

657 6552.03 4631.417, 582.14.2

S. 9/21

# WORTELPRODUCTIE OP BOUW- EN GRASLAND ALS BRON VAN ORGANISCHE STOF IN DE GROND

Dr M. A. J. GOEDEWAAGEN en Dr J. J. SCHUURMAN,  
Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O.

*Root production on arable land and on Grassland as a source of organic matter in the soil.  
Summary see p. 481.*

## 1. INLEIDING.

Het is reeds lang bekend, dat de landbouwgewassen met hun wortels en onderaardse stengeldelen aanzienlijke hoeveelheden organische stof in de grond kunnen brengen en dat na de oogst der gewassen ook de stoppels daar in belangrijke mate toe kunnen bijdragen. Voor een juiste beoordeling van de behoefte van de grond aan organische bemesting zal men zich dus rekenschap moeten geven van de hoeveelheid organische stof, die door de gewassen zelf in de grond wordt „afgezet” en die bij het onderbrengen van de stoppel daaraan nog wordt toegevoegd.

Wij zullen trachten, aan de hand van de resultaten van eigen bepalingen en literatuurgegevens een overzicht te geven van de hoeveelheden wortels en stoppels, die door de voornaamste gewassen per ha kunnen worden voortgebracht. Aan het Landbouwproefstation te Groningen werden de laatste jaren op een aantal percelen grasland worteldichtheidsbepalingen in verschillende bodemlagen verricht, die een globale indruk geven van de wortelproductie van het grasdek per ha en van de verdeling der wortelmasa in de grond.

Ten aanzien van de akkerbouwgewassen beschikken wij echter niet over voldoende gegevens om een algemeen beeld te kunnen geven van de wortelproductie dezer gewassen, daar het wortelonderzoek, dat tot dusver aan het Proefstation op bouwland werd verricht, niet in de eerste plaats bedoeld was om de hoeveelheid wortel- en stoppelresten der geoogste gewassen per ha vast te stellen. Om een beter inzicht te kunnen geven van de hoeveelheid wortels en stoppels, die onze akkerbouwgewassen in de grond achterlaten, zullen de leemten in ons materiaal met gegevens uit de literatuur worden aangevuld.

Bij het verzamelen dezer gegevens bleken de opgegeven wortel- en stoppelopbrengsten, zelfs bij één en hetzelfde gewas, sterk uiteen te lopen. Dit heeft niet te verwonderen, als men bedenkt, dat er tussen de diverse gewassen en zelfs tussen de rassen van een zelfde plantensoort, grote verschillen in bewortelingsvermogen bestaan. Daarbij komt, dat de wortelontwikkeling in hoge mate afhankelijk is van de bodemomstandigheden en van andere groeifactoren, die bij de bemonsterde gewassen uiteraard aanzienlijk kunnen hebben verschild.

Er is echter reden om te twifelen aan de betrouwbaarheid van de waarden, die door de diverse auteurs voor de wortel- en stoppelopbrengsten worden opgegeven. Er worden nl. aan het quantitative wortelonderzoek hoge eisen gesteld, waaraan door de onderzoekers niet altijd is voldaan. Dat hierdoor ernstige fouten zijn gemaakt, hopen wij in de eerstvolgende paragrafen duidelijk te maken.

Desondanks is het aan de hand van de literatuurgegevens en van de uitkomsten van eigen onderzoek tenslotte toch mogelijk gebleken, de hoeveelheid wortels en stoppels, die na de oogst van het gewas en de bewerking van het land gemiddeld in de grond achterblijven, bij benadering vast te stellen.

## 2. METHODIEK BIJ DE BEPALING VAN DE WORTEL- EN STOPPELOPBRENGSTEN DER GEWASSEN PER HA.

a. *Indirecte methode.* Deze methode is toegepast door de Duitse onderzoeker SCHULZE (13). Hij berekende het wortelgewicht uit het gewicht der bovengrondse delen kort voor de oogst, nadat hij tevoren bij culturen in diepe kweekbakken de verhouding van het spruit- en wortelgewicht had vastgesteld. Vervolgens werden de bij de oogst achtergebleven stoppels bemonsterd, gespoeld, gedroogd en gewogen, waarna het verkregen stoppelgewicht na omrekening per ha bij het berekende wortelgewicht per ha werd opgeteld. Deze werkwijze is ook door enige andere onderzoekers toegepast met de gegevens van SCHULZE omtrent de spruit-wortelverhouding. Daar echter deze verhouding in hoge mate afhankelijk is van het ontwikkelingsstadium der planten en van de bodemomstandigheden, verdient deze methode in het algemeen geen aanbeveling, al moet worden toegegeven, dat SCHULZE, die als wortelonderzoeker over een grote ervaring beschikte, hiermee aannemelijke waarden heeft verkregen.

b. *Directe methode.* De meeste onderzoekers, die getallen betreffende de wortelproductie per ha hebben gepubliceerd, hebben daartoe op één of meer plekken van het voor onderzoek bestemde perceel grondmonsters van een bepaald oppervlak en tot een bepaalde diepte genomen, de wortels hieruit vrij gespoeld en deze kwantitatief op een zeef verzameld, gedroogd en in luchtdroge toestand gewogen. De aldus verkregen drooggewichten der wortels werden omgerekend in kg of quintalen ( $q = 100 \text{ kg}$ ) per ha. De factor, die voor deze herleiding werd gebruikt, hing uiteraard af van het bodemoppervlak, dat de grondmonsters op de monsterplekken gezamenlijk in beslag namen. (Vaak bleef de bemonstering beperkt tot de bouwvoor; andere onderzoekers namen de monsters tot een diepte van 30 cm of gingen 10 à 20 cm dieper. Slechts bij uitzondering werd de ondergrond tot op grote diepte bemonsterd).

Eenjarige gewassen werden doorgaans tijdens de bloei of de vruchtzetting of ook wel na de oogst van het gewas op het stoppelland bemonsterd, groenbemesters echter meestal in een vroeger stadium van ontwikkeling. Bij tweejarige gewassen had de bemonstering in het tweede jaar aan het einde van de groeiperiode plaats, terwijl het wortelonderzoek bij meerjarige gewassen op ongeregelde tijden en dus op verschillende leeftijden plaats vond. In de regel werden met de wortels ook de stoppels uitgespoeld en deze te zamen met de wortels gedroogd en gewogen.

