



Stikstof-turnover in niet geoogste plantendelen in productiegrasland

W.J. Corré & J.G. Conijn

Inhoudsopgave

	pagina
1. Inleiding	1
1.1 Aanleiding tot het onderzoek	1
1.2 Probleemstelling	1
1.3 Aanpak van het onderzoek	1
2. Resultaten	3
2.1 Directe benadering via meting afsterving	3
2.2 Indirecte benadering via koolstofstromen	4
2.3 Indirecte benadering via stikstofmineralisatie	4
2.4 Benadering met modellen	5
2.5 Samenvatting resultaten	6
3. Discussie	8
3.1 Kwantificering	8
3.2 Afhankelijkheid van het stikstofbemestingsniveau	8
4. Referenties	9

1. Inleiding

1.1 Aanleiding tot het onderzoek

In het onderzoek naar stikstofstromen in productiegrasland wordt onder stikstofopname door het gewas vrijwel altijd verstaan de opgenomen stikstof die in oogstbare delen wordt vastgelegd. Dit is het gevolg van het typisch landbouwkundige karakter van het onderzoek waarin de relatie tussen bemesting en oogstbare productie centraal staat en van de bijzonder problematische bepaling van de turnover van wortels en niet geoogste bovengrondse plantendelen in grasland.

Dit heeft geresulteerd in de bekende stikstofstroomschema's waarin wortels en stoppels ontbreken (o.a. Van der Meer & Van Uum-van Lohuyzen, 1986). In deze schema's ontbreekt het deel van de opname dat in niet oogstbare delen is vastgelegd en dus ook de toevoer van deze stikstof naar de bodem na afsterven van deze delen. Door het ontbreken van een deel van de aanvoer van organisch gebonden stikstof wordt ook een reële kwantificering van de stikstofmineralisatie op basis van deze schema's onmogelijk. Bij een vereenvoudigde benadering van de stikstofhuishouding, waarbij wordt uitgegaan van een stabiele hoeveelheid stikstof in het systeem op jaarbasis, hoeft dit geen probleem te zijn. Hierbij is immers aangenomen dat de jaarlijkse stikstofmineralisatie uit afgestorven niet oogstbare plantendelen weggestreept kan worden tegen de jaarlijkse stikstofopname die gebruikt wordt voor de vorming van niet oogstbare plantendelen.

Voor niet stabiele situaties, waarbij sprake is van netto opbouw of afbraak van organische stof, en voor een meer dynamische beschrijving van de stikstofstromen voldoet een vereenvoudigde benadering niet en is een meer gedetailleerde beschrijving van de stikstofstromen onmisbaar. Voor deze beschrijving is een goede schatting van de totale toevoer van organisch gebonden stikstof naar de bodem nodig, inclusief die stikstof in afgestorven niet oogstbare plantendelen. In de meeste modellen waarin de productie of de milieubelasting van grasland worden berekend is tegenwoordig wel een berekening van de stikstofmineralisatie opgenomen, maar de input van stikstof uit afgestorven niet oogstbare plantendelen is niet in alle modellen even goed onderbouwd. Om deze situatie te verbeteren is, in het kader van het LNV Onderzoeksprogramma 398-III, 'Verbetering modelinstrumentarium', in deze nota de bestaande kennis op dit gebied samengevat met als doel consensus te bereiken over de input van stikstof naar de bodem uit afgestorven niet oogstbare plantendelen in productiegrasland.

1.2 Probleemstelling

Voor een correcte berekening van de stikstofstromen in grasland is het nodig een goed beeld te hebben van de totale opname door het gewas en van de hoeveelheid stikstof die weer aan de bodemvoorraad wordt toegevoegd door het afsterven van niet oogstbare plantendelen. Deze hoeveelheden en hun afhankelijkheid van het bemestingsniveau zijn niet eenduidig gedocumenteerd.

