



Reductie van stikstofemissie naar het oppervlakte-water door gebruik van een stikstofbijmeststelsysteem

In opdracht van Zuiveringsbeheer Provincie Groningen en in samenwerking met Agrobiokon en Waterschap Dollardzijvest

E.J.J. Meurs, P. de Willigen & R. Booij



Nota 2



Reductie van stikstofemissie naar het oppervlakte- water door gebruik van een stikstofbijmeststelsysteem

In opdracht van Zuiveringsbeheer Provincie Groningen en in samenwerking met
Agrobiokon en Waterschap Dollardzijlvest

E.J.J. Meurs, P. de Willigen & R. Booij

Plant Research International, Wageningen
Januari 2000

Nota 2

Plant Research International

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317-477700
Fax : 0317-418094
E-mail : post@plant.wag-ur.nl
Internet : <http://www.plant.wageningen-ur.nl>

Voorwoord

Het rapport is geschreven in opdracht van Zuiveringsbeheer Provincie Groningen, in deze vertegenwoordigd door Jaap Stuiver. Het opstellen van het rapport was evenwel alleen mogelijk doordat het Agrobiokon (deelproject "Innovatie aardappelzetmeelteelt") een proef heeft uitgevoerd om de benodigde data te verkrijgen en deze ter beschikking te stellen. Rob van Haren, Jacob Begeman, Johan Steenhuizen en Henk Velvis wil ik daarom bedanken voor hun medewerking en het tijdig opleveren van de benodigde gegevens.

Door medewerking van het waterschap Dollardzijlvest kon de uitvoering van het onderzoek plaatsvinden op het proefveld t.b.v. Precisielandbouw in Sellingen en zijn er mogelijkheden geschapen om het grondwater te bemonsteren. Geert Nijhof wil ik danken voor zijn inbreng, inzet en betrokkenheid.

De tijd tussen het voltooien van het veldexperiment en het moment waarop de opdracht moest zijn afgerond was kort. Mede door de snelle uitvoering van de chemische analyses door Wim Pape en medewerkers is het gelukt binnen de gestelde termijnen te blijven.

Wageningen, 23 december 1999.

Remmie Booij

Inhoudsopgave

	pagina
1. Inleiding	3
2. Materiaal en methoden	5
2.1 Locatie en proefopzet	5
2.2 Teeltgegevens	5
2.3 Reflectiemeting	6
2.4 Schatting emissie	6
3. Resultaten	9
3.1 Reflectie	9
3.2 Knolopbrengst en kwaliteit	9
3.3 Gewasopbrengst en N-opname	10
3.3.1 Verse opbrengst	10
3.3.2 Drogestofproductie	12
3.3.3 N-opname	13
3.4 Stikstofbalans en emissie	15
3.4.1 Stikstofbalans	15
3.4.2 Emissie	17
4. Discussie	21
5. Referenties	23
Bijlage I. Bodemfysische parameters proefveld.	2 pp

Conclusies

- Het in dit onderzoek getoetste stikstofbijmeststelsysteem resulteerde in een gelijke opbrengst (zetmeel) als het gangbare systeem, maar met een stikstofgift die 70 kg/ha minder was.
- Het stikstofbijmeststelsysteem leidde tot de hoogste onderwatergewichten.
- Modelberekeningen hebben laten zien dat er gedurende het seizoen geen uitspoeling kan hebben plaatsgevonden, hetgeen overeenkomstig de balansberekeningen was.
- Milieukundig ligt de winst in een kleinere hoeveelheid residuele stikstof in de bodem na de oogst. In het onderhavige geval was deze hoeveelheid ongeveer 20 kg/ha kleiner, hetgeen een reductie betekent van ongeveer 25%. Dit betekent een reductie van uitspoeling in het winterseizoen.
- Stel dat het resultaat, zoals dat in dit onderzoek is gevonden, zou zijn bereikt in het hele aardappel-zetmeelgebied in de provincies Groningen en Drenthe, dan zou toepassing van het stikstofbijmeststelsysteem hebben geresulteerd in een vermindering van de vervuiling van het oppervlaktewater ter grootte van ruim 1 miljoen kg stikstof.
- De toetsing van het stikstofbijmeststelsysteem heeft plaatsgevonden op proefveldschaal. Het is van groot belang om de potentie ervan op praktijkschaal te onderzoeken, zodat de effecten van toepassing van het systeem op de waterkwaliteit in een bepaald gebied kunnen worden onderzocht. Dit zou goed aansluiten bij initiatieven die momenteel in Westerwolde lopen.

1. Inleiding

Het plattelandsbeleid in Westerwolde is er o.a. op gericht bij te dragen aan een schone omgeving. Het motto is dan ook: “Schoon Westerwolde”. In deze beleidsvisie is er plaats voor de ontwikkeling van een duurzame, concurrerende en vernieuwende landbouw.

De huidige landbouw is nog steeds een belangrijke diffuse bron van waterverontreiniging. Dit is o.a. het gevolg van de emissie van meststoffen welke in de landbouw worden aangewend. Deze diffuse bron moet worden bestreden om zodoende bij te dragen aan een schoon Westerwolde. De interne milieuzorg van het landbouwbedrijf in deze streek moet daarom gericht zijn op een optimaal gebruik van meststoffen (met name stikstof). In de praktijk beschikt men tot op heden niet over de ‘tools’ om in alle situaties de optimale gift aan te wenden. Hierdoor wordt veelal overgedoseerd. Een belangrijk deel van de stikstof wordt dan niet opgenomen door het gewas en verdwijnt naar het milieu. Gedurende een periode van een neerslag overschot kan zo stikstof in het oppervlakte water terecht komen.