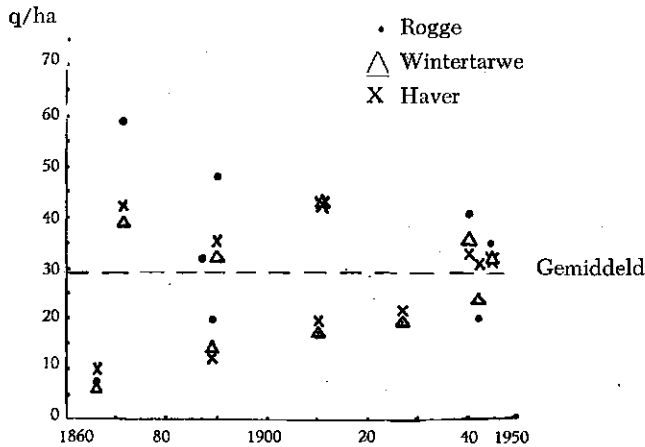
Aan het Landbouwproefstation werd bij het kwantitatieve wortelonderzoek eveneens de directe methode toegepast. Voor de monsterneming werd gebruik gemaakt van een boor, waarmee de grond laagsgewijze werd bemonsterd. In andere gevallen werden bovendien kuilen gegraven en werden er tot een diepte van 1 m uit één der profielwanden kluiten afgestoken, die een oppervlakte hadden van 60 bij 20 of 60 bij 30 cm (6). Daar met dit onderzoek in de eerste plaats beoogd werd, de wortelontwikkeling te bestuderen en de stoppels ons dus minder interesseerden, werden de gewassen in de regel vóór de bemonstering bij de grond afgesneden. Om nu bij de bouwlandgewassen aan de hand van deze wortelgewichten de opbrengsten aan wortels plus stoppels te kunnen vaststellen, werd een correctie voor de stoppels aangebracht (zie blz. 473). Wanneer in het vervolg van dit artikel over wortelgewichten wordt gesproken, zijn hierbij de stoppelgewichten inbegrepen.

## 3. FOUTENBRONNEN BIJ DE BEPALING DER WORTEL- EN STOPPELOPBRENGSTEN.

In de inleiding werd reeds de opmerking gemaakt, dat de in de literatuur opgegeven wortelgewichten een grote variatie vertonen. Om hiervan een idee te geven, hebben wij de wortelopbrengsten der voornaamste graangewassen, waarover de meeste gegevens zijn gepubliceerd, over een periode van 1866 tot 1948 grafisch weergegeven in fig. 1, met vermelding van de namen der landbouwkundigen, waaraan de cijfers werden ontleend, en van de jaren, waarin zij zijn gepubliceerd.

Bij nadere beschouwing van deze grafiek valt het op, dat de wortelopbrengstcijfers bij de diverse onderzoekers op een verschillend niveau liggen. Nog duidelijker komt dit tot uiting in tabel 1, waarin de wortelopbrengsten der graangewassen van een drietal dezer auteurs zijn opgenomen. In afwijking van fig. 1 zijn in de tabel ook de cijfers voor gerst vermeld.

Daar deze landbouwkundigen hun bepalingen in verschillende gebieden hebben verricht, is men geneigd de afwijkende waarden in de eerste plaats aan de invloed der cultuuromstandigheden, bijv. aan verschillen in vruchtbaarheid van de grond, toe te schrijven. De opbrengstcijfers verschillen echter dermate, dat men zich niet onttrekken kan aan de indruk, dat hier aan een invloed van de methodiek moet worden gedacht. Wel hebben deze onder-



SCHUMACHER 1866 HEIDEN 1887 SCHULZE 1910 HASELHOFF 1927 LIMB. HOF 1940  
 WEISKE 1871 BLOMEYER 1889 STOKLASA 1911 GRONINGEN 1936-1948  
 PISTOHLKORS 1890 GERICKE 1943-1946

FIG. 1. LUCHTDRÖGGEGEWICHTEN DER WORTELS (INCL. STOPPEL) VAN ENIGE GRAANGEWASSEN IN DE BOVENGROND (0-30 CM), ONTLEEND AAN DE LITERATUUR VAN 1866 TOT 1946 EN AAN RECENTE GEGEVENS VAN HET LANDBOUWPROEFSTATION TE GRONINGEN.

zoekers, met uitzondering van SCHULZE en HASELHOFF, de spoelmethode toegepast, maar de ervaring heeft ons geleerd, dat kleine verschillen in de toepassing dezer methode grote afwijkingen in wortelopbrengst kunnen teweegbrengen.

Reeds bij het nemen der grondmonsters kunnen grote fouten worden gemaakt. In verband met de ongelijkmatige verdeling van de wortelmassa in de grond kan niet met één of enkele monsterplekken worden volstaan, ook al schijnt het gewas op deze plekken representatief te zijn voor de begroeiing in haar geheel. Vooral op bouwland worden aan de wortelbemonstering hoge eisen gesteld, daar de wortelmassa wegens de rijenzaai of de vrij grote onderlinge afstand der planten zeer ongelijkmatig in de grond is verdeeld. Wij hebben waargenomen, dat de worteldichtheid in de bovengrond onder de planrijen vele malen groter is dan tussen de rijen. Een goede methode is, de grondmonsters zo groot te nemen, dat het gewichtsverval der wortels daarin geheel is vervat. Zo werden door ons op een lucerne-proefveld, waar de afstand der planrijen 25 cm bedroeg, blokken grond uitgegraven van 15 bij 50 cm ter diepte van 40 cm, en wel zo, dat er in elk blok twee rijen planten over een lengte van 15 cm werden opgenomen (12).

Tabel 1. Lucht droog gewichten der wortels, met inbegrip der stoppels, in quintalen per ha.

Onderzoeker		Rogge	Winter-tarwe	Haver	Gerst
SCHUMACHER .....	1866	7	6	10	5
STOKLASA .....	1911	43	43	43	49
HASELHOFF .....	1927	20	20	21	13

Een ernstige foutenbron is gelegen in de spoeltechniek, omdat het resultaat daarvan voor een groot deel afhangt van de maaswijdte der zeven, die voor het opvangen der wortels worden gebruikt. Grove zeven kunnen aanzienlijke verliezen aan wortels veroorzaken, terwijl bij gebruik van fijne zeven het gevaar bestaat, dat grovere gronddeeltjes op de zeef achterblijven, die na droging der wortelporities veel gewicht in de schaal leggen en te hoge waarden kunnen veroorzaken. Aan het Proefstation wordt met succes gebruik gemaakt van fijne zeven met een maaswijdte van ongeveer  $\frac{1}{4}$  mm in het vierkant. Om verontreiniging der wortelmonsters met grond te voorkomen, wordt deze laatste door herhaald decanteren zorgvuldig uit de wortels verwijderd (6).

Er zijn echter nog andere omstandigheden, die in meer of mindere mate afbreuk gedaan kunnen hebben aan de betrouwbaarheid en de vergelijkbaarheid der gepubliceerde resultaten.

Zo zijn verschillende onderzoekers in gebreke gebleven, te vermelden, tot welke diepte zij de grond hebben bemonsterd. Een andere foutenbron is gelegen in verontreinigingen van het bemonsterde perceel met onkruidwortels of met onvergane, moeilijk te verwijderen wortel- en stoppelresten van vroegere culturen, welke laatste blijkens onze ervaring op gronden, waar de bodembacteriën weinig actief zijn, soms wel 55% van de bruto wortelmasa kunnen uitmaken.