1.3 Aanpak van het onderzoek

Het onderzoek omvat in de eerste plaats een analyse van de literatuur. Hierin zijn drie relevante benaderingen te onderscheiden. De eerste is een directe benadering door het meten van de hoeveelheid afgestorven niet oogstbare plantendelen en de stikstofgehalten hierin. De tweede benadering bestaat uit een analyse van de koolstofstromen met behulp van fotosynthese/ademhalingsonderzoek. Op basis hiervan kan de hoeveelheid afgestorven niet oogstbare plantendelen geschat worden en in combinatie met geschatte stikstofgehalten kan de stikstofinput berekend worden. De derde tenslotte is een indirecte benadering via de meting van de stikstofmineralisatie. In een evenwichtssituatie is het verschil tussen mineralisatie en input via organische bemesting, inclusief weidemest, en maai- en beweidingsverliezen gelijk aan de input via afgestorven niet oogstbare plantendelen. Alle drie benaderingen kennen hun zwakheden. De directe benadering kent een grote methodische onnauwkeurigheid bij de bepaling van de hoe-

veelheid afgestorven niet oogstbare plantendelen; bij de andere benaderingen geeft het indirecte karakter een extra bron van onnauwkeurigheid. Doordat alle benaderingen grote onnauwkeurigheden kennen, kunnen zij elkaar juist goed aanvullen.

Daarnaast is nog geanalyseerd op welke wijze in verschillende modellen de hoeveelheid stikstof in afgestorven niet oogstbare plantendelen berekend wordt.

Naast afgestorven niet oogstbare plantendelen vormt ook het deel van de oogstbare productie dat bij de oogst verloren gaat een stikstofstroom van gewas naar bodem. Het gaat hier om de oogst- en beweidingsverliezen, ofwel het verschil tussen bruto en netto productie. Metingen en berekeningen van de stikstofstroom van plant naar bodem in de literatuur zijn soms exclusief en soms inclusief deze verliezen gemaakt en het is daarom niet altijd mogelijk deze verliezen apart te onderscheiden. De omvang van deze verliezen hangt sterk af van de manier van oogsten en van het stikstofgehalte van de oogstbare delen. In dit rapport gaat de aandacht vooral uit naar de afgestorven niet oogstbare delen.

2. Resultaten

2.1 Directe benadering via meting afsterving

Deze benadering is gebaseerd op de bepaling van de hoeveelheid per jaar afstervende niet oogstbare plantendelen en het stikstofgehalte hierin. Omdat dit afsterven een continu proces is, zich deels aan het oog onttrekt en vooral bij wortels het onderscheid tussen levend en dood materiaal moeilijk is te maken, kan er nauwelijks sprake zijn van nauwkeurige meting van de hoeveelheid afgestorven materiaal en is het schattingselement erg belangrijk bij de bepaling. De bekendste referentie in deze benadering is de review van Whitehead (1986). In deze review wordt geconcludeerd dat in productiegrasland de hoeveelheid afgestorven bovengronds materiaal vrijwel even groot is als de hoeveelheid geoogst materiaal (Parsons, 1986) en dat het stikstofgehalte hierin sterk afhankelijk is van het bemestingsniveau (o.a. Hunt, 1983). Voor wortels wordt geconcludeerd dat onder frequent geoogst productiegrasland een hoeveelheid levende wortels van ongeveer 3000 kg per hectare aanwezig is met een levensduur van gemiddeld 5 tot 6 maanden (Garwood, 1967; Troughton, 1981). De afhankelijkheid van de hoeveelheid wortels van het bemestingsniveau is niet eenduidig vastgesteld, het meest waarschijnlijk lijkt een optimum in de wortelmassa bij een matig bemestingsniveau (Ennik *et al.*, 1980). Wel is het stikstofgehalte van afgestorven wortels sterk afhankelijk van het bemestingsniveau (Whitehead, 1970).

