

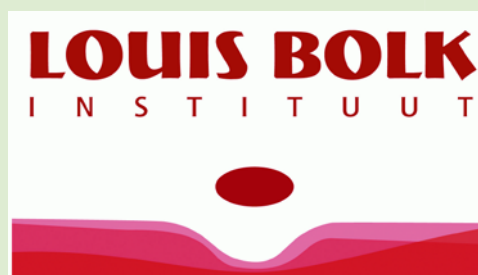
Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 413

Effecten van een diepere en dichtere
beworteling van gras op de N- en P- opname



November 2010



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Colofon

Uitgever

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2010

Overname van de inhoud is toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.

Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research en Central Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen met het Departement Dierwetenschappen van Wageningen University de Animal Sciences Group van Wageningen UR (University & Research centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

The effects of higher root depth and root density of ryegrass on its N and P uptake were investigated in a pot experiment.

Keywords

Ryegrass, N uptake, P uptake, root depth, root density, leaching.

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)

Herman de Boer (Livestock Research)
Nick van Eekeren (Louis Bolk Instituut)
Joachim Deru (Louis Bolk Instituut)

Titel

Effecten van een diepere en dichtere beworteling van gras op de N- en P- opname.

Rapport 413

Samenvatting

Het effect van een diepere en dichtere beworteling van gras op de N- en P-opname werd onderzocht in een potexperiment.

Trefwoorden

Gras, N-opname, P-opname, diepte beworteling, dichtheid beworteling, uitspoeling.



LIVESTOCK RESEARCH

WAGENINGEN UR

Rapport 413

Effecten van een diepere en dichtere beworteling van gras op de N- en P- opname

Effects of higher root depth and root density of ryegrass on its N and P uptake

Herman de Boer (Livestock Research)

Nick van Eekeren (Louis Bolk Instituut)

Joachim Deru (Louis Bolk Instituut)

November 2010

Voorwoord

Het onderzoek in dit rapport is onderdeel van het project 'Dieper wortelen, beter benutten, minder verliezen'. Dit onderzoek- en innovatieproject is gefinancierd uit de Regeling Innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water (projectnummer KRW08069).

De hoofddoelstelling van dit project is het ontwikkelen van praktische maatregelen om de beworteling van grasland te verbeteren. Door een betere benutting van stikstof en fosfaat neemt de uitspoeling af en verbetert de waterkwaliteit. Daarnaast wordt door een betere benutting ook het verschil tussen een landbouwkundig en een milieukundig optimale bemesting kleiner.

Een speciaal woord van dank voor Riekje Bruinenberg (LBI) en Jaap Nelemans (WUR) voor hun bijdrage aan dit experiment: Riekje voor de hulp bij de voorbereidingen en Jaap voor de nauwkeurige uitvoering en zijn betrokkenheid.

De auteurs

Samenvatting

Het grootste deel van de Nederlandse landbouwgrond bestaat uit productiegrasland. Productiegrasland wordt met relatief veel stikstof (N) bemest en de bodem bevat vaak veel fosfaat (P). Beide aspecten vergroten het risico van vervuiling van grond- en oppervlaktewater met N en P. Deze vervuiling kan geminimaliseerd worden door de opname van N en P door het gras te verhogen: opgenomen N en P kan niet langer uitspoelen (N) of lekken (P). Om de opname te verhogen kan een boer gebruik maken van een aantal praktische maatregelen, die in wisselende mate zijn onderzocht. Een weinig onderzochte maatregel is het verhogen van de diepte en dichtheid van de graswortels.

Bij een diepere beworteling heeft gras meer tijd om N op te nemen; bij een dichtere beworteling kan mogelijk meer P opgenomen worden. Het is daarom van belang om het effect van diepere en dichtere beworteling op de N- en P-opname te onderzoeken. Bij voldoende effect is het zinvol om praktische maatregelen te formuleren waarmee Nederlandse boeren een diepere en dichtere beworteling kunnen realiseren. Door toepassing van dergelijke maatregelen kan de vervuiling van grond- en oppervlaktewater geminimaliseerd worden. Daarnaast kunnen boeren bij een lagere bemesting met N en P toch eenzelfde opbrengst realiseren.

Om deze doelen te bereiken is een onderzoeksproject gestart. Door middel van een literatuurstudie is gezocht naar gegevens die inzicht geven in het effect van een diepere en dichtere beworteling op de N- en P-opname door gras (1). Op basis daarvan zijn een aantal perspectiefvolle maatregelen vastgesteld. Tevens is er een potproef uitgevoerd om de relatie tussen een diepere en dichtere beworteling, en de N- en P-opname, te onderbouwen (2). De meest perspectiefvolle maatregelen uit de literatuurstudie zijn vervolgens onderzocht in een veldproef en een potproef (3). Maatregelen met voldoende werkzaamheid kunnen verder onderzocht en in de praktijk toegepast worden (4). In dit rapport wordt de potproef (2) gerapporteerd.

De potproef werd uitgevoerd onder gecontroleerde omstandigheden. De potten waren PVC-buizen ($\varnothing = 125$ mm, $l = 80$ cm), gevuld met zandgrond en ingezaaid met gras. Effecten van diepere beworteling op de N- en P-opname werden gemeten door de bewortelingsdiepte per buis af te grenzen op respectievelijk 10, 20, 30, 50, en 70 cm. Effecten van een dichtere beworteling werden gesimuleerd en gemeten door twee grassoorten te zaaien: Engels raaigras (relatief minder dichte beworteling) en Italiaans raaigras (relatief dichtere beworteling). Het gras werd drie keer bovengronds en twee keer ondergronds geoogst. Bij de tweede en derde oogst werd respectievelijk 50 en 120 kg N ha⁻¹ bemest; tijdens groei van de derde oogst werd uitspoeling als gevolg van regenval gesimuleerd.

De resultaten tonen dat de N-opname van het gras bij de eerste oogst hoger was bij een dieper ingestelde beworteling. Bij de tweede oogst draaide dit effect om, omdat de wortels in staat bleken de ingestelde bewortelingsdiepte te doorbreken. Hierdoor was bij de tweede en derde oogst de cumulatieve N-opname grotendeels onafhankelijk van de ingestelde bewortelingsdiepte. De cumulatieve N-opname van Italiaans raaigras was bij de eerste oogst hoger dan van Engels raaigras, bij de tweede oogst gelijk, en bij de derde oogst wat lager. De cumulatieve P-opname van het gras was bij alle oogsten hoger bij een dieper ingestelde beworteling en hoger bij Italiaans raaigras dan bij Engels raaigras. Bij Italiaans raaigras was er bij alle oogsten een positieve interactie tussen de N- en P-opname van het gras; bij Engels raaigras alleen bij de eerste oogst. Deze positieve interactie laat zien dat **een ruime bemesting van gras met N een maximale P-opname tot gevolg heeft. Italiaans raaigras nam daarnaast bij eenzelfde N-opname meer P op dan Engels raaigras.**

De cumulatieve P:N-verhouding in het gras (cumulatieve P-opname / cumulatieve N-opname) was bij de derde oogst voor Italiaans raaigras 26% hoger vergeleken met Engels raaigras. De hogere P-opname van Italiaans raaigras kon niet verklaard worden uit de hogere wortelmassa; bij de tweede en derde oogst waren er geen relaties tussen P-opname van het gras en wortelmassa in bodemlaag 0 tot 80 cm. Er waren wel negatieve relaties tussen N-opname van het gras en wortelmassa; deze relatie was bij de derde oogst minder negatief dan bij de tweede oogst. De resultaten laten zien dat een diepere beworteling een positief effect op de N-opname kan hebben. Ook blijkt dat het zaaien van een andere grassoort dan Engels raaigras kan leiden tot een hogere P-opname bij eenzelfde N-opname. De vraag is alleen of deze hogere P-opname ook op termijn in stand blijft. De hogere P-opname van Italiaans raaigras kon niet verklaard worden door de hogere wortelmassa. Vervolgonderzoek is nodig om uit te sluiten dat dit veroorzaakt werd door een geringer totaal worteloppervlak van Italiaans raaigras vergeleken met Engels raaigras.

Summary

Production grassland comprises the majority of Dutch agricultural soils. Production grassland is fertilized with relatively large amounts of nitrogen (N) and the soil often contains relatively large amounts of phosphorus (P). Both aspects increase the risk of pollution of ground and surface water with N and P. This pollution can be minimized by maximization of the N and P uptake by grass: N and P taken up is no longer prone to leaching. To increase N and P uptake, farmers can use several practical measures. A practical measure little investigated so far is the stimulation of grass root depth and root density.

Higher root depth can increase N uptake because there is more time for N uptake. Higher root density could increase P uptake because of a smaller distance between P and roots. It is therefore of interest to investigate the effects of higher root depth and root density of grass on its N and P uptake. If these effects are large enough, practical measures should be developed to enable farmers to realize higher root depth and root density. Adoption of such measures could minimize the pollution of ground and surface water. In addition, farmers could realize the same grass production level with lower N and P fertilization.

Therefore, a research project was initiated. In a desk study, data was collected to provide insight in the effects of higher root depth and root density on the N and P uptake of grass (1). Based on this desk study, a number of potentially applicable practical measures were identified. Also, a pot experiment was performed to underpin the relationship between higher root depth and root density, and the N and P uptake of grass (2). Then, potentially applicable practical measures from the desk study were investigated in a field and pot experiment (3). The ultimate goal was to develop measures that farmers could adopt in practice (4). In this publication, the pot experiment (2) is reported.

The pot experiment was performed under controlled conditions. Pots were represented by PVC-pipes ($\varnothing = 125$ mm, $l = 80$ cm), filled with sandy soil and sown with ryegrass. The effects of higher root depth and root density on N and P uptake were measured by limiting (adjusting) roots to a depth of 10, 20, 30, 50, and 70 cm, respectively. Effects of a higher root density were simulated and measured by sowing two different ryegrasses: perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) (relatively low root density) and Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) (relatively high root density). Grass was harvested three times above ground and two times below ground (roots). The second and third growth period were fertilized with 50 and 120 kg N ha⁻¹, respectively. During the third growth period, leaching due to rainfall was simulated.

The results show that during the first growth period the N uptake of grass was higher with higher (adjusted) root depth. This effect turned around during the second growth period, because the roots were able to bypass the 'root blocking zone'. As a result, cumulative N uptake at second and third cut was largely independent of adjusted root depth. Cumulative N uptake of Italian ryegrass was, compared to perennial ryegrass, higher at first cut, equal at second cut, and somewhat lower at third cut. Cumulative P uptake was at all three cuts higher with a higher adjusted root depth and higher for Italian ryegrass compared to perennial ryegrass. With Italian ryegrass, there was a positive interaction between the N and P uptake at all cuts; with perennial ryegrass only at first cut. This positive interaction shows that **an adequate fertilization of ryegrass with N will maximize its P uptake. Italian ryegrass had a higher P uptake than perennial ryegrass at the same level of N uptake.**

Cumulative P:N-ratio in the grass (cumulative P uptake / cumulative N uptake) was at third cut 26% higher for Italian ryegrass compared to perennial ryegrass. The higher P uptake by Italian ryegrass could not be explained by the higher root mass (higher root density); at second and third cut there were no significant ($P < 0.05$) relationships between P uptake and total root mass in soil layer 0 to 80 cm. Root mass and grass N uptake were negatively related; the relationship was less negative at third cut than at second cut. The results show that deeper rooting can have a positive effect on grass N uptake. The results also show that the use of other grasses than perennial ryegrass can increase P uptake (at the same level of N uptake) in the short term. It is not clear if this higher P uptake can be maintained in the longer term. The higher P uptake could not be explained by a higher root mass. Additional research is necessary to rule out that this was (unexpectedly) caused by a lower total root surface area of Italian ryegrass compared to perennial ryegrass.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methoden	2
2.1	Opzet potproef	2
2.2	Uitvoer potproef.....	2
2.3	Statistische analyse	6
3	Resultaten	7
3.1	Effect diepere en dichtere beworteling op wortelmassa gras	7
3.2	Effect diepere en dichtere beworteling op opbrengst gras	9
3.3	Effect diepere en dichtere beworteling op N-opname gras.....	10
3.4	Effect diepere en dichtere beworteling op P-opname gras.....	11
3.5	Interactie tussen N- en P-opname gras	12
3.6	Effect diepere en dichtere beworteling op P:N-verhouding gras	14
3.7	Relatie tussen opbrengst gras en wortelmassa	15
3.8	Relatie tussen N-opname gras en wortelmassa	16
3.9	Relatie tussen P-opname gras en wortelmassa	17
4	Discussie	19
4.1	Effect diepere en dichtere beworteling op N-opname gras.....	19
4.2	Effect diepere en dichtere beworteling op P-opname gras.....	19
4.3	Relatie tussen N-opname gras en wortelmassa	19
4.4	Relatie tussen P-opname gras en wortelmassa	20
5	Conclusies	21
	Literatuur	22
	Bijlage. Tabellen met gefitte data	23

1 Inleiding

Bij bemesting van productiegrasland met stikstof (N) en fosfaat (P) spelen neveneffecten van deze bemesting op de omgeving een belangrijke rol. Een belangrijk neveneffect is de invloed van bemesting op de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater. Productiegrasland omvat met een oppervlakte van 0,9 miljoen hectare het overgrote deel van Nederlandse landbouwgronden. Daarnaast wordt op productiegrasland relatief veel N bemest, oplopend tot $320 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$. Dergelijke hoeveelheden verhogen het risico van uitspoeling van N naar grond- en oppervlaktewater. Veel productiegrasland, vooral op zandgrond, is in het verleden ruim bemest met P. Daardoor zijn de voorraden P in de bodem relatief groot, waardoor er een relatief groot risico is op het lekken van P naar het grondwater.