Een bedenkelijke omstandigheid is verder, dat het wortelgewicht, dat met de leeftijd der planten pleegt toe te nemen, bij verscheidene gewassen zijn maximum reeds bereikt en overschrijdt, vóór de planten oogstrijp zijn. Bij graangewassen ligt dit maximum tijdens het schieten of de bloei der planten. In rijpe toestand wordt bij deze planten door het gedeeltelijk afsterven en vergaan der wortels gemiddeld nog slechts de helft der wortels teruggevonden (14). In mindere mate is dit ook bij koolzaad het geval. Het kan dus bij deze gewassen voor het wortelgewicht groot verschil uitmaken, of de bemonstering tijdens de bloei of de vruchtzetting dan wel in het rijpe gewas wordt verricht. Een andere factor, die grote invloed kan hebben op het totale gewicht der oogstresten, is het gewicht der stoppels, daar dit naar gelang van de zichthoogte grote verschillen kan vertonen. Eén centimeter stoppelengte meer kan de stoppelopbrengst en dus ook het gewicht der gezamenlijke oogstresten reeds met 80 à 100 kg per ha doen toenemen.

Bij nadere bestudering der wortelopbrengstcijfers, is ons gebleken, dat de verschillende onderzoekers zich van deze foutenbronnen niet voldoende rekenschap hebben gegeven. Ongetwijfeld moet het voor een groot deel hieraan worden toegeschreven, dat de wortelopbrengstcijfers in fig. 1 naar gelang van de auteur zulke grote verschillen vertonen. Hoogstwaarschijnlijk zijn de grootste fouten gemaakt bij het spoelen der grondmonsters. De variatie is in fig. 1 het grootst omstreeks 1870 en schijnt met de jaren geleidelijk te zijn afgenomen, hetgeen erop wijst, dat men in de loop der jaren geleerd heeft, bij het quantitative wortelonderzoek grove fouten te vermijden.

Opmerkelijk is ook de symmetrische groepering der punten in deze grafiek. Over de gehele linie schommelen de wortelopbrengstcijfers van deze graangewassen om een gemiddelde waarde, die in fig. 1 met een stippellijn is aangegeven en 29 quintalen per ha bedraagt.

Men kan zich dus een idee vormen van de grootte-orde der wortelopbrengsten door van de gewassen afzonderlijk het gemiddelde te bepalen van de gegevens, die wij hierover in de literatuur hebben aangetroffen. Berekenen wij op deze wijze de gemiddelde wortelopbrengsten van rogge, wintertarwe en haver aan de hand van de grafiek, dan blijken deze resp. 31, 26 en 28 q/ha te bedragen, welke waarden vermoedelijk bevredigend aan de werkelijkheid beantwoorden.

Bij verscheiden gewassen stonden ons in de oudere literatuur niet genoeg gegevens ter beschikking voor het verkrijgen van een enigszins betrouwbaar gemiddelde. In die gevallen hebben wij ons bepaald tot de gegevens van GERICKE en (of) van eigen onderzoek, daar deze recente waarden, te oordelen naar de wortelopbrengsten der graangewassen in fig. 1, de werkelijkheid het best schijnen te benaderen.

#### 4. DE WORTEL- EN STOPPELOPBRENGSTEN DER BOUWLANDGEWASSEN IN DE BOVENGROND.

In tabel 2 zijn de gemiddelde lichte opbrengsten aan wortels en stoppels van de voornaamste bouwlandgewassen per hectare opgegeven voor de gemiddelde bouwvoordikte (0-20 cm). Zij zijn verkregen door het gemiddelde te bepalen van de wortelopbrengstcijfers in de literatuur en van eigen onderzoek zoals in de vorige paragraaf werd beschreven. Voor deze berekening is gebruik gemaakt van gegevens, ontleend aan werken van Woods (1890), SCHNEIDWIND (1911), WOZAK (1929) en BOONSTRA (1931) alsmede van de 11 landbouwkundigen en instanties, die in fig. 1 zijn genoemd. Om een idee te geven van de betrouwbaarheid dezer cijfers is in een aparte kolom opgegeven, van hoeveel auteurs c.q. instellingen de gegevens werden gemiddeld.

Hierbij dient opgemerkt te worden, dat de literatuurgegevens, waaruit de gemiddelde

waarden van tabel 2. werden berekend, merendeels betrekking hadden op een laagdikte van 0 en bij 30 cm. Zo werden door GERICKE, die verreweg de meeste wortelproductiecijfers heeft gepubliceerd, de monsters tot een diepte van 30 cm genomen. Dit geschiedde ook door het Proefstation Limburger Hof, terwijl andere auteurs soms minder diep, andermaal dieper hebben bemonsterd.

Er werd echter voor het wortelgewicht in de laag van 20–30 cm geen correctie aangebracht, daar bij de door ons toegepaste laagsgewijze bemonstering het percentage aan wortels in deze laag zo gering werd gevonden (bij granen bijv. gemiddeld 11% van de zuivere wortelmassa in de laag van 0–30 cm), dat het wortelgewicht in de laag van 20–30 cm verre in het niet valt bij de in de literatuur opgegeven gewichten der wortels plus stoppels, die bovendien met een vrij grote fout behept zijn.

Zoals boven reeds werd opgemerkt, werden door ons in de meeste gevallen na het vrij spoelen der wortels de stoppels verwijderd en dus alleen de zuivere wortelgewichten in de diverse lagen bepaald. Om nu hieruit de bruto-wortelgewichten (d.i. met inbegrip der stoppels) te kunnen berekenen en deze gewichten te kunnen inschakelen bij het berekenen der literatuur-gemiddelden, werd bij graangewassen gebruik gemaakt van een opgaaft van GERICKE (4), die gevonden heeft, dat de wortel- en stoppelgewichten zich bij deze gewassen in de laag van 0–30 cm gemiddeld verhouden als 3 : 2. Bij andere gewassen, waar de stoppelwortelverhouding niet bekend is, werden de stoppelgewichten door ons globaal berekend uit de stro-opbrengsten, die van deze gewassen door VAN DER MEER en VAN DEN BAN (11) zijn opgegeven, en wel zo, dat de lengte der stoppels daarbij op 7 cm werd gesteld en rekening werd gehouden met de normale lengte van het stro alsmede met het feit, dat de stengels naar de top toe in dikte afnemen. Voor alle zekerheid werd bij enkele gewassen het aldus bij benadering vastgestelde stoppelgewicht aan waarnemingen op stoppeland getoetst en hierbij een bevredigende overeenstemming gevonden.

