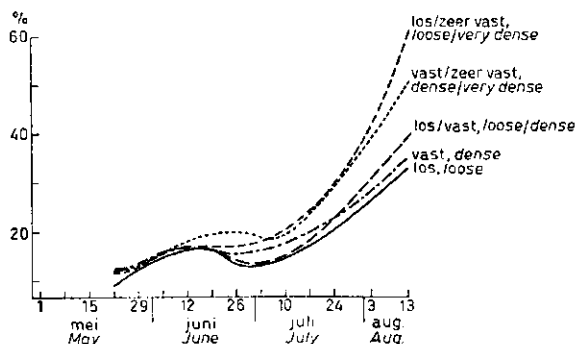


Fig. 11. Drogestofgehalten van de spruiten.

Fig. 11. Percentages dry matter per plant.

4 Het verband tussen wortel- en spruitgroei

In dit onderzoek is het verloop van de groei van wortels en spruiten van haver op 5 verschillende profielen geanalyseerd om vast te stellen op welke wijze dit verloop werd beïnvloed door de dichtheid van de boven- en ondergrond. Er werd gevonden dat zowel de wortel- als de spruitgroei door grotere dichtheid van de grond geremd werden (Schuurman, 1965). De zeer vaste ondergrond veroorzaakte een grote afname van de wortelgewichten. In alle gevallen is deze afname toe te schrijven aan een vermindering van de aantallen kroonwortels en de diepte van worteling. Daarnaast kan ook de lengte van de zijwortels van belang zijn geweest. Gezien de opzet van de proef kan worden aangenomen, dat de afname primair een gevolg is geweest van de dichtheid van de grond.

Ook bij de spruiten verminderde de groei bij grotere dichtheid van de grond. Relatief was de invloed van een vaste bovengrond — in tegenstelling met de wortels — niet verschillend van de invloed van de vaste ondergrond. Bij de zeer vaste ondergrond nam de spruitgroei sterker af dan bij de wortels het geval was. De vermindering van spruitgewichten kan worden toegeschreven aan geringere lengtegroei, aantal spruiten per plant en korrelopbrengsten. Waarschijnlijk moet de geringere spruitgroei primair worden toegeschreven aan de storingen in de wortelgroei, die tot gevolg hadden dat er minder water kon worden opgenomen. Dit komt ook in de bepaalde hoeveelheden opgenomen water tot uiting. Dit onderzoek leverde door de wekelijkse bemonsteringen de mogelijkheid binnen de grenzen van een week vast te stellen op welk moment verschillen t.o.v. het geheel losse profiel optraden. Dit geldt zowel voor de wortels als de spruiten. Wanneer aangenomen wordt, dat de verschillen in wortelgroei primair waren en die in spruitgroei secundair, mag worden verwacht, dat de eerste vroeger zijn opgetreden dan de laatste. Hoewel er gewerkt is met intervallen van een week komt uit de gegevens toch wel bij benadering naar voren, dat deze verschillen in tijdstip aanwezig waren (tabel 5). De data laten bovendien zien dat de planten op profielen met een losse bovengrond minder snel reageerden dan die op een vaste, en deze laatste iets minder snel dan die op zeer vaste ondergrond.

De verschillen in verloop van wortel- en spruitgroei kwamen ook tot uiting in de spruit-wortel verhoudingen. In het algemeen kan worden gesteld, dat er een nauw verband is tussen het gewicht van wortels en spruiten van een plant (Sinnott, 1960). De spruit-wortel verhouding van een plant is specifiek voor de erfelijke aanleg van de soort en de omstandigheden waaronder de plant gegroeid is (Schneider, 1912; Boonstra, 1931; Kulescha, 1931; Goedewaagen, 1937; Troughton, 1961;

Tabel 5. Data waarop verschillen met het losse profiel optraden.

	Wortels	Spruiten
Los op vast, <i>Loose on dense</i>	19/6	3/7
Vast, <i>Dense</i>	29/5	5/6
Los op zeer vast, <i>Loose on very dense</i>	12/6	26/6
Vast op zeer vast, <i>Dense on very dense</i>	22/5	29/5
	<i>Roots</i>	<i>Tops</i>

Table 5. Dates on which differences from loose profiles became visible.