AB heeft in de afgelopen jaren een begin gemaakt met de ontwikkeling van een stikstofbijmestsysteem voor de aardappelteelt, waarmee het stikstofaanbod kan worden afgestemd op de vraag naar stikstof en zo kan overdosering worden bestreden. Dit systeem gaat uit van een relatief lage N-gift bij aanvang van de teelt, waarbij later gedurende de groei van het gewas stikstof wordt bijgegeven. Evenwel alleen als dit uit het oogpunt van gewasgroei noodzakelijk is. In hoeverre dat daadwerkelijk nodig is wordt beoordeeld aan de stikstofstatus van het gewas. Voor het laatste is door AB een meetmethode (Gewas Scan; Booij & Uenk, 1999) ontwikkeld. Hiermee wordt de gewasreflectie bij verschillende golf lengtes gemeten. Toepassing van het stikstofbijmestsysteem kan er toe leiden dat 20% minder stikstof hoeft te worden toegediend zonder dat dit ten koste gaat van de te behalen aardappelopbrengst.

Dit systeem is tot nu toe alleen op proefbedrijven getest. Voor een juiste waardebeoordeling is toetsing onder (semi-)praktijkomstandigheden nodig. Vooral de milieukundige waarde van het systeem, namelijk in hoeverre het kan bijdragen aan een vermindering van de vervuiling van het oppervlakte water is van belang. Daarnaast is van belang de landbouwkundige waarde van het systeem verder te toetsen.

Omdat de aardappelteelt een belangrijk aandeel inneemt in het bouwplan van de bedrijven in Westerwolde, kan toepassing van een dergelijk systeem bijdragen aan de bestrijding van een belangrijke bron van de verontreiniging van het oppervlaktewater.

Doelstelling

1. Kwantificeren van de bijdrage van het stikstofbijmestsysteem in aardappelen aan de vermindering van de emissie van stikstof (m.n. uitspoeling).
2. Toetsen van het stikstofbijmestsysteem op (semi-)praktijkschaal op landbouwkundige waarde.

2. Materiaal en methoden

2.1 Locatie en proefopzet

De veldproef werd uitgevoerd op een perceel zandgrond in Sellinger (Oost-Groningen) met daarin de volgende objecten in 4-voud:

- **0-N**
Een deel wordt in het geheel niet bemest. Dit om vast te stellen hoeveel stikstof van nature door de grond wordt geleverd (mineralisatie). Deze informatie is nodig om een N-balans te kunnen opstellen.
- **NBS**
Een deel wordt bemest op basis van het stikstofbijmeststelsel.
- **Advies (ADV)**
Een deel wordt bemest volgens de gangbare praktijk (de hoeveelheid toe te dienen stikstof wordt overgelaten aan de betreffende ondernemer).

Gedurende het groeiseizoen wordt op een aantal tijdstippen de gewasontwikkeling en de stikstofstatus bepaald m.b.v. de Gewas Scan. Deze bepaling is een essentieel onderdeel van het adviesstelsel. Op basis van de aldus verkregen informatie wordt besloten of al dan niet een bepaalde hoeveelheid stikstof moet worden toegediend.

Ten behoeve van het opstellen van een balans voor minerale stikstof wordt op een aantal tijdstippen gedurende het groeiseizoen de bovengrondse- en ondergrondse (excl. wortels) biomassa bepaald door een deel van het gewas te oogsten. Van deze biomassa wordt het stikstofgehalte bepaald. Gelijktijdig wordt het gehalte aan minerale stikstof (N_{min}) voor de verschillende bodemlagen (0-30, 30-60 cm –mv) bepaald. De balans geeft inzicht in hoeverre er stikstofverliezen zijn opgetreden.

Aan het eind van het seizoen wordt de opbrengst en kwaliteit van de aardappelen bepaald om de landbouwkundige waarde van het stikstofbijmeststelsel vast te stellen.

Om later te kunnen berekenen of de verliezen op de stikstofbalans het gevolg zijn van uitspoeling worden de hydrologische kenmerken van de percelen (pF) bepaald.

2.2 Teeltgegevens

Het gebruikte ras is het zetmeelaardappelras Karakter. De voorvrucht van het perceel was in 1998 suikerbieten. De voorjaarsbemesting bestond voor het gehele proefveld uit een P-bemesting van 300 kg T.S.P. (33%) per ha en een K-bemesting van 100 kg Kaliumsulfaat (50%) per ha. De N-voorjaarsbemesting was voor 0-N, NBS en Advies respectievelijk 0, 100 en 170 kg N per ha. Er is geen organische bemesting uitgevoerd.

De aardappels werden op 27 en 28 april gepoot. De rijafstand bedroeg 75 cm en de plantafstand 30-35 cm. De drains bevonden zich in het midden van de veldjes. Vanaf begin juni tot begin september is om de 7 tot 10 dagen gespoten tegen Phytophthora.

De veldjes hadden een bruto oppervlak van 12 x 24 meter waaruit tussentijdse oogsten werden gedaan ter grootte van 6 m².

Op 26 mei was de opkomst 100%. Het einde van de groeiperiode viel op 15 september toen het loof werd doodgespoten.