Vervuiling van grond- en oppervlaktewater met N en P kan gereduceerd worden door de opname van N en P door het grasland te verhogen. Alle N en P die door het gewas wordt opgenomen kan niet langer uitspoelen of lekken. Om de opname te verhogen kan gebruik gemaakt worden van een groot aantal maatregelen. Voorbeelden van directe maatregelen zijn: keuze van de soort meststof, keuze van het tijdstip van bemesting, en keuze van de manier waarop de meststof wordt toegediend. Een meer indirecte maatregel is het verhogen van de diepte en dichtheid van de beworteling. Deze maatregel is tot dusver nauwelijks onderzocht.

Bij een diepere beworteling heeft grasland meer tijd om uitspoelende N en P op te nemen. Een deel van de N-verliezen ontstaat doordat als gevolg van regenval N uit meststof uitspoelt tot onder de wortelzone. Deze N kan vervolgens niet meer door de wortels worden opgenomen en spoelt definitief uit. Bij een diepere beworteling had deze N nog wel opgenomen kunnen worden. Het is daarom van belang dat er praktische maatregelen ontwikkeld worden om de worteldiepte te verhogen. Met deze maatregelen kunnen boeren de benutting van N uit meststoffen verhogen.

Voor de opname van P is de dichtheid van beworteling mogelijk belangrijker dan de diepte. P lost slecht op in het bodemvocht. Daarom kan er meer P opgenomen worden als de afstand tussen de wortels en de P kleiner is. Hoe lager de P-toestand van de bodem, des te meer wortels per eenheid grond nodig zijn om de P-opname op hetzelfde niveau te houden (Noordwijk, 1986). Een verhoging van de worteldichtheid zou daarom de P-opname kunnen verhogen en (op termijn) het lekken van P kunnen verminderen. Een positief neveneffect in dat geval is dat boeren, zonder bemesting van P met kunstmest, en bij een afnemende P-voorraad in de bodem, toch de grasproductie op peil kunnen houden. Het is daarom van belang dat vastgesteld wordt of een dichtere beworteling inderdaad tot een hogere P-opname leidt. In dat geval moet er vervolgens gezocht worden naar praktische maatregelen die een dichtere beworteling geven.

Om deze doelen te bereiken is een onderzoeksproject gestart. In een literatuurstudie is gezocht naar gegevens die inzicht geven in het effect van diepere en dichtere beworteling op de N- en P-opname door gras (1). Op basis daarvan zijn een aantal mogelijk bruikbare maatregelen vastgesteld. Tevens is er een potproef uitgevoerd om de relatie tussen een diepere en dichtere beworteling, en de N- en P-opname, te onderbouwen (2). De meest perspectiefvolle maatregelen uit de literatuurstudie zijn vervolgens onderzocht in een veldproef en een potproef (3). Maatregelen met voldoende werkzaamheid kunnen in de praktijk toegepast en verder onderzocht worden (4). Dit rapport beschrijft het tweede deel van het onderzoek, de onderbouwende potproef.

2 Materiaal en methoden

2.1 Opzet potproef

De proef werd opgezet als een potproef onder gecontroleerde groeiomstandigheden. Er was sprake van een factoriële opzet, met als factoren:

- het zaaien van gras (wel of niet)
- de te zaaien grassoort (Engels of Italiaans raaigras)
- de te realiseren maximale diepte van beworteling (10, 20, 30, 50, of 70 cm)
- het tijdstip van ondergrondse oogst en bemonstering (bij tweede of bij derde oogst)

De basisbehandelingen werden gevormd door vijf PVC-buizen ($\varnothing = 125$ mm; $l = 80$ cm), gevuld met grond, ingezaaid met Engels raaigras (*Lolium perenne* L.), met een te realiseren bewortelingsdiepte per afzonderlijke buis van respectievelijk 10, 20, 30, 50 of 70 cm. Vijf andere buizen waren gelijk aan de basisbehandelingen, maar zonder inzaai van gras. Dit waren de controlebehandelingen. Vijf andere buizen waren ook gelijk aan de basisbehandelingen, behalve dat er Italiaans in plaats van Engels raaigras werd gezaaid. Italiaans raaigras heeft, vergeleken met Engels raaigras, een snellere beginontwikkeling en produceert daardoor meer wortelmassa in de periode direct na inzaai (Crush et al., 2005). Door de zaai van Italiaans in plaats van Engels raaigras werd geprobeerd om een hogere worteldichtheid per bewortelde laag te realiseren. Hierdoor zou het effect van een dichtere beworteling op de N- en P-opname onderzocht kunnen worden. De aanname hierbij is dat de wortellengte per gewichtseenheid van Italiaans raaigras vergelijkbaar is met die van Engels raaigras, of dat de totale wortellengte van Italiaans raaigras groter is dan die van Engels raaigras (literatuur over verschillen in wortellengte werd niet gevonden).

Er waren 15 buizen met een unieke behandeling. Om alle behandelingen twee keer destructief te kunnen oogsten, bij zowel de tweede oogst (gepland na 8 weken) als de derde oogst (gepland na 12 weken), werden alle unieke behandelingen in tweevoud aangelegd. Hierdoor verdubbelde het aantal buizen tot 30. Tenslotte werden alle behandelingen, behalve de controlebuizen zonder gras, in tweevoud aangelegd. Uiteindelijk resulteerde dit in een proef met 50 buizen. Een overzicht van het aantal herhalingen per behandeling is gegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Overzicht van het aantal buizen per behandeling in de potproef

Bewortelingsdiepte	Behandeling zonder gras		Behandeling met gras			
	oogst na 8 weken*	oogst na 12 weken	Engels raaigras		Italiaans raaigras	
			oogst na 8 weken	oogst na 12 weken	oogst na 8 weken	oogst na 12 weken
10 cm	1	1	2	2	2	2
20 cm	1	1	2	2	2	2
30 cm	1	1	2	2	2	2
50 cm	1	1	2	2	2	2
70 cm	1	1	2	2	2	2

* eerste destructieve oogst, geplande uitvoer 8 weken na start van het experiment

2.2 Uitvoer potproef

Bij start van het experiment werden PVC buizen ($\varnothing = 125$ mm; \varnothing intern = 11,6 cm; $l = 80$ cm) in de lengte doormidden gezaagd. Beide helften werden weer tegen elkaar aangezet en de naden werden gedicht met waterdichte PVC-tape (Evercel; $b = 50$ mm). De nieuw gevormde buis werd onderaan afgesloten met een eindop waarin vier drainagegaten waren geboord. De eindop werd vastgezet aan de PVC-buis met zes parkerschroeven (4,0 x 30 mm), evenredig verdeeld over de buisomtrek. Op de drainagegaten werd een stuk worteldoek gelegd om verlies van grond tegen te gaan. Daarna werd de buis gevuld met grond. Een hoeveelheid van 10,8 kg luchtdroge zandgrond werd op veldcapaciteit (60% van de WHC) gebracht door de grond te mengen met 1940 ml gedeïoniseerd water. De luchtdroge zandgrond had een pH-KCl van 4,8 (pH-H₂O = 5,9), bevatte 5,21% OS, 3,07% C, 0,184% N, 0,060% P, 0,042% K, 1,9% klei, en 86% van de deeltjes was groter dan 50 μ m (analyse volgens Houba et al., 1997a). P-Al en Pw-getal waren respectievelijk 35 en 32 (Houba et al., 1997a). De totale hoeveelheid N en de hoeveelheid minerale N in de laag 0 tot 80 cm waren omgerekend 18891 en 78

kg N ha⁻¹. De hoeveelheden totale P, P-Al, en Pw in de laag 0 tot 80 cm waren omgerekend 6211, 1561, en 112 kg P ha⁻¹. Bij het vullen van een buis met vochtige grond werd het profiel opgebouwd in lagen van 10 cm. Iedere laag werd eerst voorzichtig aangedrukt en daarna weer losgemaakt door met een mes in de grond te snijden. De bulkdichtheid van de grondkolom na het vullen was gemiddeld 1,51 kg l⁻¹. Om de behandelingen met beperking van de worteldiepte te realiseren, werd op de betreffende diepte een laag zeer fijnmazig filterdoek aangebracht (53 µm maaswijdte; Sefar Nitex 03-53/30; Sefar AG, Heiden, Zwitserland). Om te voorkomen dat de wortels het filterdoek aan de randen zouden passeren werd het doek (20 * 20 cm) in de buis vastgeklemd met behulp van een flexibele polyethyleen einddop (Wavin; ø = 110 mm; ø totaal = 12,5 cm). Dit werd gerealiseerd door het doek bovenop de buis te leggen (Foto 1), en dan met behulp van de dop voorzichtig in de buis te duwen, onder een schuine hoek. Op de juiste diepte werden dop en filterdoek dan in horizontale positie geduwd. Bij de polyethyleen einddop werd het centrum (ø = 8 cm) verwijderd met een cirkelboor (Foto 1), om uitwisseling van vocht tussen de grond boven en onder het filterdoek zo weinig mogelijk te hinderen.

Foto 1 Filterdoek met daar bovenop de flexibele einddop, juist voor het inbrengen en vastklemmen in de buis



Na plaatsing van het filterdoek werd de buis in lagen van 10 cm gevuld met de resterende vochtige grond. Na het vullen werd in het midden van iedere buis een bewateringsbuisje in de grond geduwd. Bij buizen met inzaai van gras werd de toplaag losgemaakt en werden 40 graszaden verdeeld over het gebied buiten het bewateringsbuisje. Bij behandelingen met Engels raaigras (*Lolium perenne* L.) werd de cultivar Romark gezaaid; bij behandelingen met Italiaans raaigras (*Lolium multiflorum* Lam.) de cultivar Barelli. Na het zaaien werden alle buizen bedekt met plastic om uitdroging van de toplaag te voorkomen. Om de stabiliteit van de buizen te vergroten werden ze in stalen Mitscherlich potten (ø = 20 cm; l = 20 cm) geplaatst. Deze potten waren afgesloten met een deksel, met in het midden een gat met een doorsnee van 14 cm. De deksels werden aan de potten vastgeplakt met tape en de buizen werden in de groeikamer geplaatst (Foto 2).

De dag/nachtlengte in de groeikamer was 16/8 uur (06.00 – 22.00), de temperatuur 18°C, en de relatieve luchtvochtigheid 80%. De lichtintensiteit op grashoogte was 70 W m⁻². Na opkomst van de zaailingen (vijf dagen na zaai) werd het plastic verwijderd en werd het aantal zaailingen teruggebracht tot 20 per buis, zo goed mogelijk verdeeld over de buisoppervlakte. Iedere dag werden de buizen gewogen en werd gewichtsverlies als gevolg van transpiratie aangevuld met gedeïoniseerd water. Iedere dag werd de plaats van de buizen gerandomiseerd. Het gras werd drie keer opeenvolgend geoogst op een lengte van 6 cm: 36, 57, en 77 dagen na het zaaien (18 augustus). Bij de tweede oogst werd de helft van de buizen destructief geoogst en bij de derde oogst alle overblijvende buizen. Na het afknippen van het gras werd het verse materiaal gewogen, gedroogd bij 70°C, en opnieuw

gewogen om de opbrengst (drogestof, DS) te bepalen. Het droge materiaal werd geanalyseerd op het totale gehalte N en P (Houba et al., 1997b).

Na de eerste oogst kregen alle buizen een bemesting van 58 kg N ha^{-1} met KAS (27% N) en $175 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ met K_2SO_4 (41% K, 18% S). Oorspronkelijk was bedoeld om 50 kg N ha^{-1} en $150 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ te geven, maar de giften waren berekend op basis van de totale buisdiameter van 12,5 cm in plaats van de interne diameter van 11,6 cm. De N-bemesting na de eerste oogst diende om het gras aan het groeien te houden; de K-bemesting om een eventueel K-tekort te minimaliseren. Vijf dagen na de tweede oogst kregen de overblijvende buizen een bemesting van 139 kg N ha^{-1} met KAS en $175 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ met K_2SO_4 . Zes dagen na de tweede oogst kregen alle buizen een extra watergift van 92 ml en zeven dagen na oogst nogmaals een extra watergift van 92 ml. Het totale gewicht van een buis (buis + pot) werd met 184 g verhoogd en de buizen werden op het nieuwe gewicht gehouden. De watergift van 92 ml was bedoeld om een regenbui (8,7 mm) te simuleren. De regenbuizen werden gesimuleerd om het verwachte effect van bewortelingsdiepte op N-opname te versterken.

Verondersteld werd dat, afhankelijk van de maximale ingestelde bewortelingsdiepte, de N-opname uit de gegeven KAS bij de verschillende behandelingen zou gaan afwijken. Bij de behandeling met een maximale bewortelingsdiepte van 10 cm zou bijvoorbeeld het grootste deel van de toegediende KAS beneden de bewortelde laag kunnen spoelen, en niet langer beschikbaar zijn voor opname door het gras.