Whitehead (1986) kwam tot de volgende schatting van de stikstofinput uit niet geoogste plantendelen bij een relatief hoog bemestingsniveau, corresponderend met een productie van 12 ton droge stof per hectare per jaar:

Geoogste productie	12.000 kg ha ⁻¹ jr ⁻¹ droge stof
Afgestorven niet geoogste delen bovengronds, inclusief maaiverliezen	9.000 kg ha ⁻¹ jr ⁻¹ droge stof 2,0% N 180 kg ha ⁻¹ jr ⁻¹ N
Afgestorven wortels	6.000 kg ha ⁻¹ jr ⁻¹ droge stof 1,5% N 90 kg ha ⁻¹ jr ⁻¹ N

De totale stikstofaanvoer uit afgestorven niet geoogste plantendelen bedraagt volgens deze schatting dus 270 kg N per hectare per jaar bij een opbrengstniveau van 12 ton droge stof per hectare per jaar. Dit getal is van toepassing voor gemaaide graslanden met een relatief hoog bemestingsniveau en is sterk afhankelijk van het bemestingsniveau. Voor beweiding werd de hoeveelheid afgestorven niet geoogste delen bovengronds op 10 ton per ha per jaar geschat (Whitehead, 1986).

De stikstofgehalten van zowel wortels als bovengrondse niet oogstbare plantendelen lijken vrijwel evenredig te zijn met het stikstofgehalte van de oogstbare productie (Whitehead, 1986). De totale hoeveelheid N die met niet oogstbaar materiaal in de bodem komt is echter niet evenredig met de hoeveelheid N in het geoogste materiaal. De wortelproductie neemt bij stijgend bemestingsniveau nauwelijks toe en over de afhankelijkheid van de hoeveelheid niet oogstbare bovengrondse productie van het bemestingsniveau wordt door Whitehead (1986) geen uitspraak gedaan. Het ligt voor de hand dat bij een hogere productie ook meer niet oogstbaar bovengronds materiaal gevormd wordt, maar het is niet duidelijk hoe het stikstofniveau de verhouding oogstbaar/niet oogstbaar bovengronds materiaal beïnvloed.

Andere studies waarin deze benadering is gevolgd komen uit op vergelijkbare waarden (bijv. Hassink (1995): 245 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹ en Hassink *et al.* (1996): 260 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹). Ook in deze studies wordt geen uitspraak gedaan over een kwantitatieve afhankelijkheid van de geproduceerde hoeveelheid niet oogstbaar materiaal van het stikstofniveau.

Geconcludeerd kan worden dat de hoeveelheid stikstof die jaarlijks per hectare met afgestorven niet geoogste plantendelen in optimaal producerend grasland naar de bodem teruggevoerd wordt tussen 245 en 270 kg N ligt, inclusief oogst- en beweidingsverliezen. Deze hoeveelheid is afhankelijk van het stikstofniveau, maar een kwantita-

tieve relatie is op grond van deze referenties niet te geven. De hoeveelheid stikstof in niet oogstbaar materiaal zal in ieder geval minder dan evenredig met de hoeveelheid stikstof in oogstbaar materiaal toenemen bij stijgend stikstofniveau.

2.2 Indirecte benadering via koolstofstromen

De verdeling van geassimileerde koolstof over verschillende plantendelen is veel intensiever gemeten dan de drogestofproducties van deze delen. Dat maakt het iets eenvoudiger om via deze meer indirecte weg inzicht te krijgen in de hoeveelheid geproduceerde, en dus op langere termijn ook afstervende, niet oogstbare productie. De verdere benadering is niet verschillend, dat wil zeggen dat bij de hoeveelheid koolstof een C/N-verhouding bekend moet zijn, analoog aan het stikstofgehalte behorend bij een drogestofproductie.

Sibma & Ennik (1988) geven een verdelingsmodel op basis van de vastgelegde koolstof in gras. Zij geven aan dat gemiddeld voor bemest grasland 27,5 ton droge stof per hectare per jaar wordt gevormd, waarvan 50% wordt vastgelegd in oogstbaar product, 30% in niet oogstbare bovengrondse delen en 20% in wortels. Op de invloed van het stikstofniveau op deze verdeling wordt niet ingegaan en ook worden geen C/N-verhoudingen of stikstofgehalten gegeven. Een schatting is wel te maken met behulp van de stikstofgehalten gepubliceerd door Whitehead (1986): 165 kg N voor bovengronds niet oogstbaar en 83 kg N voor wortelafsterving komt dan uit op een totaal van 248 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹.