2.3 Reflectiemeting

De reflectiemetingen werden uitgevoerd met een 'CROPSCAN' reflectiemeter (Uenk *et al.*, 1992). De meter bestaat uit een dragende constructie met daarop de meetkop en een computer. De meetkop wordt op een bepaalde hoogte boven het gewas gehouden en meet aan de bovenkant het totale invallende licht van de gehele hemelbol en aan de onderkant het door het gewas gereflekteerde licht bij verschillende golflengtes. Op basis van de gewasreflectie wordt een reflectiekaracteristiek berekend. Deze vertoont een relatie met de stikstofinhoud van het gewas. De actuele stikstofinhoud wordt vergeleken met de referentiewaarde, de optimale stikstofinhoud. Hieruit wordt een N-bijbemestingsadvies geformuleerd.



2.4 Schatting emissie

Op verschillende tijdstippen tijdens de gewasgroei en bij het einde van de teelt wordt een eenvoudige stikstofbalans opgemaakt. Beoordeeld wordt in hoeverre het bijmeststelsel van invloed is op de stikstofbalans. Met behulp van een computer simulatiemodel wordt geschat in hoeverre het eventuele tekort op de balans het gevolg is van uitspoeling (Booij *et al.*, 1996). Hiervoor wordt gebruikt gemaakt van de gemeten stikstofhoeveelheden in bodem en gewas, de hydrologische kenmerken van de percelen en de actuele weersgegevens.

De grondwaterstand gedurende het groeiseizoen is gemeten in 3 buizen, tussen de drains, op verschillende plaatsen in het proefveld. Een aantal bodemparameters die bij de modelstudie worden gebruikt, zijn afkomstig van een bodemkundige analyse door het SC-DLO, uitgevoerd in 1998.

De actuele weergegevens van neerslag, referentie-verdamping en temperatuur zijn afkomstig van KNMI-stations in Ter Apel, Eelde en Nieuw Beerta.

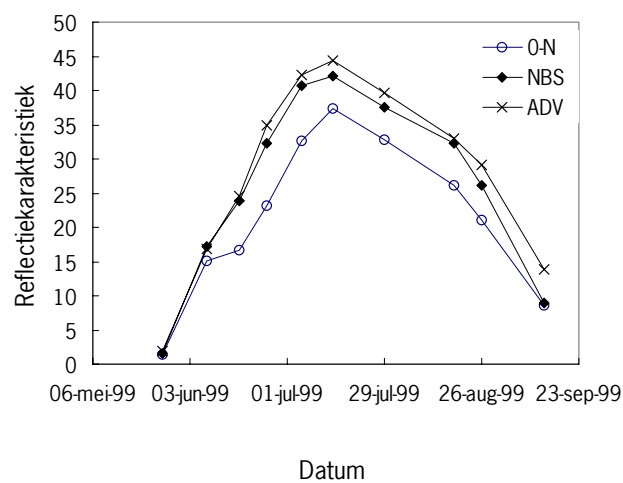
Eveneens zal met behulp van het model worden gezien wat het lot is van de residuele minerale stikstof in de bodem; dit is de minerale stikstof nog aanwezig in het bodemvocht bij het einde van de teelt. In algemene termen zullen de meest waarschijnlijke gevolgen van de verliezen voor de kwaliteit van het oppervlaktewater worden weergegeven.

Per object is door het waterschap Dollardzijlvest een grondwaterstandsbuis geplaatst. Op een drietal tijdstippen gedurende het seizoen is het grondwater via deze buizen bemonsterd. In het monster is door het Milieulaboratorium van het ZPG de totale hoeveelheid stikstof en de minerale fracties (NO_3 , NO_2 , NH_4) bepaald.

3. Resultaten

3.1 Reflectie

Gedurende het seizoen is de reflectie van het gewas gemeten. De hieruit berekende reflectiekenarakteristiek is een maat voor de stikstofstatus van het gewas. Het stikstofbijmeststelsel voor de aardappelteelt, ontwikkeld door het AB-DLO, baseert hierop de N-gift. Het verloop van de reflectiekenarakteristiek wordt weergegeven in Figuur 1. De reflectie van het onbemeste object (0-N) bleef duidelijk achter bij de bemeste objecten. Het maximale niveau werd voor alle objecten bereikt rond half juli. Daarna zette de afname in. De reflectie van het ADV-object was doorgaans iets hoger dan die van het NBS-object.



Figuur 1. Het verloop van de reflectiekenarakteristiek.

Het NBS-object zou worden bemest volgens het stikstofbijmeststelsel. De stikstofstatus was echter steeds voldoende, zodat er geen extra N-gift noodzakelijk was na de voorjaarsbemesting van 100 kg N/ha. Dit betekent dat de N-gift beperkt bleef tot een voorjaarsbemesting van 0, 100 en 170 kg/ha voor respectievelijk de objecten 0-N, NBS en Advies.

Uit de reflectiekenarakteristiek kan ook de bodembedekking worden geschat. Een volledige bodembedekking werd door de bemeste objecten begin juli bereikt. De toename van bedekking verliep bij het 0-N object trager en pas half juli werd de maximale waarde van 100% bereikt.

3.2 Knolopbrengst en kwaliteit

Voor een landbouwkundige vergelijking van de bemestingssystemen worden eerst de verschillen behandeld in knolopbrengst en kwaliteit.