Foto 2 De ingezette buizen in de groeikamer, na het vullen



Foto 3 Grasgroei in de buizen op 15 september, 29 dagen na zaai, 8 dagen voor oogst



Bij de destructief geoogste buizen (tweede en derde oogst) werd na oogst van de stoppel de hoeveelheid wortelmasse per laag van 10 cm bepaald. Eerst werd aan één kant van de buis de PVC-tape doorgesneden. De vrijkomende grondkolom (Foto 4) werd vervolgens opgedeeld in acht stukken van 10 cm lengte, te beginnen bij de laag 0 tot 10 cm. Bij iedere laag werden vervolgens de wortels uit elkaar getrokken en gespoeld met water om aanklevende grond te verwijderen (Foto 5). Hierbij werden zeven met een maaswijdte van 2 mm gebruikt. Het gespoelde materiaal werd daarna eerst gedroogd bij 70°, vervolgens bij 105°C, en tenslotte verast bij 550°C.

Foto 4 Buis met ingestelde bewortelingsdiepte op 70 cm, opengemaakt bij de tweede oogst

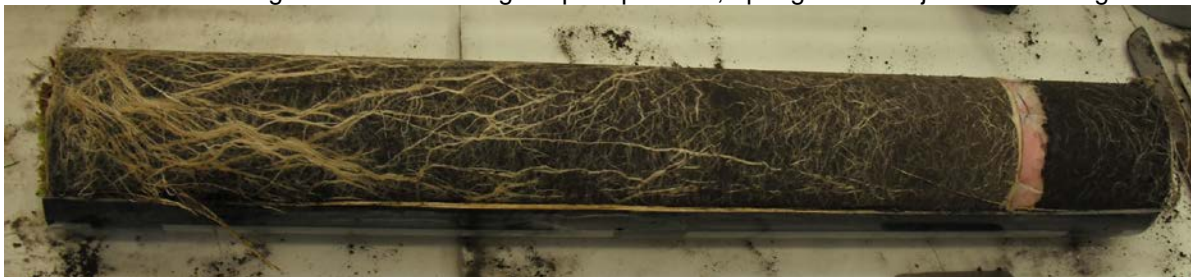


Foto 5 Spoelen van de wortels in de spoelruimte

2.3 Statistische analyse

In deze rapportage wordt een verschil significant genoemd bij $p < 0,05$, tenzij anders aangegeven. Alle waarnemingen van de kenmerken DS-opbrengst, N-opname, en P-opname werden per kenmerk als één set (100 waarnemingen per kenmerk) geanalyseerd met REML (Genstat 12.1, 2010). Het initiële 'fixed model' werd gevormd door de factoren datum (oogstdatum), grassoort (Engels of Italiaans raaigras), worteldiepte (beoogde maximale bewortelingsdiepte: 10, 20, 30, 50, of 70 cm), en al de interacties tussen deze factoren. De stoppelopbrengsten werden niet meegenomen in de analyse en ook niet gerapporteerd. Het meenemen van de stoppelopbrengsten maakte de analyse onnodig complex, terwijl deze opbrengsten nauwelijks bijdroegen aan verschillen tussen behandelingen. Tijdens de analyse werden niet-significante termen uit het model verwijderd, behalve wanneer ze deel uitmaakten van een significante hogere-orde interactie. De significantie van modeltermen werd bepaald door middel van Wald's Chi toets ($\alpha = 0,05$). Het 'random model' werd gevormd door de interactie buisnummer.oogstdatum. De analyse resulteerde in een model voor DS-opbrengst, N-opname, en P-opname. De gefitte waarden uit deze modellen zijn gebruikt bij de verdere rapportage van de DS-opbrengst, N- en P-opname; onderstaand wordt het fixed model voor deze kenmerken gegeven:

Fixed model: $\text{Constante} + \text{datum} + \text{worteldiepte} + (\text{grassoort})^2 + \text{datum.worteldiepte}$
 $+ \text{datum.}(\text{grassoort})^2 + \text{worteldiepte.}(\text{grassoort})^2 +$
 $\text{datum.worteldiepte.}(\text{grassoort})^2$

Regressieanalyse werd uitgevoerd met behulp van de procedure voor lineaire regressie met of zonder groepsfactor (grassoort) in Genstat 12.1.

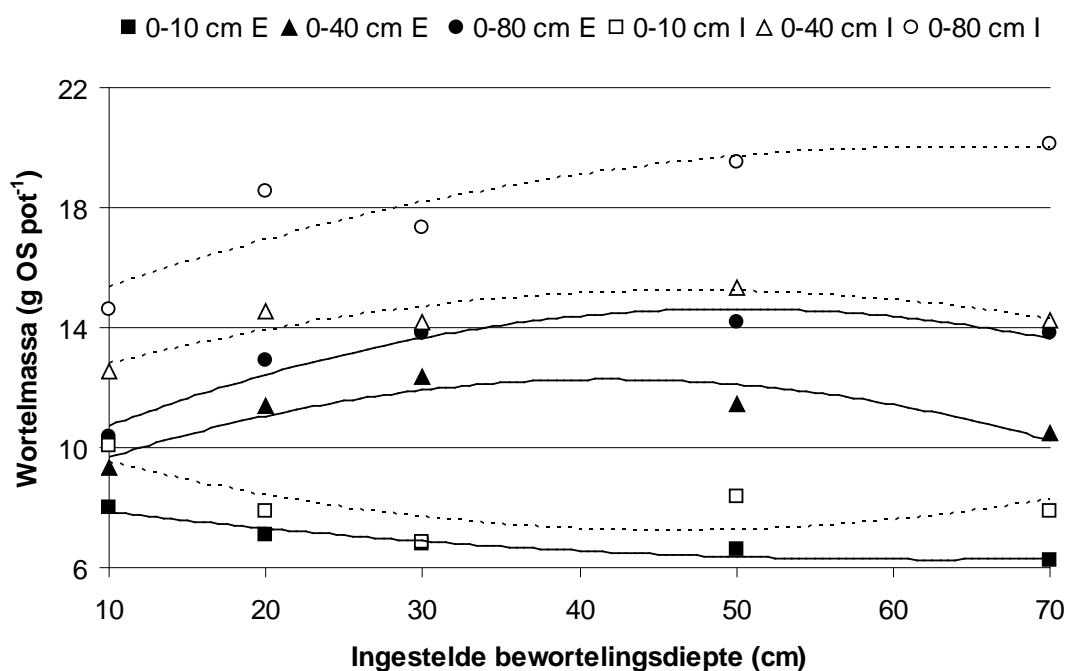
3 Resultaten

3.1 Effect diepere en dichtere beworteling op wortelmassa gras

Uit visuele waarnemingen bleek dat aan het eind van de groei van de eerste snede de graswortels in staat waren om de ring met filterdoek aan de randen te passeren. Vervolgens hebben deze wortels ongehinderd door kunnen groeien. Als gevolg hiervan waren er ook bij laag ingestelde bewortelingsdieptes bij de tweede en derde oogst wortels aanwezig in de bodemlagen onder het filterdoek.

De wortelmassa (OS) in bodemlaag 0 tot 80 cm varieerde bij de tweede grasoogst (eerste worteloogst) van maximaal 14,2 g OS pot⁻¹ bij Engels raaigras tot maximaal 20,1 g OS pot⁻¹ bij Italiaans raaigras (Figuur 1, Tabel 2). Dit komt omgerekend overeen met 13,4 en 19,0 ton OS ha⁻¹. Een relatief groot deel van de wortelmassa was aanwezig in bodemlaag 0 tot 10 cm; gemiddeld 53% bij Engels raaigras en 46% bij Italiaans raaigras. Bij de behandelingen met ingestelde bewortelingsdiepte 70 cm was dit percentage nog steeds relatief hoog (45% bij Engels raaigras, 39% bij Italiaans raaigras), hoewel fors lager dan bij ingestelde bewortelingsdiepte 10 cm (77% bij Engels raaigras, 69% bij Italiaans raaigras).

Figuur 1 Wortelmassa (g OS pot⁻¹) bij de tweede grasoogst (eerste worteloogst) in de bodemlagen 0 tot 10 cm (vierkante symbolen), 0 tot 40 cm (driehoekige symbolen), en 0 tot 80 cm (cirkelvormige symbolen), afhankelijk van de ingestelde bewortelingsdiepte (cm) en gezaaide grassoort (gesloten symbolen voor Engels raaigras (E), open symbolen voor Italiaans raaigras (I)). Solide en gestippelde lijnen vertegenwoordigen (polynome) trendlijnen voor respectievelijk Engels en Italiaans raaigras



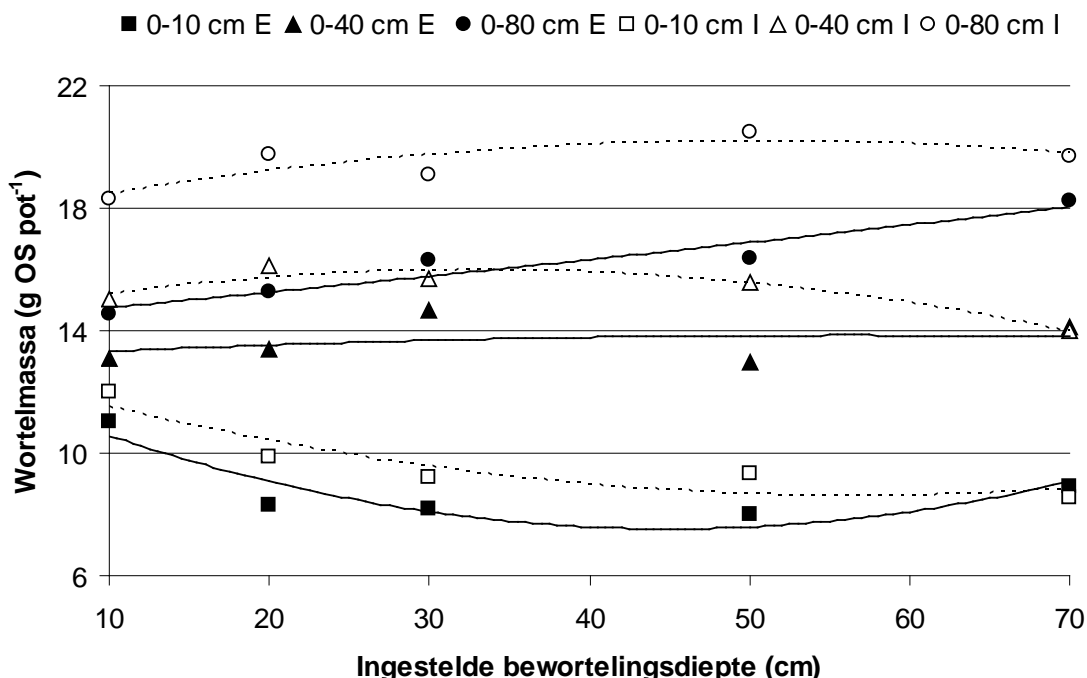
Bij een dieper ingestelde beworteling nam de wortelmassa in laag 0 tot 10 cm af (Figuur 1). Engels raaigras had een lagere wortelmassa dan Italiaans raaigras. Behandelingen met een meer 'gemiddeld' ingestelde bewortelingsdiepte hadden bij Engels raaigras een hogere wortelmassa in diepere lagen dan behandelingen met een ondiepe of diepe ingestelde beworteling.

Tabel 2 Wortelmasse (OS, g pot⁻¹) per bodemlaag van 10 cm, afhankelijk van ingestelde bewortelingsdiepte (cm) en grassoort (Engels of Italiaans raaigras), bij de tweede grasoogst (eerste worteloogst)

Bodemlaag (cm)	Ingestelde bewortelingsdiepte (cm)									
	Engels raaigras					Italiaans raaigras				
	10	20	30	50	70	10	20	30	50	70
0-10	8,0	7,1	6,8	6,6	6,2	10,1	7,9	6,9	8,4	7,9
10-20	0,6	3,2	2,2	2,0	2,1	1,0	4,2	3,2	3,0	2,4
20-30	0,4	0,5	2,9	1,5	1,2	0,9	1,4	3,1	2,0	2,1
30-40	0,4	0,5	0,6	1,3	0,9	0,6	1,1	1,0	1,9	1,9
40-50	0,3	0,4	0,4	1,8	0,9	0,5	1,0	0,9	2,1	1,4
50-60	0,3	0,4	0,4	0,4	0,7	0,5	0,8	0,6	0,7	1,8
60-70	0,2	0,4	0,4	0,3	1,4	0,6	1,1	0,7	0,6	1,8
70-80	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,6	1,1	0,9	0,8	0,8
0-80	10,4	12,9	13,8	14,2	13,8	14,6	18,5	17,3	19,5	20,1

Bij de derde grasoogst (tweede worteloogst) varieerde de wortelmasse (OS) in bodemlaag 0 tot 80 cm van maximaal 18,2 g OS pot⁻¹ bij Engels raaigras tot maximaal 20,5 g OS pot⁻¹ bij Italiaans raaigras (Figuur 2, Tabel 3). De wortelmasse van Italiaans raaigras was nog steeds hoger dan van Engels raaigras, maar de verschillen namen af vanwege een toename in de wortelmasse van Engels raaigras tussen de tweede en derde grasoogst. De wortelmasse in de laag 0 tot 80 cm nam bij Engels raaigras duidelijk toe bij een dieper ingestelde beworteling; bij Italiaans raaigras was de toename gering.