Met behulp van koolstofisotopenonderzoek is bepaald dat de jaarlijkse wortelproductie bij Engels raaigras ongeveer 6 ton droge stof per ha bedroeg bij hoog en laag N-niveau, de stoppelproductie tussen de 10 – 12 ton droge stof per ha lag, waarbij hoog N-niveau ongeveer 1 ton meer stoppel produceert dan laag N-niveau en dat de oogstbare droge stof ongeveer op 9 ton per ha bij laag N-niveau en 14 à 15 ton per ha bij hoog N-niveau uitkwam (Schneider *et al.*, 2004). Als wederom de stikstofgehalten van Whitehead gebruikt worden, dan wordt er in totaal ongeveer 310 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹ aan de bodem toegevoegd. Het verschil met de schatting volgens Sibma & Ennik (zie hierboven) wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door een hogere inschatting van de hoeveelheid afgestorven bovengrondse plantendelen in het isotopenonderzoek.

Geconcludeerd kan worden dat bij deze benadering de hoeveelheid stikstof die jaarlijks per hectare met afgestorven niet oogstbare plantendelen in optimaal producerend grasland naar de bodem teruggevoerd wordt tussen 248 en 310 kg N ligt, exclusief oogst- en beweidingsverliezen.

2.3 Indirecte benadering via stikstofmineralisatie

Meting van de netto stikstofmineralisatie in grasland geeft een indicatie van de hoeveelheid voor afbraak beschikbaar gekomen organische stikstofverbindingen. Onder de voorwaarden dat de input van organische stikstofverbindingen met oogst- en beweidingsverliezen en bemesting, inclusief weidemest, bekend is en dat de verandering in gehalte aan organische stikstof in de bodem nul of bekend is, kan uit de gemeten stikstofmineralisatie de aanvoer van organische stikstof met afgestorven niet oogstbare plantendelen berekend worden. Verandering in het gehalte aan organische stikstof in de bodem is moeilijk nauwkeurig vast te stellen, zodat deze benadering in de eerste plaats geschikt is voor stabiele situaties. Hiervan is sprake in ouder grasland. Voor zandgrond kan een grens aangehouden worden van enkele jaren na herinzaai tot ongeveer tien jaar na inzaai na een langere akkerbouwperiode. Voor kleigrond is de termijn waarin opbouw van organische stikstof plaatsvindt aanzienlijk langer.

Voor metingen van de stikstofmineralisatie door middel van incubatie in het veld in de jaren 1993 tot 1999 op zandgrond op proefbedrijf 'De Marke' (Corré, 2000) wordt aan beide voorwaarden voldaan. Uitgaande van de veronderstelling dat er geen verandering plaatsvond in het gehalte aan organische stikstof in de bodem kan een input aan stikstof met afgestorven niet oogstbare plantendelen berekend worden van 242 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹, exclusief oogst- en beweidingsverliezen, bij een matig stikstofniveau. Omdat het hier om recent, nieuw ingezaaid grasland gaat is niet op voorhand duidelijk dat het gehalte aan organische N in de bodem gedurende deze periode stabiel is geweest.

Analyses geven echter aan dat eventuele accumulatie van organische stikstof verwaarloosbaar is geweest (Corré *et al.*, 2004). Indien accumulatie optreedt is de aangevoerde hoeveelheid organische N groter dan de mineralisatie en zou de waarde van 242 kg N per ha per jaar een onderschatting zijn van de hoeveelheid N in de afgestorven niet oogstbare plantendelen.

Hassink (1996) vindt in oudere graslanden op zandgrond zonder organische bemesting en beweiding een netto mineralisatie, gemeten door incubatie onder geconditioneerde omstandigheden en omrekenen naar de veldsituatie, van 250 tot 300 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹. De netto mineralisatie was in dit onderzoek niet duidelijk afhankelijk van het bemestingsniveau (140 tot 380 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹).