Knolopbrengst

Het Advies-object loopt gedurende het seizoen tot eind augustus wat achter in knolproductie. De uiteindelijke knolopbrengsten van de 3 objecten zijn bij de eind oogst vrijwel gelijk (Tabel 1) en bedragen voor 0-N, NBS en Advies (ADV) respectievelijk 59, 61 en 62 ton/ha.

Tabel 1. Knolopbrengst en kwaliteit bij de eind oogst.

Object	N-gift (kg/ha)	Opbrengst (ton/ha)	OWG	UBG (ton/ha)
0-N	0	59	469	73
NBS	100	61	485	78
Advies	170	62	475	77

OWG

Het onderwatergewicht (OWG) is als kwaliteitskenmerk gerelateerd aan het zetmeelgehalte van de knol. Bij de eind oogst werd de hoogste gemiddelde waarde bereikt door het NBS-object.

UBG

Uit de knolopbrengst en het onderwatergewicht wordt, volgens een formule, berekend wat de aardappelteler uiteindelijk krijgt uitbetaald: het uitbetalingsgewicht (UBG). Het UBG was voor het NBS-object het hoogst, 78 ton per ha, tegen 73 en 77 ton per ha voor respectievelijk het 0-N object en het Advies-object.

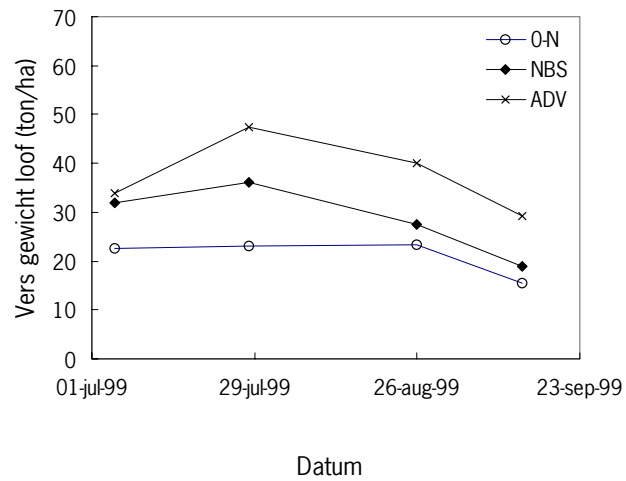
3.3 Gewasopbrengst en N-opname

Naast verschillen in uiteindelijke knolopbrengst en kwaliteit is het van belang te weten hoe de opbrengst tot stand is gekomen. Daarvoor is gedurende het seizoen ook de loofontwikkeling gevolgd en is de N-opname bepaald van de gewasonderdelen knol en loof.

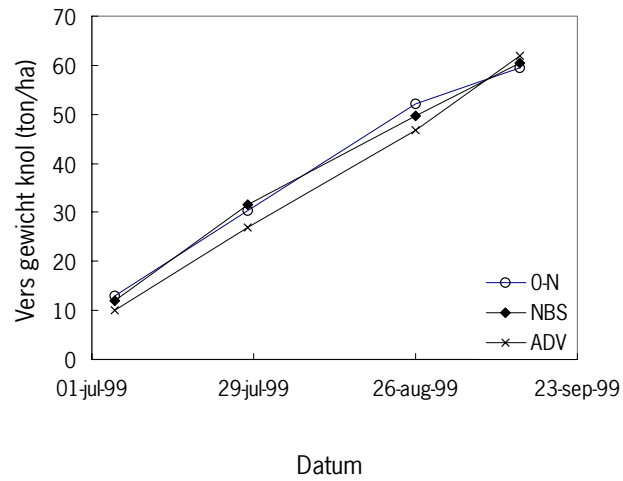
3.3.1 Verse opbrengst

Terwijl de verschillen in knolproductie gering waren (Figuur 3), waren er wel duidelijke verschillen in loofgroei. De maximale hoeveelheid loof werd eind juli gemeten (Figuur 2). Het ADV-object had op dat moment ongeveer 2 x zoveel loof (vers) als het onbemeste object. Het NBS-object zat daar tussenin met een vers gewicht van 36 ton per ha.

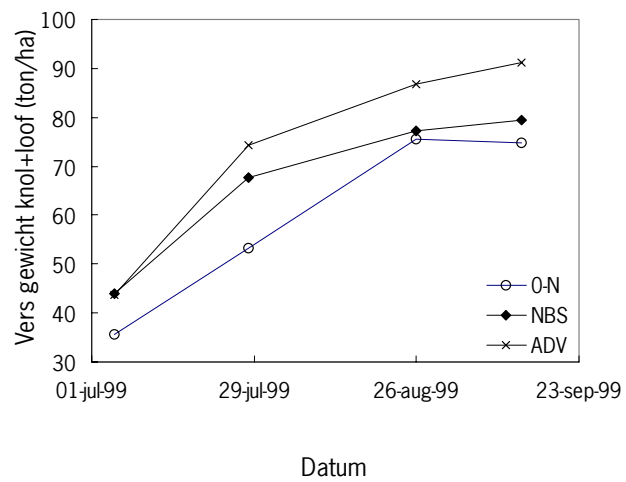
Na juli vond er een afname plaats van de hoeveelheid loof, waarbij duidelijk is dat de hoeveelheid loof van het ADV-object steeds meer was dan die van de andere 2 objecten. De verschillen tussen de behandelingen in verse opbrengst van knol plus loof (Figuur 4) werden hoofdzakelijk veroorzaakt door verschillen in loofgewicht.