Figuur 2 Wortelmasse (g OS pot⁻¹) bij de derde grasoogst (tweede worteloogst) in de bodemlagen 0 tot 10 cm (vierkante symbolen), 0 tot 40 cm (driehoekige symbolen), en 0 tot 80 cm (cirkelvormige symbolen), afhankelijk van de ingestelde bewortelingsdiepte (cm) en gezaaide grassoort (gesloten symbolen voor Engels raaigras (E), open symbolen voor Italiaans raaigras (I)). Solide en gestippelde lijnen vertegenwoordigen (polynome) trendlijnen voor respectievelijk Engels en Italiaans raaigras



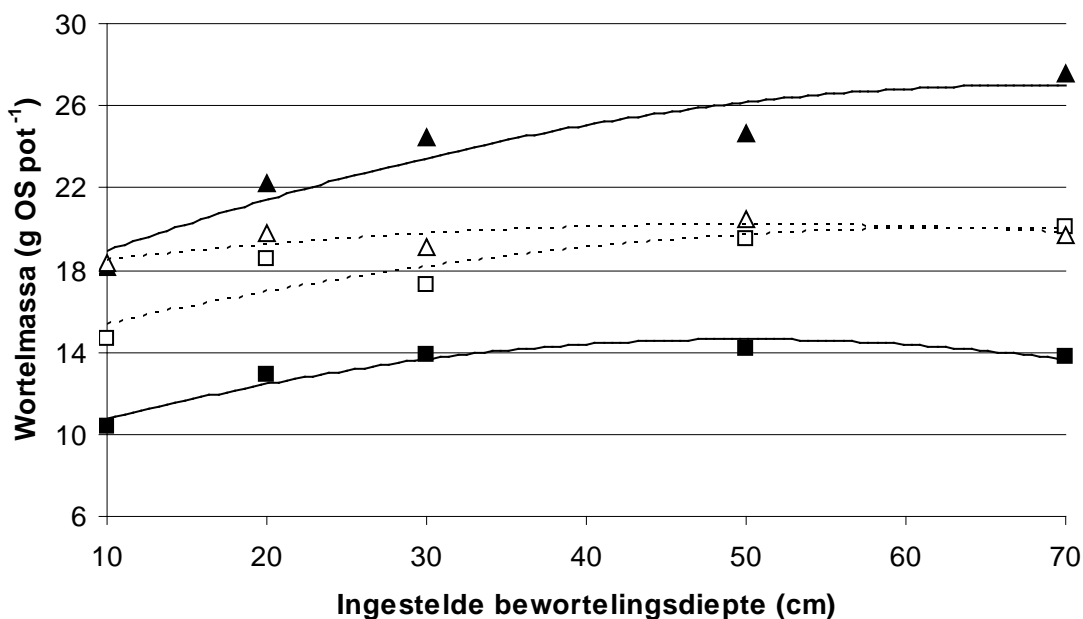
Bij Engels raaigras nam de totale wortelmasse in bodemlaag 0 tot 80 cm tussen tweede en derde oogst duidelijk toe, ook bij ingestelde beworteling 70 cm (Figuur 3). Bij Italiaans raaigras nam de totale wortelmasse bij deze ingestelde bewortelingsdiepte niet meer toe. Bij Italiaans raaigras nam de totale wortelmasse tussen tweede en derde oogst minder toe naarmate de ingestelde bewortelingsdiepte hoger was.

Tabel 3 Wortelmasse (OS, g pot⁻¹) per bodemlaag van 10 cm, afhankelijk van ingestelde bewortelingsdiepte (cm) en grassoort (Engels of Italiaans raaigras), bij de derde grasoogst (tweede worteloogst)

Bodemlaag (cm)	Ingestelde bewortelingsdiepte (cm)									
	Engels raaigras					Italiaans raaigras				
	10	20	30	50	70	10	20	30	50	70
0-10	11,0	8,3	8,2	8,0	8,9	12,0	9,9	9,2	9,4	8,6
10-20	1,0	3,8	2,6	2,1	2,3	1,2	3,9	2,5	2,6	2,4
20-30	0,6	0,8	3,3	1,6	1,7	1,0	1,2	3,1	1,9	1,7
30-40	0,5	0,6	0,6	1,2	1,2	0,9	1,1	0,9	1,7	1,4
40-50	0,4	0,4	0,5	2,3	1,1	0,7	0,9	0,8	2,5	1,3
50-60	0,4	0,5	0,5	0,4	0,9	0,7	0,9	0,8	0,7	1,4
60-70	0,3	0,5	0,3	0,3	1,8	0,8	0,8	0,8	0,7	2,3
70-80	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	1,1	1,1	1,0	0,9	0,8
0-80	14,6	15,3	16,3	16,3	18,2	18,3	19,8	19,1	20,5	19,7

Figuur 3 Wortelmasse (g OS pot⁻¹) bij de tweede (vierkante symbolen) en derde grasoogst (driehoekige symbolen) (eerste en tweede worteloogst) in de bodemlaag 0 tot 80 cm, afhankelijk van de ingestelde bewortelingsdiepte (cm) en gezaaide grassoort (gesloten symbolen voor Engels raaigras (E), open symbolen voor Italiaans raaigras (I)). Solide en gestippelde lijnen vertegenwoordigen (polynome) trendlijnen voor respectievelijk Engels en

■ E, 2e oogst ▲ E, 3e oogst □ I, 2e oogst △ I, 3e oogst



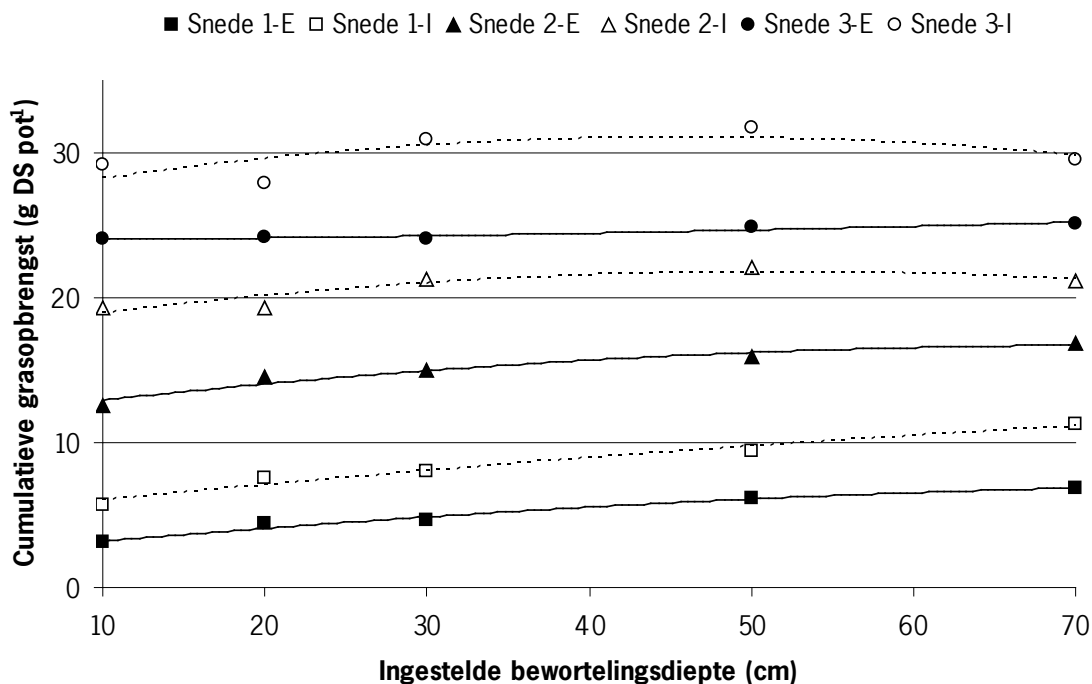
3.2 Effect diepere en dichtere beworteling op opbrengst gras

De effecten van de behandelingen op de cumulatieve grasopbrengst (DS) zijn per oogst gegeven in Figuur 4. De gemiddelde LSD voor verschillen in opbrengst tussen behandelingen (niet cumulatief, Tabel 5) was 1,4 g DS pot⁻¹.

Bij de eerste oogst gaf een dieper ingestelde beworteling een hogere opbrengst bij beide grassoorten (Figuur 4). Bij de tweede oogst was deze trend bij Engels raaigras nog duidelijk aanwezig; bij Italiaans raaigras alleen tot een ingestelde bewortelingsdiepte van 30 cm. Bij de derde oogst was de cumulatieve opbrengst van Engels raaigras onafhankelijk van de ingestelde bewortelingsdiepte. Bij Italiaans raaigras was er sprake van een wat inconsistente reactie; de resultaten suggereren een

toename van de cumulatieve opbrengst tot een ingestelde bewortelingsdiepte van 30 cm en daarna weer een lichte afname.

Figuur 4 Cumulatieve grasopbrengst (g DS pot⁻¹) bij de eerste oogst (vierkante symbolen), tweede oogst (driehoekige symbolen), en derde oogst (cirkelvormige symbolen), afhankelijk van de ingestelde bewortelingsdiepte (cm) en gezaaide grassoort (gesloten symbolen voor Engels raaigras (E), open symbolen voor Italiaans raaigras (I)). Solide en gestippelde lijnen vertegenwoordigen (polynome) trendlijnen voor respectievelijk Engels en Italiaans raaigras



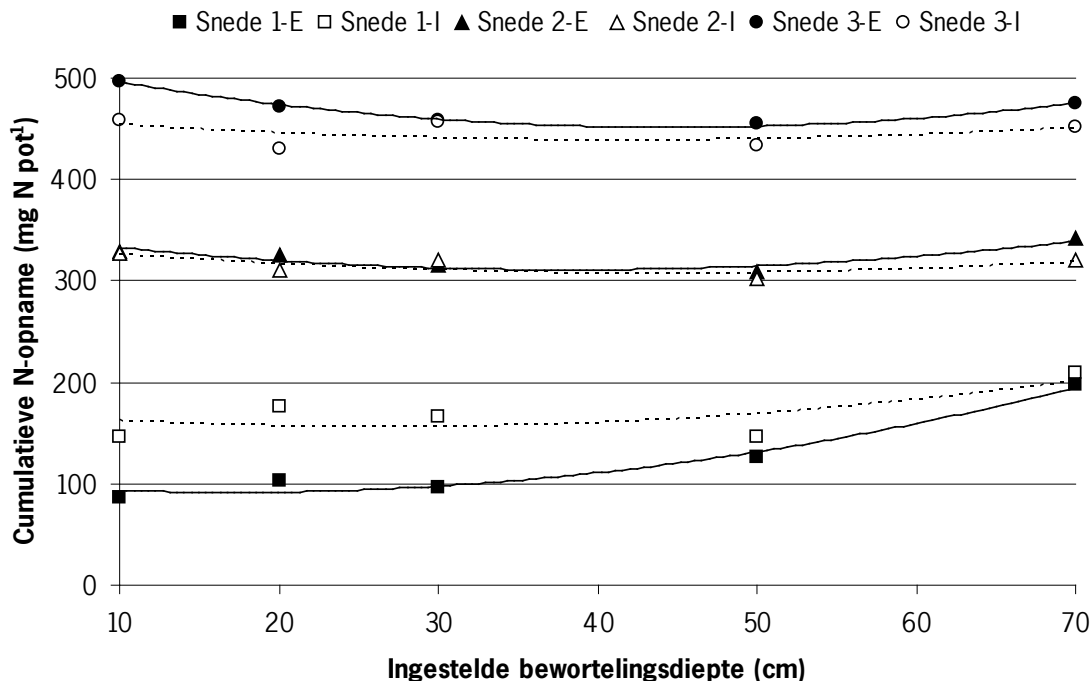
Bij alle drie opeenvolgende oogsten was de cumulatieve opbrengst van Italiaans raaigras hoger dan van Engels raaigras (Figuur 4). De voorsprong in opbrengst van Italiaans raaigras bij de eerste snede breidde zich uit tijdens groei van de tweede snede. Daarna bleef het verschil, gemiddeld over worteldiepte, grofweg constant. De cumulatieve opbrengst was bij de derde oogst maximaal 31,7 g DS pot⁻¹ (Tabel 5). Dit komt overeen met 30,0 ton DS ha⁻¹.

3.3 Effect diepere en dichtere beworteling op N-opname gras

De effecten van de behandelingen op de cumulatieve N-opname van het gras zijn per oogst gegeven in Figuur 5. De gemiddelde LSD voor verschillen in N-opname tussen behandelingen (niet cumulatief, Tabel 6) was 21 mg N pot⁻¹.

Bij de eerste oogst gaf een dieper ingestelde beworteling een hogere cumulatieve N-opname voor Engels raaigras, maar alleen bij ingestelde diepte 50 of 70 cm (Figuur 5). Bij Italiaans raaigras had ingestelde bewortelingsdiepte weinig effect op de cumulatieve N-opname. Bij de tweede oogst was er geen duidelijk effect van ingestelde bewortelingsdiepte op cumulatieve N-opname. Dit werd bij de behandelingen met Engels raaigras veroorzaakt doordat behandelingen met dieper ingestelde beworteling tijdens groei van de tweede oogst een hogere N-opname hadden dan behandelingen met een ondieper ingestelde beworteling (Tabel 6). Bij een ondiepe en diep ingestelde beworteling was bij Engels raaigras de cumulatieve N-opname wat hoger dan daar tussenin; dit leidde tot een enigszins 'dalvormige' response-curve. Bij de derde oogst was dit patroon nog wat sterker. Bij Italiaans raaigras was de cumulatieve N-opname vrijwel onafhankelijk van ingestelde bewortelingsdiepte, zowel bij de tweede als bij de derde oogst.