Hier kan geconcludeerd worden dat de hoeveelheid stikstof die jaarlijks per hectare met afgestorven niet geogoste plantendelen, inclusief oogstverliezen, in goed producerend grasland naar de bodem teruggevoerd wordt tussen 250 en 300 kg N ligt. Over een afhankelijkheid van deze hoeveelheid van het stikstofniveau geeft deze benadering geen informatie.

2.4 Benadering met modellen

Bij het model 'Quadmod' (Ten Berge *et al.*, 2000) wordt een constante verhouding gebruikt tussen N in de niet oogstbare productie en N in de oogstbare productie, afgeleid uit Whitehead (1986). De hoeveelheid N in de niet oogstbare productie is gesteld op 65% van de hoeveelheid N in de oogstbare productie en voor oogst- en beweidingsverlies wordt 10% gebruikt voor grasland onder maai-beheer en 20% bij dag- en nachtbeweiding (Ten Berge *et al.*, 2000). Voor productiegasland onder gemengd beheer (50% maaien en 50% weiden) met een bruto opbrengst van 350 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹ komt dit neer op een oogst- en beweidingsverlies van ruim 50 kg N en een hoeveelheid N in afgestorven niet oogstbare delen van bijna 230 kg. Dit is samen een hoeveelheid van 280 kg N ha⁻¹ die jaarlijks in de vorm van plantenresten aan de bodem wordt toegevoegd.

Bij CNGRAS (Conijn & Henstra, 2003) worden de hoeveelheden geogoste en niet geogoste N berekend op basis van onderliggende fysiologische processen die per dag worden uitgerekend als functie van o.a. weersomstandigheden, water- en stikstofbeschikbaarheid. De resultaten met betrekking tot de stikstofstromen van het gewas die de evenwichtssituatie benaderen onder geïrrigeerde omstandigheden bij uitsluitend maaien, zijn gegeven in Tabel 1.

Tabel 1. *Hoeveelheid N in netto grasopbrengst en in afgestorven en niet geogost materiaal (afgeleid van Conijn & Henstra, 2003).*

N bemestingsniveau (kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹) ^a	Netto N opbrengst (kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	N afgestorven + oogstverlies ^b (kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	N afgestorven (kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹)
137	237	215	196
207	288	238	215
280	341	253	226
355	377	260	229

^a de waarden geven het werkzame deel van de totale stikstofgift weer

^b aangenomen oogstverlies is 7,5% van de bruto oogstbare opbrengst

In het model NCYCLE (Scholefield *et al.*, 1991) wordt aangenomen dat de door beweiding geogoste hoeveelheid stikstof 62% bedraagt van de totale opname uit de bodem. De verhouding tussen niet geogoste N en geogoste N wordt hierdoor 0,61 en is daarmee veel lager dan de waarde die bij het model Quadmod gebruikt wordt voor de hoeveelheid N in afgestorven niet-geogost materiaal. In NCYCLE is de waarde van 62% bepaald na aftrek van de oogst- en beweidingsverliezen op basis van de netto opbrengst en dan moet de verhouding van 0,61 dus vergeleken

worden met $1,06 (= (0,65 + 0,2) / (1 - 0,2))$ zoals bij Quadmod gebruikt wordt voor de berekening van de totale aanvoer van N via gewasresten naar de bodem bij beweiding van het grasland. Volgens NCYCLE zou bij productie-grasland onder beweidingsbeheer met een netto opbrengst van $300 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ een hoeveelheid van $184 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ via afsterving en oogst- en beweidingsverlies naar de bodem worden teruggevoerd. Met de gebruikte verhouding van Quadmod wordt dan een hoeveelheid van 319 kg N berekend, inclusief oogst- en beweidingsverliezen. Exclusief oogst- en beweidingsverliezen komen beide uit op schattingen van 109 kg N (NCYCLE) respectievelijk 244 kg N (Quadmod), indien ook voor de NCYCLE-berekeningen 20% gehanteerd wordt voor de verliezen bij beweiding.