Figuur 2. Verloop van de verse loofproductie.



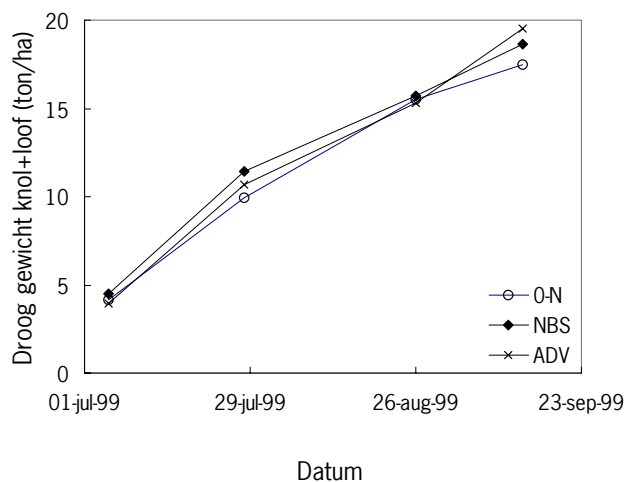
Figuur 3. Verloop van de knolopbrengst.



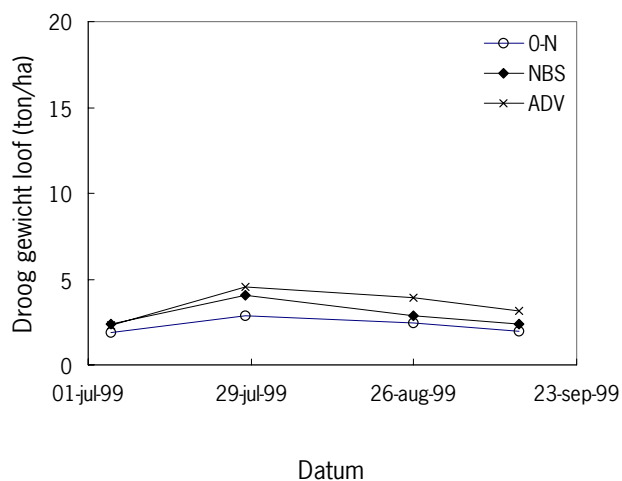
Figuur 4. Verloop van het totale vers gewicht.

3.3.2 Drogestofproductie

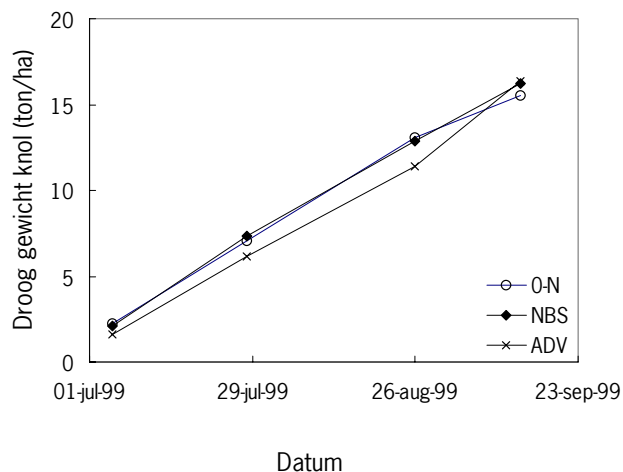
Het verloop van de totale hoeveelheid drogestof (knol plus loof) is weergegeven in Figuur 5. Per oogsttijdstip waren de verschillen gering. De verschillen tussen de objecten in verse opbrengst van het gewas zijn niet terug te vinden in de drogestof opbrengsten. Ten eerste is het drogestofgehalte van het loof (7.5-12.5%) lager dan dat van de knol (20-25%) zodat de invloed van de hoeveelheid loof (Figuur 6) op de totale drogestof opbrengst kleiner wordt. Ten tweede lag het drogestofgehalte van het loof van het ADV-object wat lager, zodat ook langs deze weg de verschillen werden genivelleerd. Het verloop van de hoeveelheid drogestof in de knol (Figuur 7) laat zien dat voor het ADV-object de knol-groei wat trager op gang kwam en pas in de laatste 3 weken van het groeiseizoen de opgelopen achterstand werd ingehaald.



Figuur 5. Verloop van de totale hoeveelheid drogestof.



Figuur 6. Verloop van de hoeveelheid drogestof van het loof.

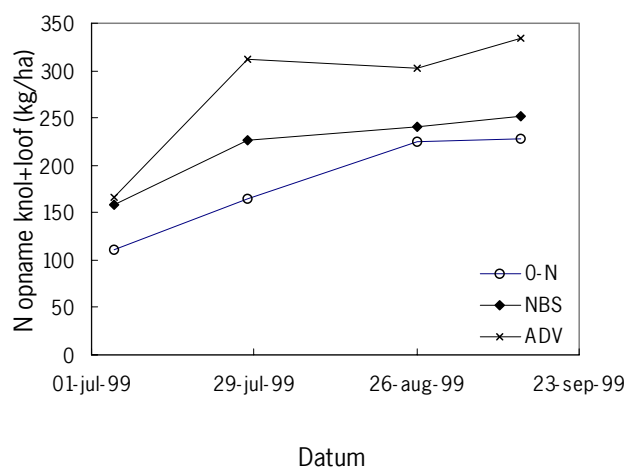


Figuur 7. Verloop van de hoeveelheid drogestof van de knol.