Figuur 5 Cumulatieve N-opname (mg N pot^{-1}) van het geoogste gras bij de eerste oogst (vierkante symbolen), tweede oogst (driehoekige symbolen), en derde oogst (cirkelvormige symbolen), afhankelijk van de ingestelde bewortelingsdiepte (cm) en gezaaide grassoort (gesloten symbolen voor Engels raaigras (E), open symbolen voor Italiaans raaigras (I)). Solide en gestippelde lijnen vertegenwoordigen (polynome) trendlijnen voor respectievelijk Engels en Italiaans raaigras.



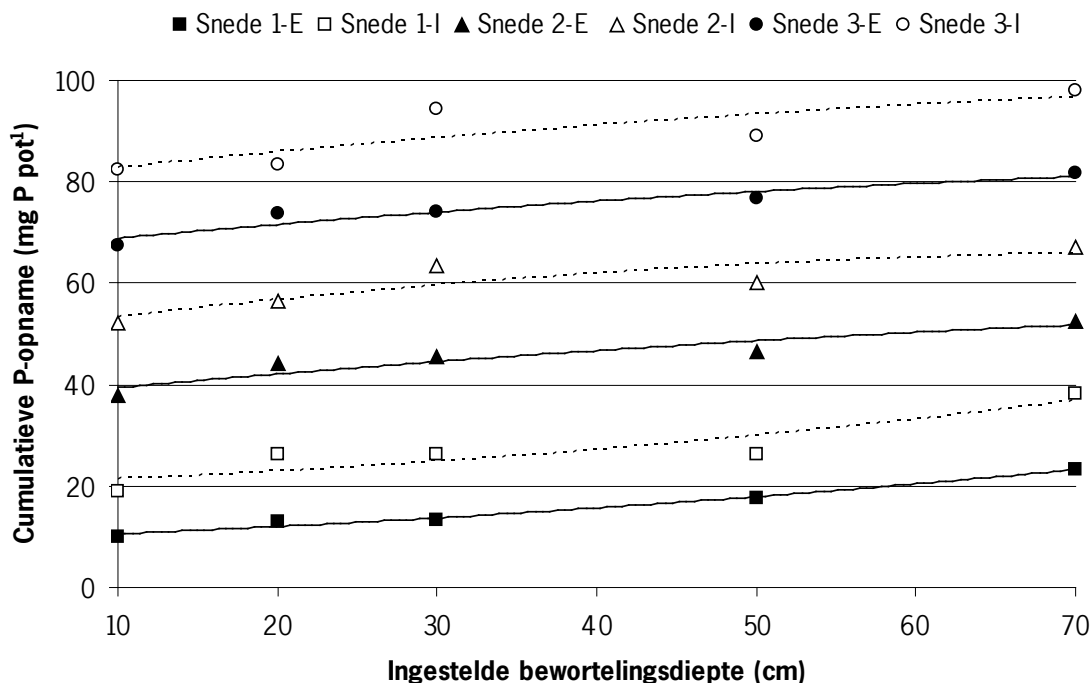
Bij de eerste oogst was de cumulatieve N-opname van Italiaans raaigras hoger dan van Engels raaigras, vooral bij een lager ingestelde bewortelingsdiepte (Figuur 5). Bij de tweede oogst waren er geen duidelijke verschillen meer in cumulatieve N-opname tussen Engels en Italiaans raaigras. Dit werd veroorzaakt doordat de behandelingen met Engels raaigras tijdens de groei van de tweede oogst meer N opnamen dan de behandelingen met Italiaans raaigras (Tabel 6). Bij de derde oogst was de cumulatieve N-opname van Italiaans raaigras wat lager dan die van Engels raaigras. Dit suggereert dat tijdens groei van de derde oogst Engels raaigras wat efficiënter N kon opnemen dan Italiaans raaigras. Mogelijk werd dit effect wat versterkt door de gesimuleerde uitspoeling. De hoogste cumulatieve N-opname bij de derde oogst was $498 \text{ mg N pot}^{-1}$ (Tabel 6); dit komt overeen met 471 kg N ha^{-1} . De cumulatieve N-bemesting met KAS bedroeg 197 kg N ha^{-1} ; de hoeveelheid minerale N in de grondkolom (0 tot 80 cm) bij aanvang van de proef was 78 kg N ha^{-1} . Daaruit volgt dat minimaal 196 kg N afkomstig was van mineralisatie van organische N in de grond.

3.4 Effect diepere en dichtere beworteling op P-opname gras

De effecten van de behandelingen op de cumulatieve P-opname van het gras zijn per oogst gegeven in Figuur 6. De gemiddelde LSD voor verschillen in P-opname tussen behandelingen (niet cumulatief, Tabel 7) was $3,8 \text{ mg P pot}^{-1}$.

Bij alle drie opeenvolgende oogsten was de cumulatieve P-opname bij beide grassoorten hoger bij een dieper ingestelde beworteling (Figuur 6). De hogere cumulatieve P-opname bij een dieper ingestelde beworteling werd vooral gerealiseerd tijdens groei van de eerste oogst en bleef daarna in stand (Tabel 7).

Figuur 6 Cumulatieve P-opname (mg P pot^{-1}) van het geogste gras bij de eerste oogst (vierkante symbolen), tweede oogst (driehoekige symbolen), en derde oogst (cirkelvormige symbolen), afhankelijk van de ingestelde bewortelingsdiepte (cm) en gezaaide grassoort (gesloten symbolen voor Engels raaigras (E), open symbolen voor Italiaans raaigras (I)). Solide en gestippelde lijnen vertegenwoordigen (polynome) trendlijnen voor respectievelijk Engels en Italiaans raaigras.



De cumulatieve P-opname was bij alle opeenvolgende oogsten hoger voor behandelingen met Italiaans raaigras in plaats van Engels raaigras (Figuur 6). Anders dan bij de cumulatieve N-opname was er bij de cumulatieve P-opname geen sprake van een 'inhaaleffect' tijdens groei van de tweede snede. Ook was de cumulatieve P-opname, anders dan de cumulatieve N-opname, bij de derde oogst voor Italiaans raaigras duidelijk hoger dan voor Engels raaigras. Uit de P-opname per behandeling per oogst (Tabel 7) blijkt dat de hogere P-opname van Italiaans raaigras vooral gerealiseerd werd tijdens groei van de eerste snede en daarna in stand bleef. Tijdens de groei van de derde snede was de P-opname van de behandelingen met Italiaans raaigras gelijk aan de behandelingen met Engels raaigras. De hoogste cumulatieve P-opname bij de derde oogst was $98,1 \text{ mg P pot}^{-1}$ (Tabel 7); dit komt overeen met 93 kg P ha^{-1} . Ter vergelijking: de totale hoeveelheid P, P-AI, en Pw in de laag 0 tot 80 cm was omgerekend respectievelijk 6211 , 1561 , en 112 kg P ha^{-1} . Tijdens het experiment werd er van de totale hoeveelheid P, van P-AI, en van Pw in totaal respectievelijk 1,5%, 6%, en 83% opgenomen.

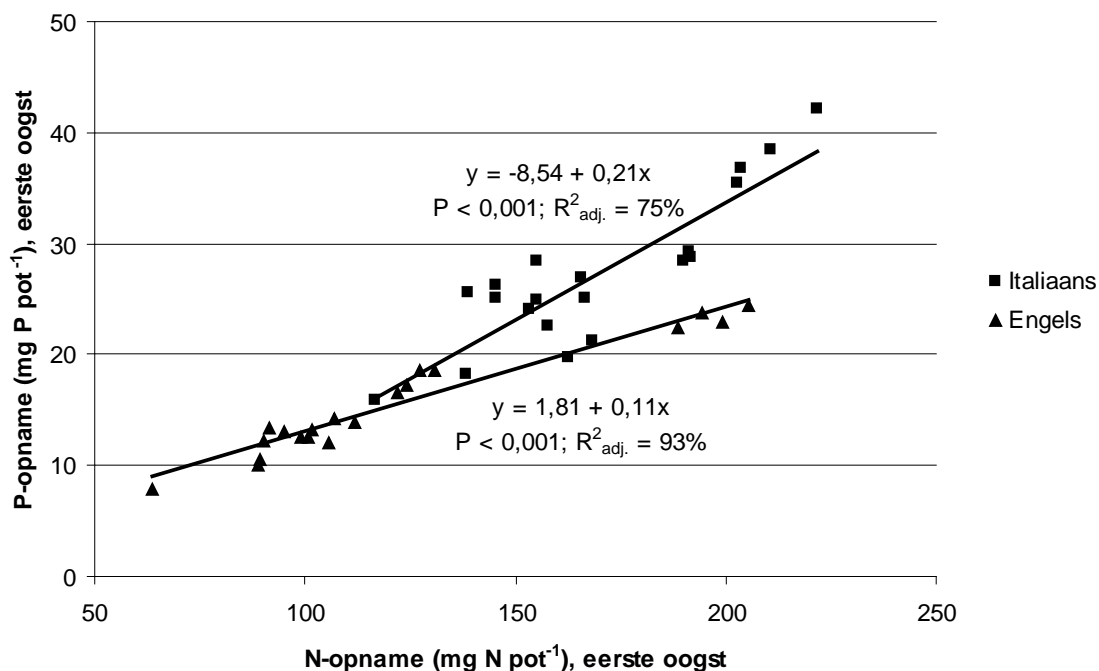
Een hogere P-opname van een behandeling kan deels het gevolg zijn van een hogere N-opname; de P- en N-opname van gras kunnen positief gecorreleerd zijn (Schils en Sniijders, 2004). Deze positieve correlatie was ook in het huidige onderzoek aanwezig.

3.5 Interactie tussen N- en P-opname gras

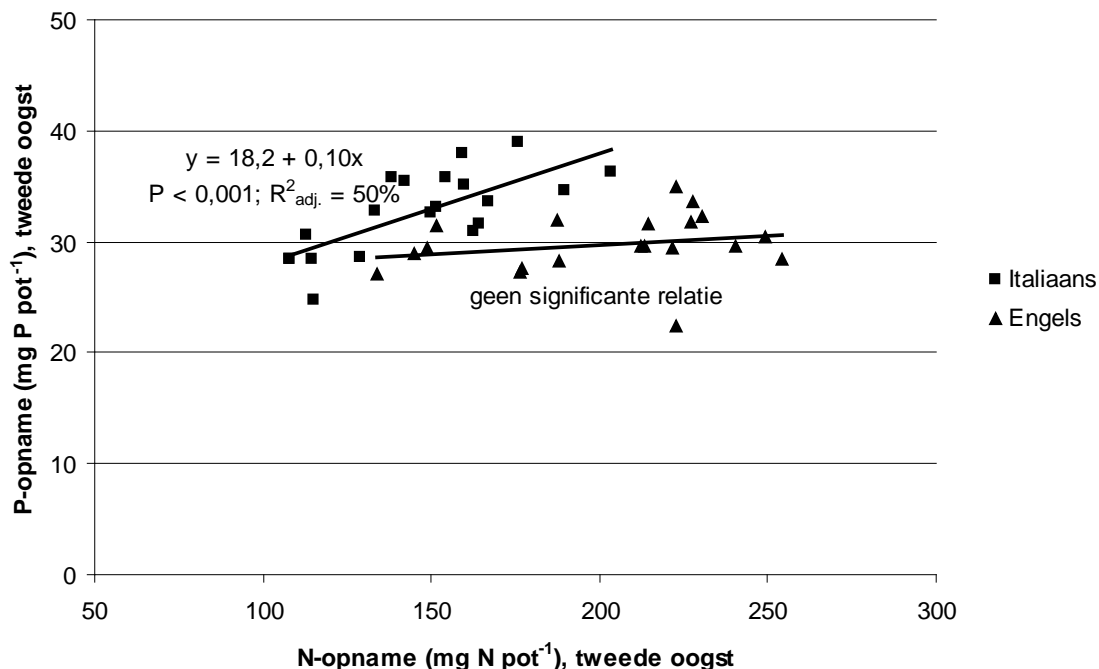
Vooral bij de eerste oogst was er sprake van een positieve interactie tussen de N- en P-opname van het gras (Figuur 7). Italiaans raaigras nam per eenheid opgenomen N gemiddeld meer P op dan Engels raaigras, vooral bij de eerste twee oogsten (Figuur 7, Figuur 8, Figuur 9). Bij de derde oogst was de relatie tussen de N- en P-opname niet langer significant voor Engels raaigras (Figuur 9). Na verwijdering van de 'uitbijter' bij Italiaans raaigras was ook deze relatie niet meer significant. De afwezigheid van significante relaties bij de derde oogst werd waarschijnlijk veroorzaakt door de zeer geringe variatie in N- en P-opname (smalle range). Uit de relaties tussen de N- en P-opname kan de conclusie getrokken worden dat gedurende dit experiment Italiaans raaigras per g N meer P opnam

dan Engels raaigras. Dit effect was progressief; bij toenemende N-opname nam de P-opname relatief sterker toe.