Tabel 2. Gemiddelde luchtdroge opbrengsten aan wortels en stoppels van een aantal bouwlandgewassen in quintalen per ha in de laag 0–20 cm. De gemiddelde waarden zijn berekend uit de opgaven der diverse auteurs en van eigen onderzoek.

Gewas	Gem. opbrengsten in q/ha	Aantal auteurs	Gewas	Gem. opbrengsten in q/ha	Aantal auteurs
Rogge	31	11	Lucerne	57	4
Wintertarwe	26	10	Rode klaver	22	4
Zomertarwe	15	4	Witte klaver	14	1
Wintergerst	21	3	Paardebonen	12	3
Zomergerst	14	8	Hopperupsklaver	10	2
Haver	28	10	Lupine (Bl. + G.)	9	4
			Wikke	7	3
Aardappelen	3	2	Erwtten	4	5
Voederbieten	8	1	Serradella	3	3
Suikerbieten	6	2			
			Karwij	39	1
			Koolzaad	29	5
			Gele mosterd	10	1

Wanneer wij de wortelopbrengstcijfers van tabel 2 nader bekijken, dan kunnen de voornaamste resultaten in het kort als volgt worden samengevat:

1. Bij vergelijking van de wortelproductiegegevens der graangewassen valt het op, dat de wortel- en stoppelgewichten bij de wintergranen, vermoedelijk wegens de langere vegetatieduur, hoger zijn dan bij de overeenkomstige zomergranen. Wintertarwe wint het van zomertarwe met een bedrag van 11, wintergerst van zomergerst met 7 q/ha. Een dergelijk verschil ten gunste van het wintergewas vond GERICKE (4) in Duitsland bij vergelijking van winterrogge met zomerrogge. Er is echter een groot verschil

tussen de graansoorten onderling. Haver staat onder de zomergewassen bovenaan met een gemiddelde wortelopbrengst van 28 q/ha. Tarwe geeft een hoger rendement aan wortels dan gerst.

2. Een zeer geringe wortelproductie komt bij de hakvruchten voor, vooral bij aardappelen met 3 q/ha. Bij een opbrengst aan knollen van 300 q/ha bedraagt het drooggewicht der wortels slechts 1% van de opbrengst. GERICKE (4) geeft 190 kg wortels op bij een gemiddelde knollenopbrengst van 170 q/ha, dus 1,1% en KLAESENER (8) vond bij drie aardappelrassen aan luchtdroge wortels gemiddeld 0,5% van het gewicht der knollen, hetgeen bleek overeen te komen met 2,4% van het drooggewicht der knollen. Ook de bieten hebben lage waarden gegeven. Hierbij zijn uiteraard alleen de eigenlijke wortels en niet de bieten in rekening gebracht.
3. Een bevredigende wortelopbrengst geven onder de eenjarige planten koolzaad en karwij, hoewel de opbrengst van dit laatste gewas wegens het tekort aan gegevens nog wat onzeker is.
4. Van de meerjarige vlinderbloemige gewassen geeft rode klaver een goede wortelopbrengst en hoger dan witte klaver. Overigens bieden deze gemiddelde waarden weinig houvast, daar het wortelgewicht sterk toeneemt met de leeftijd der planten (14) en deze in de literatuur niet altijd is vermeld. De hoogste, voor rode klaver vermelde waarde is 36 q/ha (4). Ver daarboven uit gaat lucerne met 57 q/ha. De hoogst opgegeven opbrengst bedroeg bij dit gewas 85 q/ha (PISTOHLKORS 1890). Mogelijk was dit gewas 4 à 5 jaar oud, daar door ons bij een goed, driejarig gewas een wortelopbrengst van 40 q/ha werd gevonden (12). In tegenstelling hiermee hebben de eenjarige of slechts korte tijd gekweekte vlinderbloemigen en andere groenbemesters slechts een gering wortelgewicht gegeven.

tante Ber

Met de wortelopbrengstbepalingen der niet-overjarige groenbemesters hebben wij aan het Proefstation pas sinds kort een begin gemaakt. Zo werd door ons bij rode klaver, die 30 April 1949 onder zomergerst als dekvrucht was gezaaid, in de maand September van hetzelfde jaar een wortelgewicht gevonden van 4 q/ha (luchtdroog). Nemen wij aan, dat de rode klaver bovengronds 30 quintalen per ha aan droge stof heeft geproduceerd, wat een redelijke opbrengst kan worden genoemd, dan zou het wortelgewicht 13% bedragen van het drooggewicht der groene delen. GERICKE (3), die veel waarnemingen bij groenbemesters heeft gedaan, vindt voor het relatieve wortelgewicht der groenbemesters gemiddeld 17%, een waarde, die van de onze niet zo veel verschilt.

Hierdoor wordt het mogelijk, de hoeveelheid wortels van deze gewassen bij ruwe benadering vast te stellen, wanneer de opbrengst der bovengrondse delen bekend is. In een artikel van Ir P. G. MEIJERS <sup>1)</sup> worden voor het drooggewicht van de bovengrondse massa van stoppelklavers, die onder dekvrucht waren gezaaid, en van enige nagewassen waarden opgegeven, die gemiddeld ongeveer 30 q/ha bedragen. Houden wij ons aan het relatieve wortelgewicht van 17%, dan zou dit gemiddelde stijgen tot circa 35 q/ha, indien wij ons een idee wilden vormen van de totale hoeveelheid droge stof, die met deze groenbemesters gemiddeld in de grond wordt gebracht.

Het zijn dus vooral de graangewassen, de meerjarige Leguminosen en enige handelsgewassen, die zich door een hoge wortelproductie van de andere ge-

<sup>1)</sup> Deze bijdrage van Ir P. G. MEIJERS verschijnt in de Juni-aflevering van het *Maandblad voor de Landbouwwoorlichtingsdienst*.

wassen onderscheiden. Wat bv. een wortel- en stoppelrendement bij rogge van ca 30 q/ha betekent, wordt duidelijk, wanneer men bedenkt, dat in ons land het bouwland, waar mogelijk, om de drie jaar wordt bemest met een hoeveelheid stalmest van 20 à 30 ton, of per jaar met 7 à 10 ton, hetgeen bij een organische stofgehalte van de stalmest van 15% overeenkomt met een hoeveelheid organische stof van 10 tot 15 q/ha. Men ziet hieruit, dat onze granen en ook andere gewassen, zoals koolzaad, karwij, overjarige rode klaver en vooral lucerne met hun wortels en stoppels veel meer organische stof in de grond brengen dan de stalmest, in tegenstelling met bieten en aardappelen, die ten opzichte van de stalmestbemesting een grote achterstand vertonen.