3.3.3 N-opname

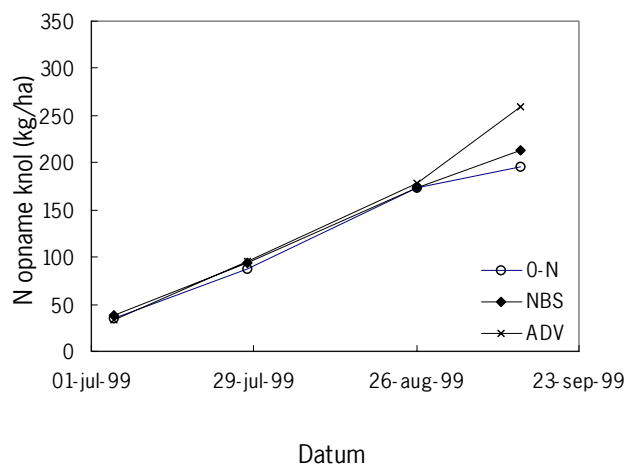
Voor een beter begrip van het effect van de verschillende bemestingssystemen op de opbrengst is het belangrijk na te gaan wat het gewas doet met de aangeboden stikstof.

Figuur 8 toont de totale stikstofopname van het gewas (knol plus loof) op de verschillende oogsttijdstippen. Voor de bemeste objecten werd eind juli de maximale N-inhoud al ongeveer bereikt. Voor het ADV-object was op dat moment de N-opname 313 kg/ha. De N-opname van het NBS-object was toen 226 kg/ha. Het onbemeste object bereikt de maximale N-opname pas eind augustus en deze was gelijk aan de N-opname van het NBS-object eind juli.

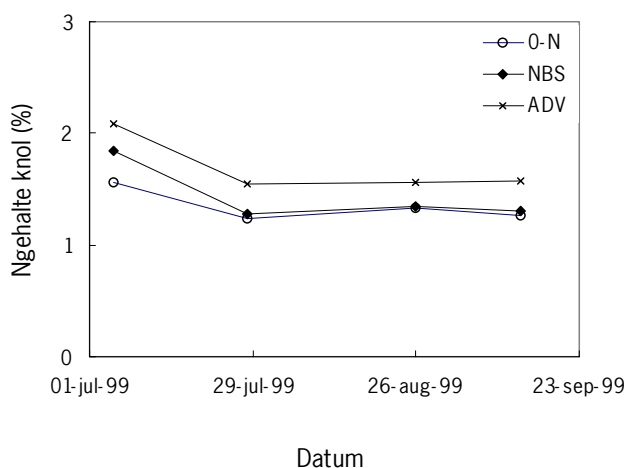


Figuur 8. Verloop van de totale N-opname.

Wat betreft de eerste drie oogsttijdstippen waren de verschillen tussen de behandelingen in N-opname door de knol gering (Figuur 9). Pas bij de eindoogst was de N-opname van het ADV-object duidelijk hoger. De N-concentratie in de knol van het Advies-object was gedurende het gehele seizoen hoger dan dat van de andere 2 objecten (Figuur 10). De hogere N-concentratie werd tijdens het seizoen, met uitzondering van de eindoogst, gecompenseerd door de lagere drogestof opbrengst.

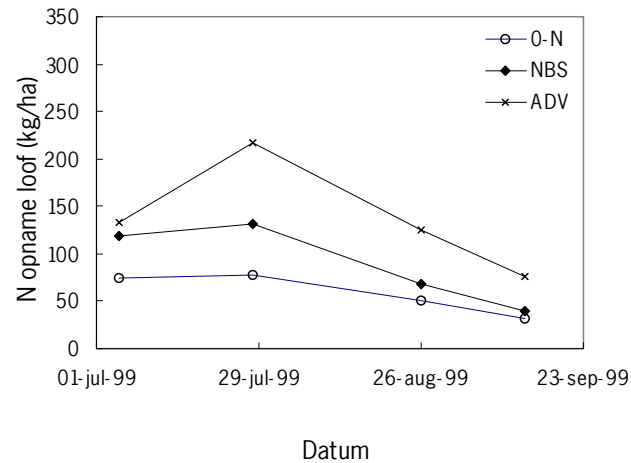


Figuur 9. Verloop van de N-opname door de knol.

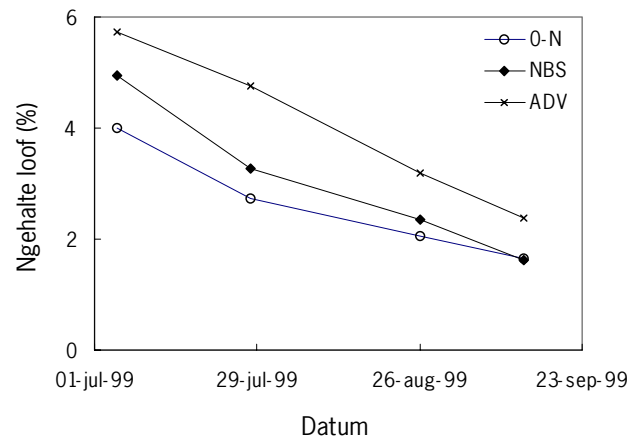


Figuur 10. Verloop van het N-gehalte van de knol (%).