Steineck, 1964; Brouwer, 1966; Hackett & Holloway, 1966). Twee planten met dezelfde genetische aanleg, die onder precies gelijke omstandigheden zijn gegroeid en in hetzelfde groeistadium zijn, zullen dezelfde spruit-wortel verhouding hebben. In het algemeen neemt de verhouding gedurende het groeiseizoen toe. Planten, die groeien onder natuurlijke en dus wisselende omstandigheden zijn voortdurend gewikkeld in een proces van aanpassing van de spruit-wortelverhouding, naar een evenwicht tussen de absorptieve functie van de wortel en de fotosynthetische functie van de spruit. Hij slaagt hierin echter niet, omdat de omstandigheden ondertussen al weer veranderd zijn. In bepaalde gevallen moet het echter mogelijk zijn door vergelijking van de spruit-wortel verhoudingen van planten van dezelfde soort en ras een indruk te krijgen van de omstandigheden, waaronder ze gegroeid zijn (Goedewaagen, 1937; Aufhammer et al., 1960).

De spruit-wortel verhoudingen konden eens per 14 dagen worden berekend uit de droge gewichten van de spruiten en wortels. Uit fig. 12 blijkt, dat deze verhoudingen bij alle profielen tot ongeveer midden juli, d.i. tot de bloei (Troughton, 1956) geleidelijk toenamen van ruim 2 tot ca. 10. Dit verloop kan worden gezien als een algemeen verschijnsel (Brouwer, 1966). Bij het bereiken van de maximale wortelgewichten namen de spruit-wortel verhoudingen af in de volgorde los, los op vast, vast en daarna los op zeer vast en vast op zeer vast. Omstandigheden die de wortelgroei bemoeilijkten en daardoor een ongunstige invloed hadden op de opnamemogelijkheden, deden de spruit-wortel verhouding dus afnemen.

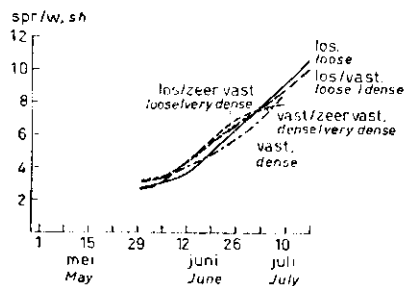


Fig. 12. Spruit-wortel verhouding.

Fig. 12. Shoot-root relation.

Samenvatting

In een proef met haver op kunstmatige profielen is nagegaan hoe het verloop van de groei van wortels en spruiten werd beïnvloed door verschillen in dichtheid tussen boven- en ondergrond.

Gevonden werd, dat er belangrijke verschillen in wortelgroei optraden, afhankelijk van de dichtheid van de grond, voornamelijk de ondergrond. De sterkst ontwikkelde wortelstelsels werden gevonden bij het geheel losse profiel en daarna achtereenvolgens bij los op vast, vast, los op zeer vast en vast op zeer vast. Dit kwam tot uiting in wortelgewichten, worteldiepte en aantallen kroonwortels.

Parallel met de verschillen in wortelontwikkeling traden verschillen op in spruitgewicht. Deze gingen samen met verschillen in lengte en aantal spruiten. Ook hier werd dezelfde volgorde vastgesteld. Aangezien de bovengrondse omstandigheden voor alle planten in principe dezelfde waren, moeten deze verschillen in spruitgroei een gevolg zijn geweest van de omstandigheden in de grond, die de wortelgroei hebben beïnvloed en daardoor de opnamemogelijkheden. Het drogestofgehalte in de spruiten was het hoogst bij de profielen met een zeer vaste ondergrond, lager bij die met een vaste ondergrond en het laagst bij het losse profiel. Dit is een aanwijzing dat de opnamemogelijkheid van water in dezelfde volgorde toenam. Dit wordt bevestigd door de hoeveelheden gebruikt water.

Uit vergelijking van wortel- en spruitgroei bleek, dat verschillen in groei t.o.v. het geheel losse profiel bij de wortels eerder optraden dan bij de spruiten. Dit verschil bedroeg bij losse bovengrond ongeveer een week, bij vaste twee of meer weken. Bij vaste ondergrond en losse bovengrond was het tijdsverschil tussen wortels en spruiten groter dan bij vaste bovengrond.

Het tijdsverschil tussen wortels en spruiten, zoals overigens ook is gevonden bij het losse profiel, wijst erop dat de veranderingen in de spruitgroei een direct gevolg kunnen zijn van de storingen die het wortelstelsel in de grond heeft ondervonden.

Summary

The influence of density of top soil and subsoil on the process of growth of roots and aerial parts of oats was studied on five profiles.