Een berekening van de verdeling van de vastgelegde koolstof over oogstbaar en niet oogstbaar materiaal in afhankelijkheid van het stikstofniveau is gemaakt door Van den Pol-van Dasselaar & Lantinga (1995). Uit deze berekening volgt een sterke afhankelijkheid van deze verdeling van het stikstofniveau. Niet alleen neemt de hoeveelheid oogstbaar materiaal relatief toe bij stijgend stikstofniveau, de productie van zowel bovengronds als ondergronds niet oogstbaar materiaal neemt in absolute zin zelfs af bij stijgend stikstofniveau. Bij een stijging van het stikstofniveau van 100 tot $700 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ steeg de oogstbare productie van ongeveer $8,5$ naar $16,5$ ton droge stof en daalde de niet oogstbare productie van ongeveer 14 naar minder dan 12 ton droge stof. Door een toenemend stikstofgehalte in de niet oogstbare delen steeg de hoeveelheid stikstof wel met toenemend stikstofniveau, van ongeveer 165 naar $245 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ (zie Tabel 2). Stikstofgehalten van de oogstbare productie zijn niet gegeven.

Tabel 2. Hoeveelheid C en N in afgestorven niet oogstbare productie (Van den Pol-van Dasselaar & Lantinga, 1995).

Stikstofniveau ($\text{kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$)	C ($\text{kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$)	C/N	N ($\text{kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$)
100	6400	38.9	164
250	6490	30.3	214
400	5940	24.8	240
700	5280	21.6	244

De hier besproken modellen geven aan dat de hoeveelheid N in afgestorven niet oogstbare plantendelen tussen 180 en 300 kg N per ha per jaar ligt, inclusief oogst- en beweidingsverliezen; dit is in overeenstemming met de resultaten uit de literatuur van secties 2.1 en 2.2.

2.5 Samenvatting resultaten

De resultaten van berekeningen en schattingen volgens verschillende benaderingen van de hoeveelheid stikstof die met niet oogstbare en/of niet geoogste plantendelen terug naar de bodem gevoerd wordt zijn samengevat in Tabel 3.

Tabel 3. N-toevoer naar de bodem met niet oogstbare of met niet geoogste plantendelen op basis van verschillende bronnen.

Bron	Opbrengst- of bemestingsniveau (ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	N in afgestorven niet oogstbare delen (kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹) ^a	Totale N toevoer naar bodem via gewasresten (kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹)
Whitehead (1986)	12 ton droge stofopbrengst		270
Hassink (1995)			245
Hassink <i>et al.</i> (1996)	250 kg N-gift		260
Sibma & Ennik (1988)	13,8 ton droge-stofopbrengst	248	
gecomb. met Whitehead (1986)			
Schneider <i>et al.</i> (2004)	14,5 ton droge-stofopbrengst	310	
gecomb. met Whitehead (1986)			
Corré (2000)	250 kg N-gift	242	
Hassink (1996b)	140-380 kg N-gift		250 – 300
Ten Berge <i>et al.</i> (2000)	300 netto N-opbrengst	230	280
Conijn & Henstra (2003)	207-355 kg N-gift	215 - 230	238 – 260
Van den Pol-Van Dasselaaar & Lantinga (1995)	250-400 kg N-gift	214 - 244	
Scholefield <i>et al.</i> (1991)	300 netto N opbrengst		184

^a verschillen tussen 4^e en 3^e kolom zijn de oogst- en/of beweidingsverliezen

3. Discussie

3.1 Kwantificering

De kwantificering van de hoeveelheid stikstof die jaarlijks met afgestorven plantendelen in productiegrasland naar de bodem teruggevoerd wordt, is op verschillende wijzen benaderd. Alle benaderingen leidden tot een goed vergelijkbaar resultaat. Geconcludeerd kan worden dat in productiegrasland bij een bruto opbrengstniveau van 300-400 kg N per ha per jaar ongeveer 230 kg per ha per jaar N op deze wijze naar de bodem teruggevoerd wordt. Bij hogere opbrengstniveaus stijgt deze waarde tot ongeveer 260 kg per ha per jaar. Deze waarden zijn exclusief de toevoer van N in de oogst- en beweidingsverliezen en gelden alleen voor goed producerend grasland met een goede soorten-samenstelling en een goed management. Oogst- en beweidingsverliezen voegen nog eens 25 à 75 kg N per ha per jaar toe, afhankelijk van bemestingsniveau en mate van beweiding.