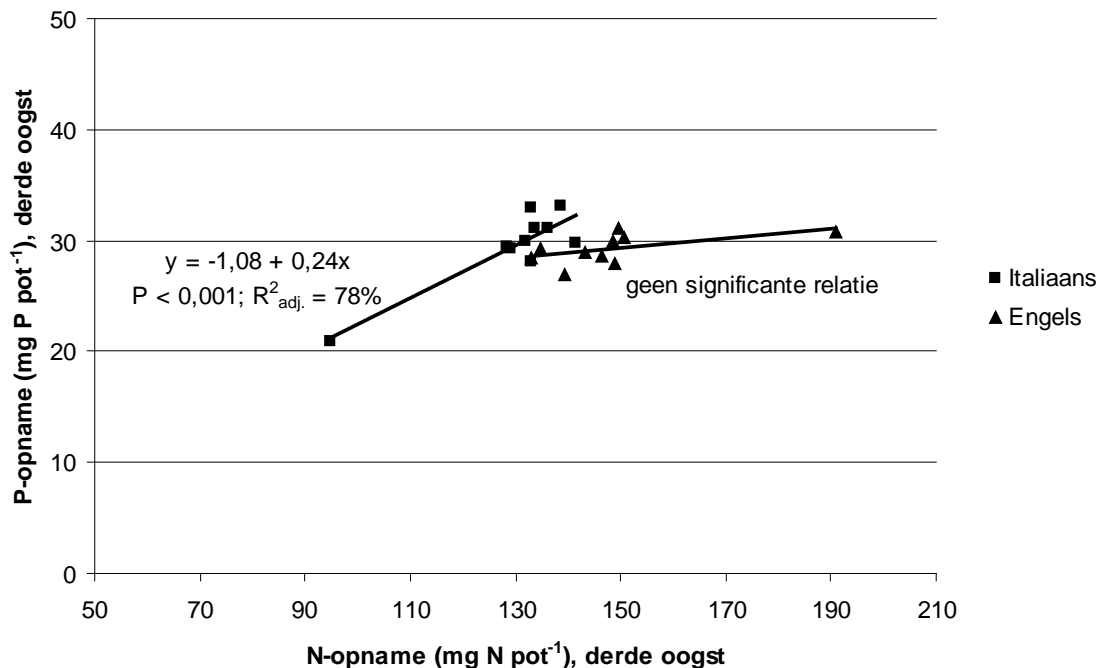
Figuur 7 Lineaire relatie tussen de N-opname en P-opname (mg pot^{-1}) van Engels raaigras (E) (driehoekige symbolen) en Italiaans raaigras (I) (vierkante symbolen) bij de eerste oogst



Figuur 8 Lineaire relatie tussen de N-opname en P-opname (mg pot^{-1}) van Engels raaigras (E) (driehoekige symbolen) en Italiaans raaigras (I) (vierkante symbolen) bij de tweede oogst



Figuur 9 Lineaire relatie tussen de N-opname en P-opname (mg pot^{-1}) van Engels raaigras (E) (driehoekige symbolen) en Italiaans raaigras (I) (vierkante symbolen) bij de derde oogst



Om een zuiverder beeld te krijgen van de effecten van de behandelingen op de P-opname zou deze gecorrigeerd moeten worden voor het niveau van N-opname. Dit kan door de P:N-verhouding in het gras te berekenen: de hoeveelheid P die per hoeveelheid N werd opgenomen.

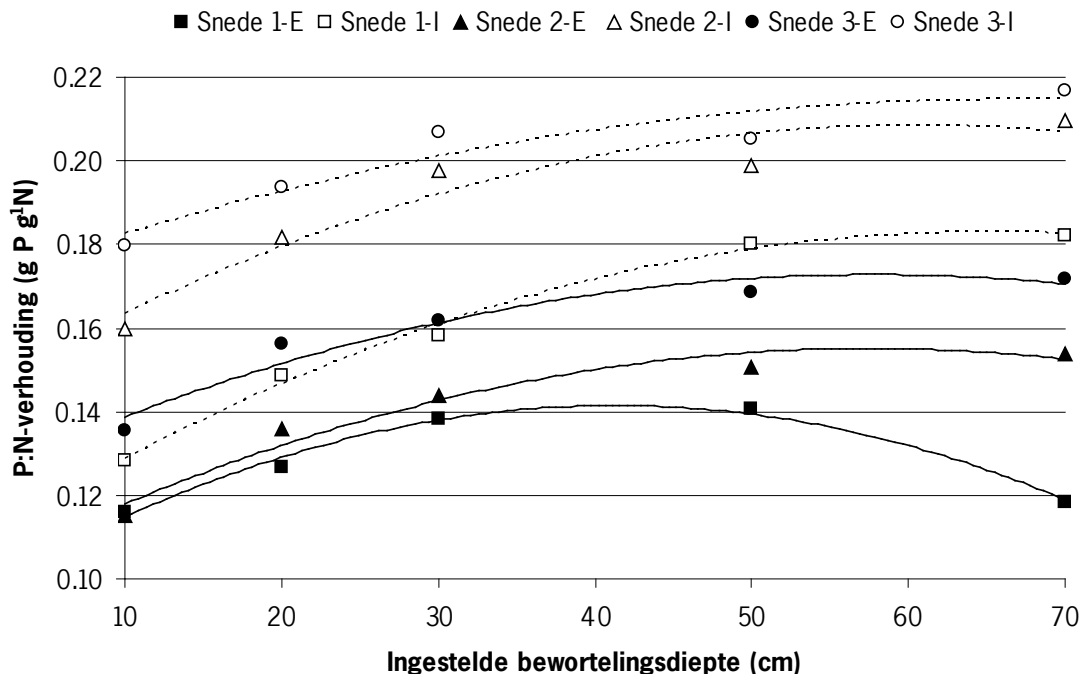
3.6 Effect diepere en dichtere beworteling op P:N-verhouding gras

Een P:N-verhouding van 0,1 betekent dat per gram opgenomen N er 0,1 gram P werd opgenomen. Door berekening van de P:N-verhouding kan de N:P-interactie (grotendeels) uit de resultaten worden gefilterd. Van belang is wel dat het niveau van N-opname tussen behandelingen niet teveel verschilt: de P:N verhouding bij een zeer laag niveau van N-opname kan niet betekenisvol vergeleken worden met de P:N-verhouding bij een zeer hoog niveau van N-opname. Aangenomen is dat bij de verschillen in N-opname in dit experiment er geen sprake was van een dergelijke situatie.

De cumulatieve P:N-verhouding (cumulatieve P-opname / cumulatieve N-opname) was voor Italiaans raaigras bij alle oogsten hoger dan voor Engels raaigras (Figuur 10). Vergeleken met Engels raaigras was de gemiddelde cumulatieve P:N-verhouding van Italiaans raaigras 25% hoger bij de eerste oogst, 36% hoger bij de tweede oogst, en 26% hoger bij de derde oogst. De cumulatieve P:N-verhouding nam bij een ingestelde worteldiepte tot 50 cm toe voor beide grassoorten. Daarna bleef ze grofweg constant, of nam weer af (eerste oogst, Engels raaigras).

Een hypothese bij het onderzoek was dat gras met een hogere wortelmasa meer P zou kunnen opnemen, vanwege een geringere afstand tussen P in de bodem en de wortels. Gebleken is dat Italiaans raaigras, de grassoort met de meeste wortelmasa (Figuur 1, Figuur 2), de hoogste P-opname had per eenheid opgenomen N (Figuur 10). De vraag is nu of dit het gevolg was van de hogere wortelmasa. Een eerste indruk kan verkregen worden door de P-opname van de behandelingen bij de tweede en derde oogst te koppelen aan de wortelmasa. Alvorens de P-opname aan de wortelmasa te koppelen, werden eerst de opbrengst (DS) en N-opname aan de wortelmasa gekoppeld.

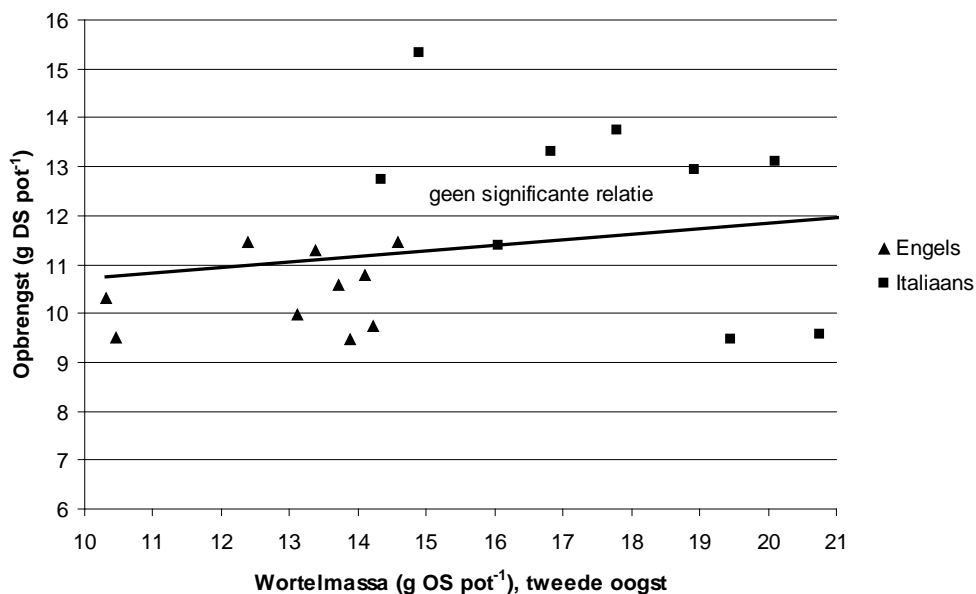
Figuur 10 Cumulatieve P:N verhouding ($\text{g P g}^{-1} \text{N}$) van het geoogste gras bij de eerste oogst (vierkante symbolen), tweede oogst (driehoekige symbolen), en derde oogst (cirkelvormige symbolen), afhankelijk van de ingestelde bewortelingsdiepte (cm) en gezaaide grassoort (gesloten symbolen voor Engels raaigras (E), open symbolen voor Italiaans raaigras (I)). Solide en gestippelde lijnen vertegenwoordigen (polynome) trendlijnen voor respectievelijk Engels en Italiaans raaigras.



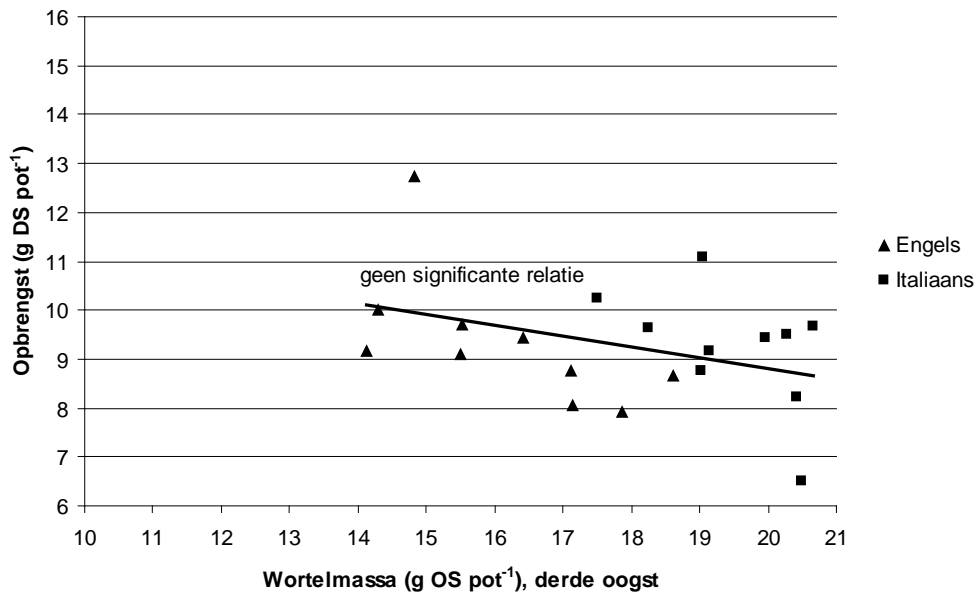
3.7 Relatie tussen opbrengst gras en wortelmasa

Bij zowel de tweede als derde oogst was er geen significante relatie tussen de grasopbrengst en de totale wortelmasa (OS) in bodemlaag 0 tot 80 cm (Figuur 11, Figuur 12). Het toevoegen van grassoort als groepsfactor aan de regressieanalyse gaf ook geen significante relaties.