Root growth responded considerably to soil density, especially that of subsoil. Root weight was highest in the loose profile and decreased in the order loose top soil on dense subsoil, dense soil, loose top soil on very dense subsoil, dense top soil on very dense subsoil. These differences were paralleled by variations in rooting depth and numbers of nodal roots. Differences in branch-root formation may have played a part, but this could not be ascertained.

The differences in root mass were paralleled by differences in root weights in the same sequence of profiles. Shoot length and numbers of tillers varied concomitantly with the shoot weight. Assuming that aerial conditions were the same for all plants, the differences in shoot weight may have been a direct consequence of soil conditions influencing root development and consequently the absorption potential. Dry-matter percentages in the shoots were highest with the profiles having a very dense subsoil, lower with those having a dense subsoil and lowest with the loose profile. This indicates that there must have been differences in water absorption potential. This is confirmed by the amounts of water used.

Comparison of the processes of root and shoot growth in the loose on dense, dense on dense, loose on very dense and dense on very dense profiles with the loose one showed that the differences in root development originated earlier than those in the shoots. These time differences were from 1 to 2 weeks according to the density of the top soil.

Literatuur

- Aufhammer, G.,
G. Fischbeck &
H. Grebner 1960 Versuche zur Prüfung der Dürre-resistenz von Sommer-
getreide. Z. Acker- u. PflBau 110: 117-134.
- Barley, K. P. 1963 Influence of soil strength on the growth of roots. Soil Sci.
96: 175-180.
- Barley, K. P.,
D. A. Farrell &
E. L. Graecen 1965 The influence of soil strength on the penetration of a
loam by plant roots. Aust. J. Soil Res. 3: 69-79.
- Bierhuizen, J. F. &
C. Ploegman 1958 Wortelgroei en waterhuishouding. Meded. Dir. Tuinb. 21:
484-490.
- Boonstra, A. E. H. R. 1931 Root systems of seven varieties of peas grown under
similar cultural conditions. Meded. LandbHoogesch. Wa-
geningen 35.
- Brouwer, R. 1955 De wateropname door de wortel. In: De plantenwortel in
de landbouw. Ministerie van Landbouw, Visserij en Voed-
selvoorziening, 's-Gravenhage, p. 79-89.
- Brouwer, R. 1966 Root growth of grasses and cereals. In: F. L. Milthorpe
& J. D. Ivins (Eds.), The growth of cereals and grasses.
Proc. Easter Sch. agric. Sci. Univ.Nott. p. 153-166.
- Dilz, K. 1964 Over de optimale stikstofvoeding van granen. Versl. land-
bouwk. Onderz. 641.
- Ermich, D. 1968 Untersuchungen über den Einfluss der Bodendichte auf
Pflanzenwachstum und Ertrag. In: Problems of Soil Cul-
tivation. Proc. int. scient. Symp. Probl. Soil Management,
1966, Brno, p. 69-75.
- Gardner, H. R. &
R. E. Danielson 1964 Penetration of wax layers by cotton roots as affected by
some soil physical conditions. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 28:
457-460.
- Goedewaagen, M. A. J. 1937 The relative weight of shoot and root of different crops
and its agricultural significance in relation to the amount
of phosphate added. Soil Sci. 44: 185-202.
- Goedewaagen, M. A. J. 1942 Het wortelstelsel der landbouwgewassen. Departement
van Landbouw en Visserij, Directie van de Landbouw,
's-Gravenhage.