De maximale hoeveelheid N in het loof werd gemeten bij de oogst eind juli (Figuur 11). Het object ADV met de eenmalige N-gift van 170 kg/ha voor opkomst, had op dat moment bijna tweemaal zoveel N opgenomen in het loof als het object NBS met de eenmalige N-gift van 100 kg/ha voor opkomst. De hogere N-opname gedurende het seizoen was vooral een gevolg van de hogere N-concentratie (Figuur 12).



Figuur 11. Verloop van de N-opname door het loof.



Figuur 12. Verloop van het N-gehalte van het loof.

3.4 Stikstofbalans en emissie

Door het opstellen van een eenvoudige stikstofbalans voor de verschillen bemestingssystemen kan een indicatie worden verkregen omtrent de invloed van het systeem op deze balans.

Bij een eventueel tekort op de balans wordt, met behulp van een simulatiemodel, de emissie van stikstof ten gevolge van uitspoeling geschat.

3.4.1 Stikstofbalans

Het aanbod van stikstof is om te beginnen de N-bodemvoorraad (N_{min}) aan het begin van het seizoen. Deze voorraad wordt gedurende het seizoen aangevuld door de N-mineralisatie en een eventuele N-bemesting. Afname vindt plaats door N-opname van het gewas en emissie. De werkelijke N-afvoer door het gewas bestaat bij aardappels uit de afvoer van de knollen.

Het verloop van de N-bodemvoorraad staat weergegeven in Tabel 2. Door de hoge voorjaarsbemesting was de voorraad van het Advies-object hoog. Eind juli en eind augustus waren de verschillen gering, terwijl bij de eind oogst de hoeveelheid minerale stikstof in het bodemprofiel (0-60 cm) 20 kg/ha hoger was in het Advies-object dan in het NBS-object.

Tabel 2. *Het verloop van de bodemvoorraad aan minerale stikstof (N_{min} in kg/ha) tijdens het groeiseizoen.*

.Diepte	Object	30/03/1999	05/07/1999	28/07/1999	26/08/1999	04/10/1999
0-30 cm	0-N	32	27	16	17	34
	NBS	33	33	18	17	42
	Advies	14	78	26	22	57
30-60 cm	0-N	14	18	16	9	14
	NBS	20	19	14	9	17
	Advies	39	21	15	11	21
0-60 cm	0-N	46	45	32	27	48
	NBS	53	52	32	26	59
	Advies	53	99	41	33	78

De verschillen in N-opname door het gewas werden in juli en augustus met name bepaald door verschillen in N-opname door het loof. De totale stikstofinhoud van het gewas (knol + loof) was aanzienlijk hoger in het Advies-object. De verschillen in de hoeveelheid N in de knol waren tot eind augustus gering (Tabel 3). Pas bij de eind oogst is voor het Advies-object ook de N-opname van de knol duidelijk hoger dan bij de andere objecten (Tabel 3).

Tabel 3. *Het verloop van de N-opname door het gewas gedurende het groeiseizoen.*

Gewasonderdeel	Object	05/07/1999	28/07/1999	26/08/1999	13/09/1999
N-opname loof (kg/ha)	0-N	75	78	51	32
	NBS	119	132	67	39
	Advies	133	217	125	76
N-opname knol (kg/ha)	0-N	35	87	174	196
	NBS	39	94	173	213
	Advies	34	95	178	259
N-opname loof + knol (kg/ha)	0-N	110	165	225	228
	NBS	158	226	241	252
	Advies	166	313	302	335

Bij het opstellen van de stikstofbalans is de N-opname bij de eind oogst van het onbemeste object gekozen als maat voor de mineralisatie gedurende het groeiseizoen. Hiervoor is de toename in stikstofinhoud (N-totaal gewas + minerale N in de bodem (0-60 cm)) van het systeem (bodem + gewas) in de periode 30/3/99 tot 4/10/99 berekend.

In Tabel 4 is een balans opgesteld, waarbij de inputfactoren het aanbod van stikstof weergeven, zoals daar zijn Nmin bij het begin van de teelt, de mineralisatie en de kunstmestgift en de outputfactoren de opname door het gewas en de bodemvoorraad bij de eind oogst. Een complicerende factor is het tijdsverschil in het moment waarop de totale gewas N-opname is bepaald bij het doodspuiten (13/9) en het moment waarop de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem is bepaald (4/10). Voor de balansberekening is er vanuit gegaan dat er in de periode 13/9 en 4/10 geen verliezen in het 0-N object zijn opgetreden.

Tabel 4. Stikstofbalans (kg/ha).