De getallen van tabel 2 maken het mogelijk, globaal te berekenen, hoeveel organische stof er met de wortels en stoppels gemiddeld per jaar en per ha op bouwland in de grond achterblijft, indien men weet, welk gedeelte van het bouwland in ons land onderscheidenlijk met granen, hakvruchten, Leguminosen en verdere gewassen wordt verbouwd. Op deze wijze berekende GERICKE (3) voor Duitsland, dat de jaarlijkse wortel- en stoppelproductie in dat land ongeveer 18 q/ha bedraagt. Voor de groenbemesters werd hier een bedrag van 5 q/ha bij opgeteld, zodat de grond via de gewassen voor een totaal bedrag van 23 q/ha van organische stof zou worden voorzien. Met de stalmest, waarvan de verstrekte hoeveelheid per jaar op 15 q/ha wordt geschat, wordt dit dus een totaal bedrag van 38 quintalen welke het bouwland in Duitsland langs natuurlijke weg en door bemesting met stalmest per jaar aan organische stof ontvangt. Daar de wortelopbrengstcijfers van GERICKE, te oordelen naar fig. 1, slechts weinig van de berekende gemiddelde waarden der diverse auteurs verschillen en dus als vrij betrouwbaar kunnen worden beschouwd en de verhouding van het met de genoemde gewassen beteelde bodemoppervlak in Nederland (16,17) niet veel van de situatie in Duitsland verschilt, zijn zijn uitkomsten in grote trekken ook op ons land van toepassing.

Belangrijk is ook een mededeling van GERICKE (3), dat stalmest sneller verteert dan de wortel- en stoppelresten. Deze laatste zouden, in tegenstelling met stalmest, een stijging van het humusgehalte in de grond teweegbrengen. Hij geeft enige cijfers, waaruit blijkt, dat door een vaak herhaalde verbouw van granen of overjarige vlinderbloemigen de humustoestand van de grond wordt verbeterd.

Van belang is ook, dat er in de wortels en stoppels niet te veronachtzamen hoeveelheden stikstof en minerale bestanddelen achterblijven, die daarin voor uitspoeling worden behoed en bij het verteren van deze plantendelen in de grond geleidelijk vrij komen en de volgende gewassen gedeeltelijk ten goede komen. Wij troffen bij 3-jarige lucerne, die in de laag van 0-40 cm 4500 kg wortels en „wortelkoppen” (luchtdroog) per ha had geproduceerd, in deze plantendelen 130 kg stikstof, 40 kg fosforzuur en 53 kg kali aan (12) en door GERICKE (4) wordt voor de wortel- en stoppelresten van graangewassen (in totaal 26 q/ha) bij een laagdikte van 30 cm een hoeveelheid van 23 kg N, 11 kg  $P_2O_5$ , 30 kg  $K_2O$  en 25 kg CaO opgegeven.

##### 5. DE WORTELPRODUCTIE DER BOUWLANDGEWASSEN IN DE ONDERGROND.

In een homogene grond neemt het wortelnet naar de diepte toe geleidelijk in dichtheid af. In een normale cultuurgrond echter, waar de groeiomstandigheden in de bouwvoor veel gunstiger zijn dan in de ondergrond, treedt er — vooral op gronden met een stijve ploegzool — naar beneden toe vaak een

plotselinge daling in de worteldichtheid op. Niet zelden blijft de wortelmassa naar de diepte afnemen, doch in andere gevallen — wanneer bv. de structuur en de vochtverdeling gunstiger worden — ziet men de wortelmassa weer stijgen om pas op grote diepte af te nemen. Bijna altijd is, zelfs bij planten met diepgaande wortelstelsels, de wortelmassa in de bouwvoor groter, — meestal zelfs veel groter — dan in de ondergrond.

Wij hebben dit nagegaan bij elf gewassen en vonden toen in de laag van 0—20 cm bij een gemiddelde bewortelingsdiepte dezer gewassen van 1,10 m aan zuivere wortels zonder stoppels een hoeveelheid, die gemiddeld 74% bedroeg van de totale wortelmassa met een variatie van 55 tot 95%. De wortel-opbrengst bedroeg bij deze gewassen in de ondergrond (beneden 20 cm) gemiddeld 3,8 q/ha met een speling van 0,3 tot 10 q. Hoewel deze variatie voor een groot deel verband houdt met de groeiomstandigheden voor de wortels in de ondergrond, werden er in dit opzicht ook tussen de gewassen onderling verschillen waargenomen, waarover echter thans nog geen vaststaande gegevens kunnen worden verstrekt.

Hoewel dus de ondergrond zeer ijl doorworteld is, mag de betekenis daarvan voor de bodemvruchtbaarheid toch niet worden onderschat. De ondergrondwortels, die na het afsterven van het gewas door bodembacteriën worden ontleed, dragen bij tot een verbetering van de structuur en wel in die zin, dat zij kanaaltjes doen ontstaan, die zowel de aëratie als de afwatering begunstigen. Gewassen met diepgaande wortels, zoals lucerne, kunnen de ondergrond daardoor beter toegankelijk maken voor gewassen, die hun wortels minder gemakkelijk in de ondergrond uitzenden. Zo treft men bij aardappelen slechts dan een diep wortelstelsel aan, wanneer de ondergrond aan de wortelgroei weinig weerstand biedt. Dit is o.m. het geval, wanneer er genoeg oude wortelgangen en wormgangen in de ondergrond voorhanden zijn.

Of de wortels in de ondergrond het humusgehalte kunnen doen stijgen, is nog niet nagegaan. Wel is waargenomen, dat zij de grond losser kunnen maken, waardoor de groeiomstandigheden voor de wortels gaandeweg worden verbeterd. Zo werd door MEIJERS en GOEDEWAAGEN (12) geconstateerd, dat lucerne in staat is een ploegzool geheel te doen verdwijnen, vermoedelijk tengevolge van het periodiek afsterven der fijnere wortels bij dit meerjarige en herhaaldelijk gemaaide gewas. Volgens een onderzoek van KILBINGER (7) zou rode klaver dezelfde eigenschap bezitten.

In zekere zin zijn de wortels in de ondergrond nog wel zo belangrijk als in de bovengrond, omdat zij in de diepere lagen vrijwel de enige bron van organische stof uitnaken, terwijl een eventueel tekort aan organische stof in de bouwvoor door een organische bemesting kan worden hersteld.

## 6. DE WORTELOPBRENGSTEN BIJ GRASLAND.

De beworteling op grasland verschilt van die der eenjarige akkerbouwgewassen hierin, dat het wortelgewicht bij grasland doorgaans aanzienlijk hoger is.

Ook is er een duidelijk verschil in de wortelverdeling, doordat bij graslandpercelen de wortels relatief meer in de bovengrond, vooral in de eerste 3 à 5 cm onder de oppervlakte, zijn opgehoopt. Wel treft men op 1-jarige kunstweiden nog een typische bouwlandbeworteling aan, maar met het ouder worden trekken de wortels zich min of meer naar de zodelaag terug.