- Goedewaagen, M. A. J.,
C. van den Berg,
D. van den Bosch,
J. Butijn, J. J. Jonker,
D. van der Schaaf en
J. J. Schuurman 1955 Wortelgroei in gronden, bestaande uit een bovengrond van klei en een ondergrond van zand. Versl. landbouwk. Onderz. 61.7.
- Hackett, C. &
A. M. Holloway 1966 The development of plant roots. Quantitative studies on the barley root system. A. Rep. agric. Res. Coun. radio-biol. Lab. 1965-1966: 31-34.
- Håkansson, I. 1965 Studier av matjordens struktur på ett fält med ojämn gröda. Grundförbättring 3: 121-136.
- Håkansson, I. 1966 Forsök med olika packningsgrader i matjorden och alvens översta del. Grundförbättring 4: 281-332.
- Jonker, J. J. 1958 Bewortelingsonderzoek en ondergrondbewerking in de Noordoostpolder. Van Zee Ld 25.
- Kaizer, M. &
A. Künze 1968 Einfluss der Lagerungsdichte verschiedener Bodenarten auf einige physikalische Bodeneigenschaften und auf die Entwicklung von Winterroggen. In: Problems of Soil Cultivation, Proc. int. scient. Symp. Probl. Soil Management, 1966, Brno, p. 49-62.
- Kulescha, M. 1931 Oriënterend onderzoek over de ontwikkeling van het wortelstelsel bij 2878 POJ in verband met de grondsoort. Meded. Proefstn Java-SuikerInd. 8: 317-358.
- Locke, L. F. &
L. A. Clarke 1924 Development of wheat plants from seminal roots. J.Am. Soc. Agron. 16: 261-268.
- Murty, G. S. 1965 The effect of soil compaction on plant growth and nutrient uptake and a technique to study its mechanism. Diss. Abstr. 25: 1452.
- Opitz, K. 1904 Untersuchungen über Bewurzelung und Bestockung einiger Getreidesorten. Mitt.landw.Inst.K. Univ. Breslau 2.
- Paauw, F. van der 1949 Water relations of oats with special attention to the influence of periods of drought. Pl. Soil 4: 303-341.
- Périgaud, S. 1966a Effets de la résistance mécanique et du déficit en oxygène sur le développement racinaire. C.r.hebd.Séanc. Acad.Agric.Fr. 51: 1209-1220.
- Périgaud, S. 1966b Racines et absorption minérale des plantes. Revue Agriciers Fr. 52: 9-29.
- Phillips, R. E. &
D. Kirkham 1962 Soil compaction in the field and corn growth. Agron. J. 54: 29-34.
- Revut, I. B. 1968 Reaction of some cultivated plants on the physical properties and on the biological activity of soil (in Russian). In: Problems of Soil Cultivation. Proc.int.scient. Symp. Probl. Soil Management, 1966, Brno, p. 31-41.

- Sande Bakhuijzen, H. L. van de 1937 Studies on wheat grown under constant conditions. Food Research Institute, Stanford University California.
- Schneider, G. 1912 Vegetationsversuche mit 88 Hafersorte. Landw. Jbr 42: 767-822.
- Schulze, B. 1911 Wurzelatlas. Paul Parey, Berlin.
- Schuurman, J. J. 1965 Influence of soil density on root development and growth of oats. Pl. Soil 22: 352-374.
- Schuurman, J. J. & M. A. J. Goedewaagen 1965 Methods for the examination of root systems and roots. Pudoc, Wageningen.
- Sevljagin, A. J. 1968 Response of crops on various soil densities (in Russian). In: Problems of Soil Cultivation. Proc.int.scient.Symp. Probl. Soil Management, 1966, Brno, p. 93-102.
- Sinnott, E. W. 1960 Plant morphogenesis, McGraw-Hill, New York.
- Steineck, O. 1964 Sprossbildung und Wurzelwachstum verschiedener Kulturpflanzen bei konstantem Angebot steigender Nährstoffen N und K. Bodenkultur 15: 268-284.
- Stranák, A. 1968 Závislost růstu a výnosu obilnin na fyzikálních vlastnostech půdy. In: Problems of Soil Cultivation, Proc.int. scient. Symp. Probl. Soil Management, 1966, Brno, p. 17-29.
- Strebeyko, P. 1961 Growth and absorption of mineral elements (N, P, K) in oats. Acta Soc.Bot.Pol 30: 15-24.
- Tackett, J. L. & R. W. Pearson 1964 Oxygen requirements of cotton seedling roots for penetration of compacted soil cores. Proc.Soil Sci.Soc.Am. 28: 600-605.
- Tindjulis, A. 1968 Soil density and plant growth (in Russian). In: Problems of Soil Cultivation. Proc.int.scient.Symp. Probl. Soil Management, 1966, Brno, p. 63-67.
- Troughton, A. 1956 Studies on the growth of young grass plants with special reference to the relation between the shoot and root systems. J.Br. Grassld Soc. 11: 56-65.
- Troughton, A. 1957 The underground organs of herbage grasses. Bull.Commonw. Bur. Past Fld Crops 44.
- Troughton, A. 1961 The effect of photoperiod and temperature on the relationship between the root and shoot systems of *Lolium perenne*. J.Br. Grassld Soc. 16: 291-295.
- Williams, R. D. 1957 Growth and nutrition of timothy (*Phleum pratense* L.). Ann. appl. Biol. 45: 664-673.
- Witsell, L. E. 1964 Effects of soil compaction on plant growth. Diss. Abstr. 25: 3198.