Figuur 11 Lineaire relatie tussen de grasopbrengst (DS) en de wortelmasa (OS) in bodemlaag 0 tot 80 cm bij de tweede oogst van Engels raaigras (driehoekige symbolen) en Italiaans raaigras (vierkante symbolen)



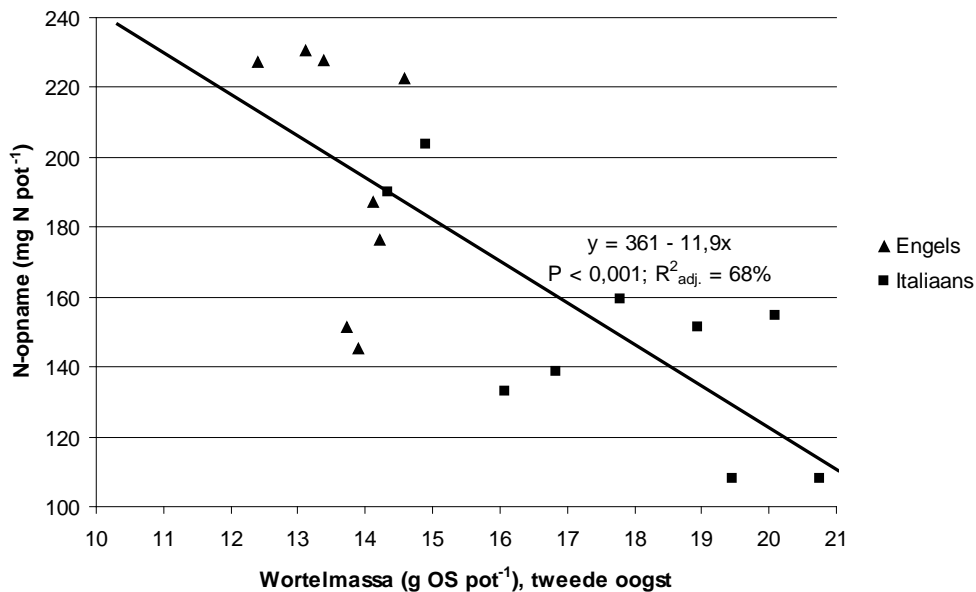
Figuur 12 Lineaire relatie tussen de grasopbrengst (DS) en de wortelmasa (OS) in bodemlaag 0 tot 80 cm bij de derde oogst van Engels raaigras (driehoekige symbolen) en Italiaans raaigras (vierkante symbolen)



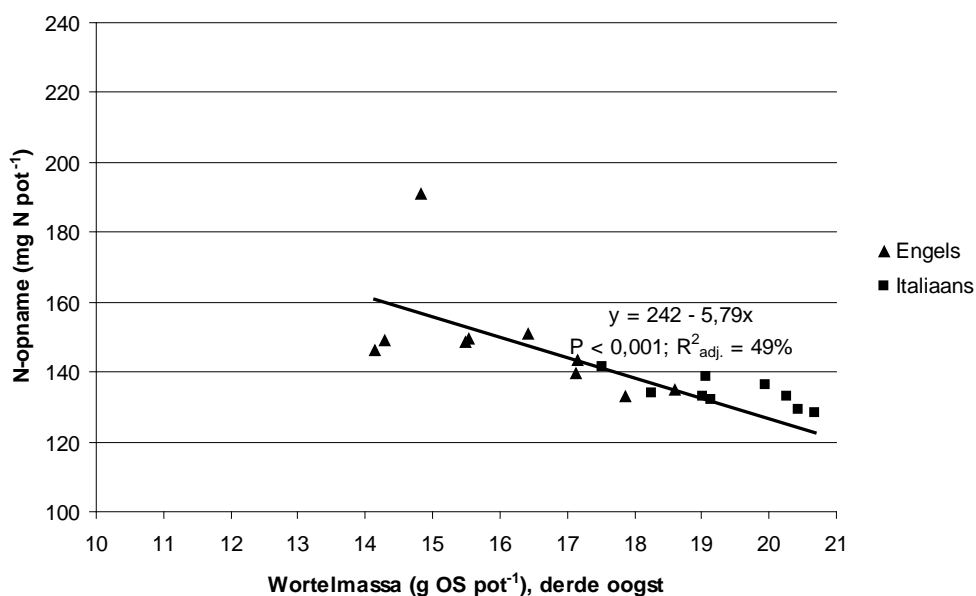
3.8 Relatie tussen N-opname gras en wortelmasa

Bij de tweede en derde oogst was er sprake van een negatieve relatie tussen de N-opname van het gras en de totale wortelmasa (OS) in bodemlaag 0 tot 80 cm (Figuur 13, Figuur 14). De relaties konden niet verbeterd worden door grassoort als groepsfactor aan de regressieanalyse toe te voegen. Bij de derde oogst werd minder variantie in N-opname verklaard door de wortelmasa dan bij de tweede oogst. Tevens was de regressiecoëfficiënt bij de derde oogst lager dan bij de tweede oogst. De relatie tussen N-opname en wortelmasa werd met het verstrijken van de tijd dus zwakker en minder negatief.

Figuur 13 Lineaire relatie tussen de (bovengrondse) N-opname van het gras en de wortelmasa (OS) in bodemlaag 0 tot 80 cm bij de tweede grasoogst (eerste worteloogst) van Engels raaigras (driehoekige symbolen) en Italiaans raaigras (vierkante symbolen)



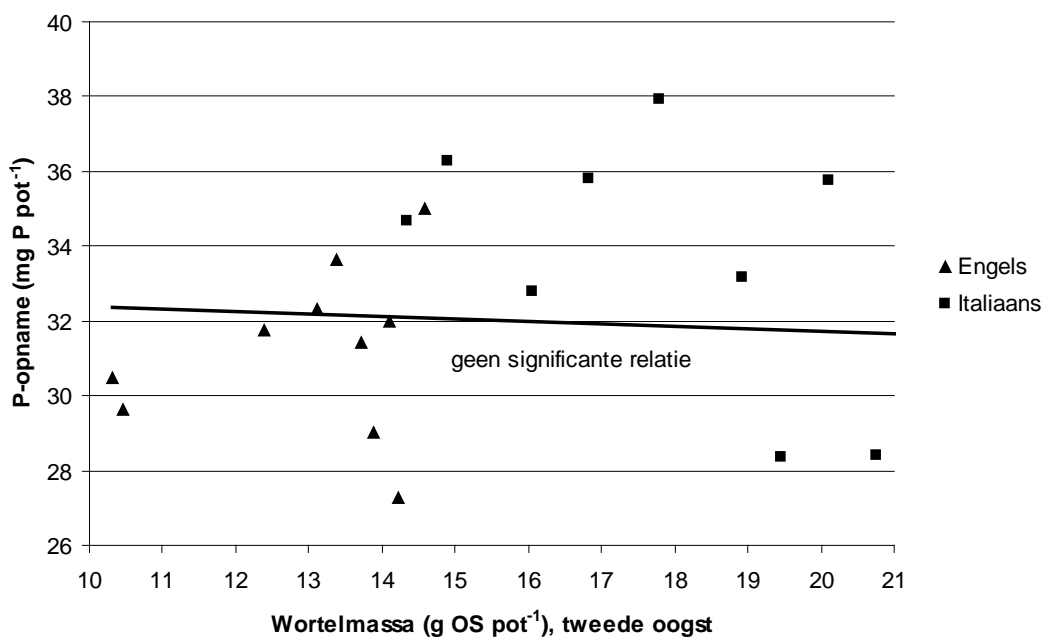
Figuur 14 Lineaire relatie tussen de (bovengrondse) N-opname van het gras en de wortelmasa (OS) in bodemlaag 0 tot 80 cm bij de derde gras oogst (tweede worteloogst) van Engels raaigras (driehoekige symbolen) en Italiaans raaigras (vierkante symbolen)



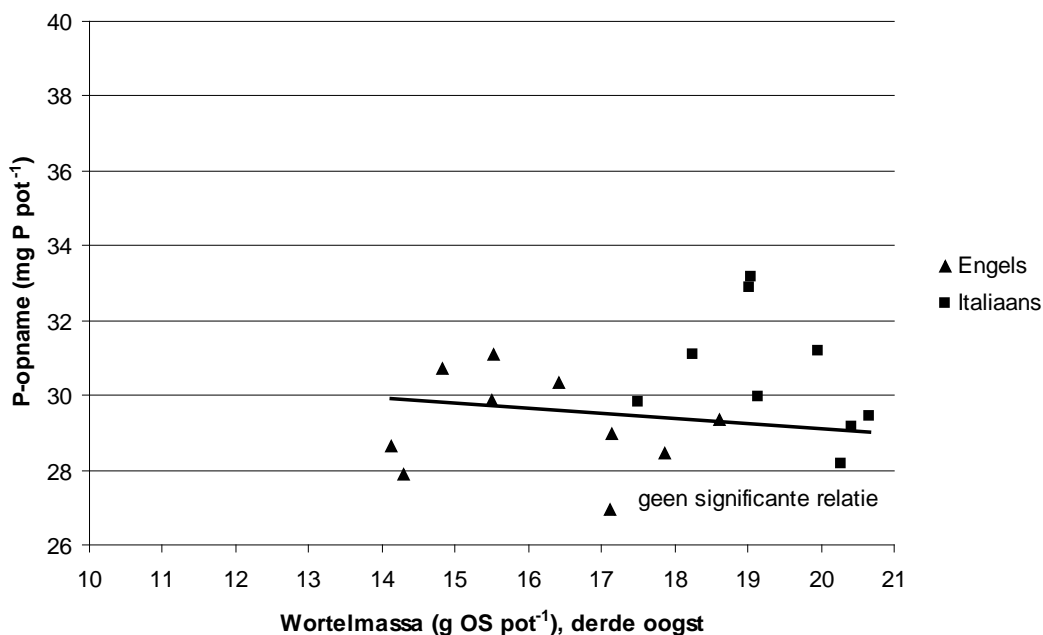
3.9 Relatie tussen P-opname gras en wortelmasa

Bij zowel de tweede als derde oogst was er geen relatie tussen de P-opname van het gras en de totale wortelmasa (OS) in bodemlaag 0 tot 80 cm. (Figuur 15, Figuur 16).

Figuur 15 Lineaire relatie tussen de (bovengrondse) P-opname van het gras en de totale wortelmasa (OS) in bodemlaag 0 tot 80 cm bij de tweede grasoogst (eerste worteloogst) van Engels raaigras (driehoekige symbolen) en Italiaans raaigras (vierkante symbolen)



Figuur 16 Lineaire relatie tussen de P-opname van het gras en de totale wortelmasa (OS) in bodemlaag 0 tot 80 cm bij de derde grasoogst (tweede worteloogst) van Engels raigras (driehoekige symbolen) en Italiaans raigras (vierkante symbolen)



Het toevoegen van grassoort als groepsfactor aan de regressieanalyse gaf ook geen significante relaties. Ook bij het koppelen van de P-opname aan de wortelmasa per afzonderlijke laag van 10 cm bleek er geen enkele significante relatie gelegd te kunnen worden (Tabel 4).

Tabel 4 Beschrijving van lineaire relaties tussen de (bovengrondse) P-opname van het gras en de wortelmasa (OS) in de acht afzonderlijke bodemlagen van 10 cm, bij de tweede en derde grasoogst (eerste en tweede worteloogst)

Bodemlaag	Tweede oogst			Derde oogst		
	P-waarde	R ² _{adj.}	Relatie	P-waarde	R ² _{adj.}	Relatie
00-10 cm	0,735	NS	NS	0,720	NS	NS
10-20 cm	0,855	NS	NS	0,288	NS	NS
20-30 cm	0,230	NS	NS	0,945	NS	NS
30-40 cm	0,444	NS	NS	0,900	NS	NS
40-50 cm	0,632	NS	NS	0,931	NS	NS
50-60 cm	0,167	NS	NS	0,813	NS	NS
60-70 cm	0,073	NS	NS	0,665	NS	NS
70-80 cm	0,762	NS	NS	0,702	NS	NS

4 Discussie

4.1 Effect diepere en dichtere beworteling op N-opname gras

Uit visuele waarnemingen bleek dat aan het eind van de groei van de eerste snede de graswortels de ring met filterdoek aan de randen konden passeren. Vervolgens hebben deze wortels ongehinderd door kunnen groeien. Het is waarschijnlijk dat Italiaans raaigras, gezien de snellere beginontwikkeling, als eerste grassoort de barrière doorbrak. Het eerder doorbreken van de barrière is een passende verklaring voor de hogere N-opname van Italiaans raaigras, vergeleken met Engels raaigras, bij de eerste oogst. Als gevolg van de diepere beworteling bij behandelingen met Italiaans raaigras werd er meer van de totale hoeveelheid aanwezig N in de grondkolom opgenomen. Bij Engels raaigras was dit precies andersom. Dit heeft tijdens de groei van de tweede snede geleid tot een 'inhaaleffect': behandelingen met Engels raaigras namen meer N op dan behandelingen met Italiaans raaigras. Hierdoor was de cumulatieve N-opname bij de tweede oogst voor beide grassoorten grofweg gelijk. De wat lagere cumulatieve N-opname van Italiaans raaigras, vergeleken met Engels raaigras, bij de derde oogst kan erop wijzen dat Italiaans raaigras de toegediende en deels 'doorgespoelde' N minder efficiënt kon opnemen dan Engels raaigras. De reden hiervoor is onduidelijk.

De passage van de graswortels langs het filterdoek leidde uiteindelijk tot een cumulatieve N-opname bij tweede en derde oogst die vrijwel onafhankelijk was van ingestelde bewortelingsdiepte. Behandelingen met een dieper ingestelde beworteling hadden tijdens groei van de eerste snede toegang tot meer N, en konden daardoor ook meer N opnemen dan behandelingen met een ondieper ingestelde beworteling. Dezelfde behandelingen konden daardoor tijdens de groei van de tweede snede minder N opnemen. Bij de behandelingen met een ondieper ingestelde bewortelingsdiepte was dit patroon precies andersom. De reactiecurve van de cumulatieve N-opname op ingestelde bewortelingsdiepte was bij behandelingen met Engels raaigras enigszins 'dalvormig' bij de tweede oogst, en sterker 'dalvormig' bij de derde oogst. Onduidelijk is waardoor deze 'dalvorm' veroorzaakt werd.