Het is op zich opvallend dat verschillende benaderingen van een moeilijk te kwantificeren proces goed overeenstemmende resultaten geven. Dat geeft vertrouwen in het resultaat en in de robuustheid van de verschillende benaderingen. Uitzondering hierop is de schatting van NCYCLE die met 184 kg N per per jaar (inclusief oogst- en beweidingsverliezen) veel lager uitkomt dan de andere bronnen bij vergelijkbaar productieniveau.

3.2 Afhangelijkheid van het stikstofbemestingsniveau

Over de precieze afhankelijkheid van de hoeveelheid stikstof in niet oogstbare plantendelen van het stikstofniveau is veel minder duidelijkheid. Zeker is dat bij toenemende stikstofbemesting het stikstofgehalte van afstervende plantendelen stijgt en dat bij toenemende stikstofbemesting het aandeel niet oogstbaar materiaal in de totale productie daalt. Hierbij ligt een toename van de hoeveelheid stikstof in niet oogstbare plantendelen bij een stijgend stikstofniveau voor de hand, maar deze toename zal minder sterk zijn dan de stijging van de hoeveelheid stikstof in de oogstbare productie. Dit komt vooral omdat bij een stijgend stikstofniveau een groter aandeel van de droge stof in bovengrondse delen wordt geïnvesteerd. Dit is een fysiologische reactie van planten die al door Brouwer werd beschreven als het 'functioneel evenwicht' (Brouwer, 1963). Het is dus waarschijnlijk dat de verhouding niet oogstbare N/oogstbare N daalt met een toenemend bemestingsniveau, maar de gevonden literatuurgegevens op basis van metingen laten nauwelijks toe om dit goed te kwantificeren. De modelbenadering van Van den Pol-van Dasselaar & Lantinga (1995) laat inderdaad zien dat de hoeveelheid N in afgestorven niet oogstbare productie toeneemt met stijgend stikstofniveau. Helaas kan met deze gegevens de verhouding met betrekking tot de geoogste stikstof niet worden bepaald, omdat de hoeveelheid geoogste stikstof niet gegeven is. Bij de resultaten van de studie van Conijn en Henstra (2003) is dit wel mogelijk en wordt een verhouding van 0,76 uitgerekend bij een werkzame stikstofgift van ongeveer 140 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹ en deze verhouding daalt vrijwel lineair naar 0,56 bij een stikstofinputniveau van 355 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹. Deze waarden zijn bepaald exclusief de oogst- en beweidingsverliezen en zijn goed vergelijkbaar met de waarde van 0,65, ontleend aan de gegevens van Whitehead (1986).