Dit komt tot uiting in tabel 3, en wel het duidelijkst in de cijfers, die het



wortelgewicht in de laag van 0-5 cm aangeven in procenten van de wortel-massa in de bemonsterde laag (0-20 cm). Het betreft hier een onderzoek van een 5-tal graslandpercelen van verschillende ouderdom op zandgrond in Noord-Brabant. Uiteraard kunnen naast de ouderdom ook andere omstandigheden een rol hebben gespeeld en zo behoeft de afwijking, die het 15-jarige perceel te zien geeft, geen verwondering te wekken.

Tabel 3. Luchtdrooggewichten der wortels (inclusief wortelstokken) bij graslandpercelen van ongelijke ouderdom (Noord-Brabant).

Ouderdom in jaren	3	7	12	15	ouder dan 20
Wortelgewicht in laag 0-5 cm q/ha .....	57	58	85	70	77
Wortelgewicht in laag 0-20 cm q/ha .....	89	78	109	100	98
Wortelgewicht in laag 0-5 cm in % van laag 0-20 cm .....	64	75	78	69	78

De ophoping der graswortels in de zodelaag en de relatief verminderde wortel-groei in de ondergrond is een verschijnsel, dat men kunstmatig kan opwekken, door het gras vaak te snijden (10, 9, 2). De relatieve vermeerdering van de wortel-massa in de zodelaag in de eerste jaren van de kunstweideperiode wordt daarom veelal toegeschreven aan de gebruikswijze. Tengevolge van het maaien en het beweiden wordt de wortelgroei in de diepere bodemlagen benadeeld.

Tabel 3 laat verder zien, dat de absolute wortelgewichten in de zodelaag (0-5 cm), die aanvankelijk laag waren, bij het ouder worden der kunstweide eveneens een tendens tot stijgen vertonen, al treedt er een daling op bij de per-celen, die 15 resp. meer dan 20 jaar oud waren. In de laag van 0-20 cm, die minder duidelijk het zelfde verband te zien geeft, is er bij het 7 jaar oude perceel een inzinking, doordat de wortelgewichten bij dit perceel beneden 2½ cm veel lager waren dan bij het jongste perceel. Daar ingezaaid grasland na enige jaren meestal een sukkelperiode doormaakt, is het niet ondenkbaar, dat deze inzinking hiermee verband houdt. Opgemerkt dient te worden, dat het wortelgewicht op het driejarige graslandperceel in tabel 3 hoger is uitge-vallen dan gewoonlijk op kunstweiden wordt gevonden. Gemiddeld vonden wij op 6 graslandpercelen, die 2 tot 6 jaar oud waren, een hoeveelheid wortels van 60 q/ha in de laag van 0-20 cm en 40 q/ha in de laag van 0-5 cm.

Bij het oude grasland vertonen de wortelgewichten op diverse percelen een grote variatie. Voor een deel moet deze toegeschreven worden aan de variatie in bodemgesteldheid, grondwaterstand, bodemvruchtbaarheid en meer der-gelijke omstandigheden, die ook op bouwland de verschillen in wortelontwik-keling veroorzaken. Het wortelgewicht is echter mede afhankelijk van factoren, die voor de graslandcultuur specifiek zijn, zoals de botanische samenstelling van het grasdek en de gebruikswijze van het grasland, terwijl ook het tijdstip der bemonstering daarop van grote invloed kan zijn.

In verschillende streken van ons land, in hoofdzaak op klei- en zandgrond, is bij 15 percelen oud grasland het wortelgewicht in diverse bodemlagen zeer nauwkeurig bepaald (tabel 4).

De tabel laat zien, dat het gemiddelde wortelgewicht op de betreffende gras-landpercelen in de laag van 0-20 cm (70 q/ha) inderdaad hoger is dan op

Tabel 4. Wortelgewichten (luchtdroog), met inbegrip der wortelstokken, en diepte der worteling op diverse percelen oud grasland in Nederland in q/ha (achter de gemiddelden is tussen haakjes het aantal onderzochte percelen opgegeven).

Wortelgewichten 0-5 cm		Wortelgewichten 0-5 cm in % van totaal w. gewicht gemiddeld	Wortelgewichten 0-20 cm		Wortelgewichten 0-20 cm in % van totaal w. gewicht gemiddeld	Diepte der bewor- teling in cm	
gemid- deld	grenzen		gemid- deld	grenzen		gemid- deld	grenzen
52 (15)	18 tot 96	62 %	70 (15)	23 tot 110	87 %	73 (11)	36 tot 110

bouwland, waar bv. door de graangewassen gemiddeld niet meer dan ca 30 q/ha aan wortels én stoppels wordt geproduceerd. Van de hoeveelheid wortels, die zich in de gehele doorwortelde laag (d.i. tot een diepte van ca 73 cm) bevindt, is op grasland gemiddeld 87 % in de laag van 0-20 cm geconcentreerd tegen gemiddeld 74 % bij de onderzochte bouwlandgewassen. Dit percentage schommelde bij de graslandpercelen tussen 72 en 98 %, bij de bouwlandgewassen tussen 55 en 95 %.

De bij grasland gevonden wortelgewichten kunnen echter zonder meer geen goed beeld geven van de jaarlijkse wortelproductie. Bij eenjarige bouwlandgewassen is de situatie eenvoudiger, omdat het wortelgewicht, indien dit in het stadium van maximale wortelontwikkeling wordt bepaald, een maat is voor de wortelopbrengst van deze gewassen in het betreffende jaar, al is een gedeeltelijk afsterven en vergaan van wortels door tijdelijke wateroverlast, insectenvraat of anderszins niet geheel uitgesloten.

Bij grasland treft men echter altijd naast jonge levende wortels wisselende hoeveelheden oudere, dode wortels aan, die — zolang ze nog niet of onvoldoende verteerd zijn — deel uitmaken van het wortelgewicht. Onderzoekingen in Amerika hebben aan het licht gebracht, dat het wortelgewicht van enkele grassoorten in het voorjaar toeneemt, in de maand Mei een maximum bereikt en daarna geleidelijk daalt om in de winter een minimum te bereiken, dat ongeveer de helft bedraagt van het maximum in Mei (15). Bij periodieke bemonstering van een graslandperceel te Paterswolde werd door ons een overeenkomstig resultaat verkregen, alleen met dit verschil, dat zich in de maand September een tweede, zwakkere top in de kromme der wortelgewichten aftekende.

De stijging van het wortelgewicht in het voorjaar berust op de vorming van een groot aantal nieuwe wortels. Deze stijging wordt echter getemperd, doordat tegelijkertijd een deel der oudere, afgestorven wortels van het voorafgaande jaar door bacteriën wordt afgebroken. Later in het seizoen neemt de vorming van nieuwe wortels af en krijgt de afbraak der dode wortels de overhand.

Bij onvoldoende vertering der wortels kan de worteldichtheid sterk stijgen en kan er een toestand ontstaan, die voor de grasmat allerminst gunstig is. Men kan deze situatie aantreffen op percelen, waar door een te hoge zuurgraad, door een slechte structuur of door droogte de bacteriën onwerkzaam zijn geworden.