Een doelstelling van de proef was om het effect van een diepere beworteling op N-opname inzichtelijk te maken. Het idee was dat tijdens de groei van de eerste twee sneden alle beschikbare N uit de afgegrensde grondkolom opgenomen kon worden, en dat tijdens groei van de derde snede het effect van de diepte van beworteling op de benutting van de gegeven N-meststof zichtbaar zou worden. Het 'doorspoelen' van de N zou dit effect meer realistisch moeten te maken. Dit doel is niet bereikt, omdat de wortels al tijdens de groei van de eerste snede langs de barrière groeiden. Wel blijkt duidelijk wat het effect is als wortels diepere bodemlagen kunnen aanboren. Omdat in eerste instantie in alle bodemlagen evenveel N beschikbaar was voor opname, is dit effect minder realistisch. In de praktijk zullen diepere bodemlagen aanzienlijk minder N bevatten dan de diepere bodemlagen in dit experiment. Echter, met een (onbedoelde) omweg maken de resultaten toch het effect van diepere beworteling op N-opname (en opbrengst) duidelijk.

4.2 Effect diepere en dichtere beworteling op P-opname gras

Anders dan bij de cumulatieve N-opname was er bij de cumulatieve P-opname geen sprake van een 'inhaaleffect' tijdens groei van de tweede snede. Ook was de cumulatieve P-opname, anders dan de cumulatieve N-opname, bij de derde oogst voor Italiaans raaigras duidelijk hoger dan voor Engels raaigras. Deze verschillen in reactie tussen cumulatieve N- en P-opname werd waarschijnlijk veroorzaakt doordat de P-opname van gras minder sterk reageert op beschikbare P dan de N-opname op beschikbare N. Hierdoor was er geen sprake van een 'inhaaleffect' van Engels raaigras vergeleken met Italiaans raaigras tijdens groei van de tweede oogst, en bleef de opgebouwde voorsprong van Italiaans raaigras in stand. Dezelfde verklaring kan ook gegeven worden voor het in stand blijven van de hogere cumulatieve P-opname bij een dieper ingestelde beworteling.

4.3 Relatie tussen N-opname gras en wortelmassa

De negatieve relaties tussen de N-opname van het gras en de wortelmassa geven aan dat er bij een hogere wortelmassa minder N met het gras geoogst werd. Dit suggereert dat er meer N door de

wortels werd opgenomen. Een hogere N-opname door de wortels zou een negatief effect op de grasopbrengst moeten hebben; dit werd echter niet waargenomen (Figuur 11, Figuur 12). Een verklaring hiervoor is dat het verschil in N-opname vooral in een later stadium van de groei van een snede tot stand kwam; de N die dan opgenomen wordt heeft minder effect op de opbrengst.

De (afzwakkende) negatieve relatie tussen N-opname en wortelmassa is mogelijk gekoppeld aan een bekend fenomeen uit de praktijk: nieuw ingezaaid grasland heeft tijdelijk een hogere N-gift nodig. Een verklaring hiervoor is dat er bij nieuw grasland (tijdelijk) meer N door de wortels wordt opgenomen en in het wortelstelsel wordt geïnvesteerd. Wordt deze extra N niet gegeven, dan kan het grasland het eerste jaar of zelfs de eerste jaren na inzaai gaan kwakkelen (de 'hongerjaren' of de 'sukkelperiode' genoemd; zie de Boer en Hoving (2005)).

4.4 Relatie tussen P-opname gras en wortelmassa

De wortelmassa (OS) is een grove parameter om onderscheid in beworteling tussen behandelingen te maken. De aanname in dit experiment was dat Engels en Italiaans raaigras een vergelijkbare wortellengte per gewichtseenheid hebben. Italiaans raaigras zou dan als gevolg van een hogere wortelmassa ook een hoger worteloppervlak hebben. Het is echter mogelijk dat beide grassoorten verschillen in worteldikte of het aantal of de lengte van de wortelharen. De grofheid van wortelmassa als indicator voor beworteling zou in dat geval de oorzaak kunnen zijn van het ontbreken van een relatie tussen de P-opname van het gras en de wortelmassa.

Zhu et al. (2010) laat voor maïs zien dat variëteiten met langere wortelharen, of met het vermogen om wortelharen langer te laten groeien, een grotere P-opname en opbrengst hebben bij een lage P-voorziening. Otani en Ae (1996) concludeerden dat de P-opname van zes verschillende gewassen sterk gecorreleerd was met wortellengte in een bodem met een hoge P-toestand, maar niet in bodems met een lage P-toestand. Römer et al. (1988) concludeerden daarentegen uit onderzoek aan negen tarwecultivars dat bij een hoge P-toestand van de bodem de wortellengte per plant niet van belang is voor de hoeveelheid P die opgenomen wordt. Sommige tarwecultivars waren in staat om bij een afnemende P-voorziening het wortelstelsel te vergroten of de P-opname anderszins te verhogen (hogere P-opname per worteleenheid). Bij een lage P-toestand van de bodem was de wortellengte fors hoger vergeleken met een hoge P-toestand: gemiddeld 410 cm plant⁻¹ vergeleken met 263 cm plant⁻¹. De correlatie (r) tussen wortellengte en P-opname was zwak: 0,39 bij hoge P-toestand en 0,50 bij lage P-toestand. Sommige cultivars konden zich beter aanpassen aan een lage P-toestand dan andere. Cultivars die bij een hoge P-toestand relatief weinig P opnamen, namen bij een lage P-toestand de meeste P op (hoewel de totale P-opname bij lage P-toestand lager was dan bij hoge P-toestand). Selectie van dergelijke cultivars zou dus perspectief kunnen hebben bij een lage P-toestand van de bodem, niet bij een hoge P-toestand. In het huidige onderzoek was de P-toestand van de zandgrond voldoende tot ruim voldoende (P-AI getal van 35).

Het ontbreken van een relatie tussen P-opname en wortelmassa hoeft niet per definitie het gevolg te zijn van de grofheid van wortelmassa als indicator voor beworteling. De relatie kan ook simpelweg niet aanwezig zijn. Data over de wortellengtedichtheden (cm g⁻¹) en verschillen in ontwikkeling van wortelharen van Engels en Italiaans raaigras, gegroeid onder dezelfde omstandigheden, zijn niet beschikbaar, en ook niet gemeten in het huidige onderzoek. Het verdient aanbeveling om dit alsnog te doen, om het ontbreken van een relatie tussen P-opname en wortelmassa verder te kunnen duiden.

5 Conclusies

- Diepere beworteling leidde in eerste instantie tot een hogere N-opname. Omdat ingestelde bewortelingsdieptes niet gehandhaafd konden worden, draaide dit effect daarna om. Aan het eind van het experiment was er netto geen effect van ingestelde bewortelingsdiepte op cumulatieve N-opname
- De cumulatieve N-opname van Italiaans raaigras was, vergeleken met Engels raaigras, hoger bij eerste oogst, gelijk bij tweede oogst, en iets lager bij derde oogst
- Italiaans raaigras nam bij eenzelfde N-opname meer P op dan Engels raaigras; de cumulatieve P-opname was aan het einde van het experiment gemiddeld 26% hoger voor Italiaans raaigras
- Een hogere N-opname leidde, vooral voor Italiaans raaigras, tot een hogere P-opname. Dit effect was progressief. P-ophoping in de bodem, en het lekken van P, kan dus gereduceerd worden door een hoge N-opname te realiseren (o.a. door voldoende ruim met N te bemesten...)
- Diepere beworteling leidde (als gevolg van een hogere N-opname tijdens de eerste groeiperiode) tot een blijvend hogere cumulatieve P-opname tijdens de duur van het experiment
- Er was geen relatie tussen de P-opname van het gras en de wortelmasa (OS)
- Bij een hogere wortelmasa (OS) was de (bovengrondse) N-opname van het gras lager, zowel bij de tweede als bij de derde oogst. De relatie was bij de derde oogst minder negatief dan bij de tweede
- Ondanks de lagere N-opname was bij een hogere wortelmasa (OS) de grasopbrengst (DS) niet lager

Literatuur

Crush, J.R., J.E. Waller, D.A. Care. 2005. Root distribution and nitrate interception in eleven temperate forage grasses. *Grass and Forage Science* 60:385-392.

de Boer, H.C., I.E. Hoving. 2005. Literatuurstudie van landbouwkundige effecten van herinzaai van grasland. *Praktijkrapport Rundvee 70*, Animal Sciences Groep, Lelystad.

Genstat 12.1, VSN International, Hemel Hempstead, UK.

Houba, V.J.G., J.J.G. van der Lee, I. Novozamsky. 1997a. Soil and plant analysis. Part 1: Soil analysis procedures, Department of Soil Quality, Wageningen University, Wageningen.

Houba, V.J.G., J.J.G. van der Lee, I. Novozamsky. 1997b. Soil and plant analysis. Part 3: Plant analysis procedures, Department of Soil Quality, Wageningen University, Wageningen.

Noordwijk, M. 1986. Beworteling en efficiënt gebruik van voedingstoffen. In E.T. Lammerts van Bueren en T. Vierhout (ed.). *Alternatieve Landbouw. Verslag van een studiedag gehouden op 4 december 1986*.

Otani, T., N. Ae. 1996. Sensitivity of phosphorus uptake to changes in root length and soil volume. *Agronomy Journal* 88:371-375.

Römer, W., J. Augustin, G. Schilling. 1988. The relationship between phosphate absorption and root length in nine wheat cultivars. *Plant and Soil* 111:199-201.

Schils, R.L.M., P. Snijders. 2004. The combined effect of fertilizer nitrogen and phosphorus on herbage yield and changes in soil nutrients of a grass/clover and grass-only sward. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 68:165-179.

Zhu, J.M., C.C. Zhang, J.P. Lynch. 2010. The utility of phenotypic plasticity of root hair length for phosphorus acquisition. *Functional Plant Biology* 37:313-322.

Bijlage. Tabellen met gefitte data**Tabel 5** Gefitte DS-opbrengst (g pot⁻¹) per behandeling per oogst

Oogst	Worteldiepte	Grassoort	
		Engels raaigras	Italiaans raaigras
Eerste oogst	10	3,1	5,7
	20	4,4	7,6
	30	4,6	8,1
	50	6,2	9,4
	70	6,9	11,2
Tweede oogst	10	9,5	13,7
	20	10,2	11,7
	30	10,4	13,2
	50	9,7	12,7
	70	10,0	9,9
Derde oogst	10	11,5	9,8
	20	9,6	8,6
	30	9,0	9,6
	50	9,0	9,7
	70	8,3	8,4
Alle oogsten (som)	10	24,1	29,1
	20	24,2	27,9
	30	24,0	30,9
	50	24,9	31,7
	70	25,2	29,5

* Gemiddelde LSD (alle vergelijkingen, behalve met 'alle oogsten') is 1,4 g DS pot⁻¹

Tabel 6 Gefitte N-opname (mg pot⁻¹) per behandeling per oogst

Oogst	Worteldiepte	Grassoort	
		Engels raaigras	Italiaans raaigras
Eerste oogst	10	87*	147
	20	103	176
	30	96	166
	50	126	146
	70	197	210
Tweede oogst	10	242	180
	20	222	134
	30	220	154
	50	182	156
	70	145	111
Derde oogst	10	169	132
	20	147	120
	30	142	137
	50	147	132
	70	133	132
Alle oogsten (som)	10	498	459
	20	472	430
	30	458	457
	50	455	434
	70	475	453

* Gemiddelde LSD (alle vergelijkingen, behalve met 'alle oogsten') is 21 mg N pot⁻¹

Tabel 7 Gefitte P-opname (mg pot⁻¹) per behandeling per oogst

Oogst	Worteldiepte	Grassoort	
		Engels raigras	Italiaans raigras
Eerste oogst	10	10,1	18,8
	20	13,1	26,2
	30	13,3	26,3
	50	17,7	26,3
	70	23,3	38,2
Tweede oogst	10	27,8	33,4
	20	31,1	30,3
	30	32,2	37,0
	50	28,8	33,8
	70	29,2	28,9
Derde oogst	10	29,6	30,2
	20	29,7	26,9
	30	28,6	31,1
	50	30,2	28,9
	70	29,0	31,0
Alle oogsten (som)	10	67,5	82,4
	20	73,9	83,4
	30	74,0	94,5
	50	76,7	89,0
	70	81,6	98,1

* Gemiddelde LSD (alle vergelijkingen, behalve met 'alle oogsten') is 3,8 mg P pot⁻¹

Tabel 8 Gefitte P:N-verhouding in geoogst gras per behandeling per oogst

Oogst	Worteldiepte	Grassoort	
		Engels raigras	Italiaans raigras
Eerste oogst	10	0,116	0,128
	20	0,127	0,149
	30	0,138	0,158
	50	0,140	0,180
	70	0,118	0,182
Tweede oogst	10	0,115	0,185
	20	0,140	0,226
	30	0,146	0,240
	50	0,158	0,217
	70	0,202	0,261
Derde oogst	10	0,175	0,230
	20	0,202	0,224
	30	0,202	0,228
	50	0,206	0,220
	70	0,218	0,235
Alle oogsten (gem.)	10	0,135	0,181
	20	0,156	0,199
	30	0,162	0,209
	50	0,168	0,205
	70	0,180	0,226



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E info.livestockresearch@wur.nl | www.livestockresearch.wur.nl