4. Referenties

- Brouwer, R., 1963.
Some aspects of the equilibrium between overground and underground plant parts. *Jaarboek IBS 1963*, pp. 31-39.
- Conijn, J.G. & P. Henstra, 2003.
Effecten van bemestingsstrategieën op grasopbrengsten en stikstofverliezen onder gemaaid grasland. Een simulatiestudie. Rapport 66, Plant Research International, Wageningen, 48 pp.
- Corré, W.J., 2000.
De stikstofhuishouding van de bodem. In: H. van Keulen (red.). *Duurzame melkveehouderij en stikstofmanagement*. Rapport 21. Plant Research International, Wageningen, pp 21-34.
- Corré, W.J., K. Verloop, Oenema & G.J. Hilhorst, 2004.
Bodemvruchtbaarheid op De Marke; Ontwikkelingen bij aangepast mineralenbeheer en gevolgen voor productiviteit. Rapport 84, Plant Research International, Wageningen. 64 pp.
- Ennik, G.C., M. Gillet & L. Sibma, 1980.
Effect of high nitrogen supply on sward deterioration and root mass. In: W.H. Prins & G.H. Arnold (eds.). *The role of nitrogen in intensive grassland production*. Pudoc, Wageningen, pp. 67-76.
- Garwood, E.A., 1967.
Studies on the roots of grasses. Annual Report 1966. The Grassland Research Institute, Hurley, U.K., pp. 72-79.
- Hassink, J., 1995.
Prediction of the non-fertilizer N supply of mineral grassland soils. *Plant and Soil* 176: 71-79.
- Hassink, J., 1996.
Voorspellen van het stikstofleverend vermogen van graslandgronden. In: J.W.G.M. Loonen & W.E.M. Bach-de Wit (red.). *Stikstof in beeld. Naar een nieuw bemestingsadvies op grasland. Onderzoek in de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 20*. DLO, Wageningen, pp 15-35.
- Hassink, J., H.F.M. Aarts, W.J. Corré & M.J.D. Hack-ten Broeke, 1996.
De interne stikstofstromen in het bodem-gewassysteem voor de zes waarnemingsplekken. In: M.J.D. Hack-ten Broeke & H.F.M. Aarts (red.). *Integrale monitoring van stikstofstromen in bodem en gewas*. AB-DLO, Rapport 57, Wageningen, pp 93-105.
- Hunt, W.F., 1983.
Nitrogen cycling through senescent leaves and litter in swards of Ruani and Nui ryegrass with high and low nitrogen inputs. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 26: 461-471.
- Parsons, A.J., 1986.
The effects of season and management on the growth of temperate grass swards. In: M.B. Jones & A. Lazenby (eds.). *The grass crop – the physiological basis of production*. Chapman and Hall, London, New York.
- Schneider, M.K., A. Lüscher, E. Frossard & J. Nösberger, 2004.
Net primary production and turnover rates of residual biomass in response to pCO₂ and N supply. In: A. Lüscher, B. Jeangros, W. Kessler, O. Huguenin, M. Lobsiger, N. Millar & D. Suter (eds.). *Land Use Systems in Grassland Dominated Regions. Proceedings of the 20th General Meeting of the European Grassland Federation, Volume 9, Luzern, Switzerland, 21-24 June 2004*, pp. 154-156.
- Scholefield, D., D.R. Lockyer, D.C. Whitehead & K.C. Tyson, 1991.
A model to predict transformations and losses of nitrogen in UK pastures grazed by beef cattle. *Plant and Soil* 132: 165-177.
- Sibma, L. & G.C. Ennik, 1988.
Ontwikkeling en groei van produktiegras onder Nederlandse omstandigheden. *Gewassenreeks 2*. Pudoc, Wageningen, 53 pp.
- Ten Berge, H.F.M., J.C.M. Withagen, F.J. de Ruijter, M.J.W. Jansen & H.G. van der Meer, 2000.
Nitrogen responses in grass and selected field crops. *Plant Research International, Wageningen, Report 24*, 44 pp.

Troughton, A., 1981.

Length of life of grass roots. *Grass and Forage Science* 36: 117-120.

Van den Pol-van Dassel, A. & E.A. Lantinga, 1995.

Modelling the carbon cycle of grassland in the Netherlands under various management strategies and environmental conclusions. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 43: 183-194.

Van der Meer, H.G. & M.G. van Uum-van Lohuyzen, 1986.

The relationships between inputs and outputs of nitrogen in intensive grassland systems. In: H.G. van der Meer, J.C. Ryden & G.C. Ennik (eds.). *Nitrogen fluxes in intensive grassland systems. Developments in Plant and Soil Sciences*, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, vol. 23, pp 1-18.

Whitehead, D.C., 1970.

The role of nitrogen in grassland productivity. *Bulletin 48. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops. Commonwealth Agricultural Bureau, Farnham Royal, U.K.*, 202 pp.

Whitehead, D.C., 1986.

Sources and transformations of organic nitrogen in intensively managed grassland soils. In: H.G. van der Meer, J.C. Ryden & G.C. Ennik (eds.). *Nitrogen fluxes in intensive grassland systems. Developments in Plant and Soil Sciences*, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, vol. 23, pp 47-58.