Zo verkregen wij in het late najaar van 1947 op één onzer graslandproefvelden een wortelgewicht van niet minder dan 100 q/ha in de laag van 0-20 cm, wat kennelijk een gevolg is geweest van onvoldoende afbraak van wortels tijdens de droogte in de voorafgaande zomer- en herfstmaanden. In jaren met een

normale regenval, zoals in 1948, werden op dit proefveld in hetzelfde jaargetijde slechts half zoveel wortels aangetroffen.

Een soortgelijk resultaat werd verkregen bij de bewerking der gegevens, die voor de samenstelling van tabel 4 hebben dienst gedaan. Onder de 15 in deze tabel verwerkte graslandpercelen waren er 7, die in de herfst van 1948 bemonsterd waren, toen het totale wortelgewicht zijn minimum begon te naderen. Gemiddeld werden er in deze monsters 46 q/ha wortels in de laag van 0-20 cm aangetroffen. Na hetgeen hierboven over de periodiciteit der wortelontwikkeling werd meegedeeld, mag worden verondersteld, dat op deze percelen de oudere wortels grotendeels verteerd waren en dat dus de gevonden 46 quintalen tennaastebij het gewicht vertegenwoordigen van de wortels, die in het lopende jaar gevormd waren. Vijf andere percelen, die in de herfst van het droge jaar 1947 werden bemonsterd, toen de omstandigheden voor de wortelvertering zeer ongunstig waren, leverden bijna twee maal zoveel wortels op, nl. 88 q/ha. Al met al lijkt het aannemelijk, dat de *jaarlijkse wortelproductie op grasland om en bij 50 q/ha* bedraagt. Het betreft hier echter een eerste, ruwe benadering, waarvan de juistheid nog door nader onderzoek bevestigd zal moeten worden.

## 7. INVLOED VAN DE BEMESTING OP DE WORTELPRODUCTIE.

Door verbetering der culturomstandigheden en door verhoging van de vruchtbaarheid van de grond kan niet alleen een krachtiger gewas en een hogere opbrengst worden verkregen doch tevens een rijkere wortelontwikkeling tot stand worden gebracht. Dit is een algemene ervaring, die men bij het wortelonderzoek allerwege heeft opgedaan, al komen er op deze regel ongetwijfeld uitzonderingen voor.

Vooral door bemesting, zowel met kunstmest als met stalmest, kan de wortelproductie op mestbehoefte gronden aanzienlijk worden verhoogd. Het is een verouderd standpunt, dat de landbouwgewassen op arme gronden doorgaans meer wortels voortbrengen dan op vruchtbare gronden. Deze opvatting is in haar algemeenheid zeker niet juist. Hier volgt een keuze uit de voorbeelden, die het tegendeel bewijzen.

Zo bleek bij zonnebloemen en boekweit door bemesting met stikstof het wortelgewicht met 7.3 en 8.6%, bij vlinderbloemige gewassen zelfs met bedragen van 6 tot 70% te worden verhoogd. De bovengrondse delen namen bij zonnebloem en boekweit met bedragen van 64% en 38% toe, terwijl de spruiten der vlinderbloemigen geen gewichtsvermeerdering vertoonden (1). Aan het Landbouwproefstation te Groningen werd bij rode klaver, hopperupsklaver en een mengsel daarvan door N-bemesting gemiddeld een verhoging van het wortelgewicht van 32% bereikt.

Over de gunstige invloed van fosforzuur op de wortelontwikkeling is reeds veel gepubliceerd. Van de waarnemingen, die hierover in de volle grond zijn gedaan, noemen we die van GERICKE (4), waarbij een fosfaatbemesting van 90 kg  $P_2O_5$  per ha bij haver, gerst en wintertarwe gemiddeld een verhoging van het stoppel- en wortelgewicht tot stand bracht van resp. 23, 19 en 1.1%. Zowel de stoppels als de wortels waren hierbij in gewicht toegenomen.

Kalium kan op kaliebehoefte gronden het wortelgewicht eveneens aanzienlijk doen toenemen. Als voorbeeld noemen wij een graslandproefveld van het Proefstation te Groningen, waar de wortelopbrengst met inbegrip der onderaardse stengelachtige organen op de kaliarme vakken 38 q/ha bedroeg, terwijl

de vakken, die enige jaren kali hadden ontvangen, 50 q/ha aan wortels enz. opleverden. De grasopbrengst was hierbij met circa 100 % gestegen.

In dit verband moet tenslotte nog de invloed van kalk worden genoemd, waarvan het bekend is, dat zij op de wortelontwikkeling een gunstige invloed kan uitoefenen (5).

Bij toediening van stikstof en fosforzuur neemt het wortelgewicht echter *relatief* af. Er treedt dan een stijging op in de spruit-wortelverhouding, die vooral bij stikstof heel frappant is behalve bij de vlinderbloemige gewassen, waar het wortelgewicht onder invloed van stikstof niet alleen absoluut doch ook relatief toeneemt (1). Stikstof en fosfaat begunstigen dus bij de niet-Leguminosen de spruitontwikkeling meer dan de wortelgroei. Kali kan het spruit-wortelquotient eveneens doen stijgen maar dit is lang niet altijd het geval. Vermeld moet nog worden, dat stikstof de wortelgroei in de bovengrond meer bevordert dan in de ondergrond. Het komt zelfs voor, dat er onder invloed ener stikstofbemesting meer wortels in de bouwvoor doch minder wortels in de ondergrond tot ontwikkeling komen.

Zware mestgiften kunnen het wortelgewicht weer doen dalen. Deze kans is het grootst bij gebruik van stikstof, omdat het wortelgewicht hier reeds gaat afnemen bij betrekkelijk lage giften, terwijl de groei der bovengrondse delen dan nog in de stijgende lijn is. Inderdaad komt het in de praktijk nog al eens voor, dat een stikstofbemesting aanleiding geeft tot een achteruitgang in wortelgroei.

Dit alles neemt niet weg, dat op gronden, die behoefte hebben aan de drie hoofdelementen, een NPK-bemesting de wortelopbrengst in de meeste gevallen in belangrijke mate doet stijgen. Van de gevallen, die hierover in de literatuur worden vermeld, ontleen wij de volgende tabel aan GERICKE (4).

Tabel 5. Invloed van de bemesting (NPK) op de opbrengst aan wortels en stoppels (q/ha) 0-30 cm.

Gewas	Onbemest	NPK	Gewichts- vermeer- dering
Haver	26.2	39.2	13.0
Zomertarwe	15.8	19.9	4.1
Zomergerst	14.5	19.1	4.6
Rogge	27.9	32.2	4.3
Wintertarwe	28.6	36.9	8.3
Wintergerst	12.5	20.1	7.6

naar GERICKE (1946).

Bij deze bemesting nam ook het gehalte aan N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en K<sub>2</sub>O in de wortels van deze gewassen toe, en wel van 0.86 tot 1.00 % aan stikstof, van 0.42 tot 0.46 % aan P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en van 1.16 tot 1.34 % aan kali. Een dergelijke stijging der gehalten werd ook in de stoppels vastgesteld. Daar blijkens tabel 5 de wortel- en stoppelgewichten eveneens toenemen, betekent dit een grote toename aan stikstof, fosforzuur en kali, die na de oogst van het gewas in de wortels en stoppels achterblijven en later voor de volgende gewassen beschikbaar komen.

Uit deze voorbeelden moge het duidelijk zijn, dat een bemesting met kunst-  
mest geen verarming doch door de krachtigere wortelontwikkeling veeleer een  
verrijking van de grond met organische stof teweeg kan brengen en dat zij op

mestbehoefte gronden kan bijdragen tot een verbetering van de humustoestand van de grond. Dit kan de later verbouwde gewassen ten goede komen, omdat humus blijkens onze ervaring naast andere voordelen de eigenschap bezit, dat zij de wortelontwikkeling in niet geringe mate bevordert.

SUMMARY : ROOT PRODUCTION ON ARABLE LAND AND ON GRASSLAND AS A SOURCE OF ORGANIC MATTER IN THE SOIL.

It is a well-known fact that agricultural plants add considerable amounts of organic matter to the soil by means of the crop residues formed by the roots and stubbles. In fig. 1 the results are given of our determinations as to the root weight of the principal grain crops per ha, together with the corresponding data available in the literature since about 1860.

A short description is given of the methods employed by various investigators, with the inaccuracies adhering to these methods. These supply the major possibilities of explaining the great disparity of the data obtained. Other causes of the great differences may, however, be assumed on account of the diversity in growth conditions (soil and climate) and in connection with different harvest times. Consequently the data of various authors differ considerably (fig. 1 and table 1). To determine the amount of roots and stubbles produced by different crops approximately the average values of our own data together with those of the literature were calculated. These data have been compiled in table 2.

In general it may be said that cereals yield a rather high amount of roots in the upper layer of 20 cm. Winter-cereals produce a higher amount of roots than spring-cereals do.

Potatoes have a very small root production.

Of the annual plants rapeseed gives a good root yield. As a rule the root weight of perennial *Leguminosae* is higher but dependent on the age of the plants at harvest time.

The quantities of roots in the subsoil of 11 arable plant species were also determined. Although the development of roots in the subsoil is generally very poor, it may be considered important for the improvement of soil fertility. It is shown that the subsoil may become much looser by deeply penetrating roots as formed by lucerne.

Whether or not the roots in the subsoil increase the humus content is still uncertain.

The amount of roots in grassland soils usually exceeds that produced by arable crops (table 3). There is also a great difference in the distribution of roots as the procentual amount in the topsoil is much higher in grassland. This is generally attributed to the repeated cutting or grazing of the grass.

As may be expected, root yields on grasslands are also widely different, partly due to similar factors as mentioned for the agricultural plants, partly due to the fact that the grass vegetation consists of different mixtures of plant species.

The average root weight of the layers 0-5 and 0-20 cm is given in table 4. It must be stated, however, that these figures cannot be considered as the annual yield. There is some evidence that the annual root production may be about 5,000 kg per ha.

It is a general experience that it is to a certain extent possible to increase the root production of plants by improving the soil fertility. This is shown in table 5, the data of which have been derived from GERICKE. From this table it is evident that the application of artificial fertilizers may cause rather an increase than a decrease of organic matter in the soil.

LITERATUUR.

1. BERKNER, F. : Der Massenaufbau der Pflanze im Wurzel-, Stengel- und Blattwerk und die Aufnahme und Verteilung des Stickstoffes innerhalb des pflanzlichen Organismus unter dem Einfluss steigender Stickstoffgaben, nachgewiesen an einigen Zwischenfrüchten. *Bodenk. u. Pflanzenernährung* 34 (79) (1944) 20-59.
2. FRANKENA, H. J. en GOEDEVAAGEN, M. A. J. : Een vakkenproef over den invloed van verschillende waterstanden op den grasgroei bij drie grondsoorten. *Versl. van Landbk. Onderzoekingen*, 1942, No. 48 (6) A, 407.
3. GERICKE, S. : Die Humusversorgung des deutschen Bodens. *Mitt. f. die Landwirtschaft* 1943, 58, 1007.
4. - - : Die Bedeutung der Ernterückstände für den Humushaushalt des Bodens.
  - I. *Bodenk. u. Pfl.ern.* 35 (80) (1945) 229.
  - II. *Bodenk. u. Pfl.ern.* 37 (82) (1946) 46.

5. GOEDEWAAGEN, M. A. J. : Het wortelstelsel der landbouwgewassen. *Dept. v. Landb. en Visserij, Directie v. d. Landbouw, 's-Gravenhage* 1942.
6. — — : De methoden, die aan het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen bij het wortelonderzoek op bouw- en grasland in gebruik zijn. *Landb. proefstation Groningen* 1948.
7. KILBINGER, E. : Verbreitung der Pflugsohle. *Zuckerrübenbau* 19 (1937) 175.
8. KLAESENER, O. : Wurzelentwicklung verschiedener Kartoffelsorten nach den Verhältnissen des Göttinger Versuchsfeldes. *Journal f. Landwirtschaft* 72 (1924) 65.
9. KLAPP, E. : Ueber die Wurzelverbreitung der Grasnarbe bei verschiedener Nutzungsweise und Pflanzengesellschaft. *Pflanzenbau* 19 (1943) 221.
10. KRAUS, E. : Untersuchungen zu den biologischen Grundlagen des Grasbaues. *Fühlings Landw. Ztg.* 60 (1911) 329 u. 377.
11. MEER, W. C. VAN DER, en BAN, P. A. VAN DEN : Bijzondere Plantenteelt. Zwolle 1937.
12. MEIJERS, P. G. en GOEDEWAAGEN, M. A. J. : Een onderzoek naar de beworteling van lucerne. *Versl. van Landbk. Onderzoekingen*, 42 (15) A, 1936, 649.
13. SCHULZE, B. : Die Ernterückstände der Halmfrüchte und der Ackerbohnen. *Fühlings Landw. Ztg.* 59 (1910) 801.
14. — — : Wurzelatlas I und II. Berlin 1911.
15. SPRAGUE, H. B. : Root development of perennial grasses and its relation to soil conditions. *Soil Sci.* 36 (1933) 189.
16. Verslag over den Landbouw in Nederland over 1940. *Versl. en Meded. van de Directie van den Landbouw* 1943, No. 2.
17. Dutch agricultural facts 1949, 's-Gravenhage 1948.