Object	0-N	NBS	Advies
Input N-gift	0	100	170
Input mineralisatie	228	228	228
Input Nmin bodemvoorraad 0-60 cm 30/03/1999	46	53	53
Input totaal	274	381	451
Output N-knol	196	213	259
Output N-loof	32	39	76
Output Nmin bodemvoorraad 0-60 cm 04/10/1999	48	59	78
Output totaal	276	311	413
Input – output totaal	-2	70	38

Van de totale input aan stikstof vinden we voor het NBS-object 70 kg niet terug in de output. Voor het Advies-object was dit 38 kg (Tabel 4). Er blijft voor het Advies-object relatief veel stikstof in het loof achter. Het NBS-object was op 13/9 duidelijk verder afgerijpt, zodat het waarschijnlijk is dat van het NBS-object er voor de oogst op 13/9, toen het gewas werd doodgespoten, al meer blad afgestorven en afgevallen was. Indien de balans wordt opgemaakt op basis van uitsluitend de hoeveelheid stikstof in de knol bij de eind oogst en de hoeveelheid minerale N in de bodem bij de eind oogst (dus exclusief het doodgespoten loof), dan is het verschil tussen output en input respectievelijk 109 kg/ha en 114 kg/ha voor het NBS-object en het Advies-object. Een belangrijk deel hiervan zal in het afgestorven blad zitten (Tabel 4). Wanneer we alleen kijken naar de input door de N-gift en output van de afgevoerde knollen, wordt er van de 70 kg hogere N-gift van Advies in vergelijking met NBS, 46 kg N (259-213) teruggevonden in de knol (Tabel 4). De rest (24 kg/ha) komt vrijwel overeen met het verschil in de hoeveelheid minerale stikstof in het bodemprofiel op 4/10 (19 kg/ha, Tabel 4) voor beide systemen.

3.4.2 Emissie

De belangrijkste component van stikstof emissie is de uitspoeling van nitraat naar grond- en oppervlaktewater. Om na te gaan of het waarschijnlijk is dat er gedurende het groeiseizoen emissie naar grond- en oppervlaktewater heeft plaats gevonden, is gebruik gemaakt van een simulatie model dat het mogelijk maakt de water- en stikstofstromen in de bodem te simuleren.

Uitgangspunten voor de modellering:

Weersgegevens

Voor de neerslaggegevens is gebruik gemaakt van de KNMI cijfers zoals die zijn vastgelegd in Ter Apel. De verdamping is gebaseerd op de temperatuurgegevens van het KNMI station Nieuw Beerta en berekend volgens Makking (Makking en van Heemst, 1970). Een gewascorrectie heeft plaatsgevonden op basis van de loofontwikkeling.

Bodemfysische gegevens

Ten behoeve van het project Precisielandbouw is het betreffende perceel gekarteerd door het Staring Centrum (Finke, 1998). De fysische karakterisering van de verschillende bodem lagen is vertaald in de voor het model essentiële hydrologische parameters volgens de Staring reeks (Zie Bijlage I).

Stikstofopname

De stikstofopname door het gewas is aan het model opgelegd, zoals deze in het veldexperiment is waargenomen. Hiervoor is de curve, zoals weergegeven door de vergelijking:

$$Y = A + C / (1 + e^{-B(t-M)})$$

door de waargenomen punten (Tabel 3) gefit. Omdat waarnemingen in het begin traject ontbreken is de stikstofinhoud van het gewas bij 50% opkomst op 10 kg ha/ha gesteld.

Mineralisatie

De mineralisatie is afgeleid van het onbemeste object (Tabel 3). De mineralisatie snelheid is berekend door de toename van de totale stikstofinhoud van het onbemeste systeem (totaal N in gewas + minerale N in de bodem (0-60 cm) over de periode vanaf 30 maart tot 26 augustus te bepalen. Dezelfde mineralisatie snelheid is aangehouden over de volgende periode tot aan de eind oogst. De berekende mineralisatie snelheid over de gehele periode bedroeg 1.3 kg/ha/dag.

Beworteling

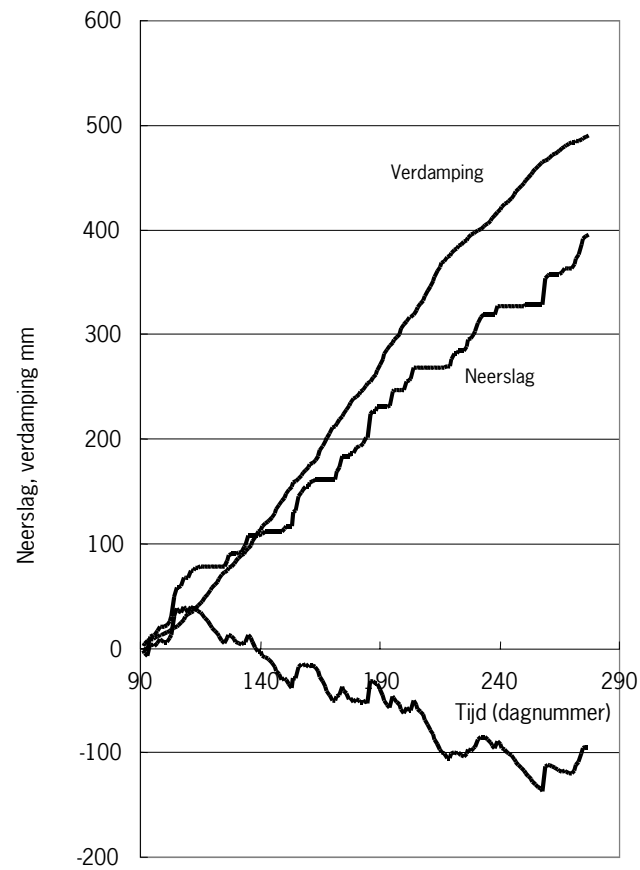
De aanwezige wortelmassa gedurende de groei, is verkregen uit de totale biomassa productie en de verdeling van biomassa over boven- en ondergrondse delen. De verspreiding van de massa over het bodemprofiel (1 dimensionaal) gedurende de groei verloopt volgens een diffusie model.

Model

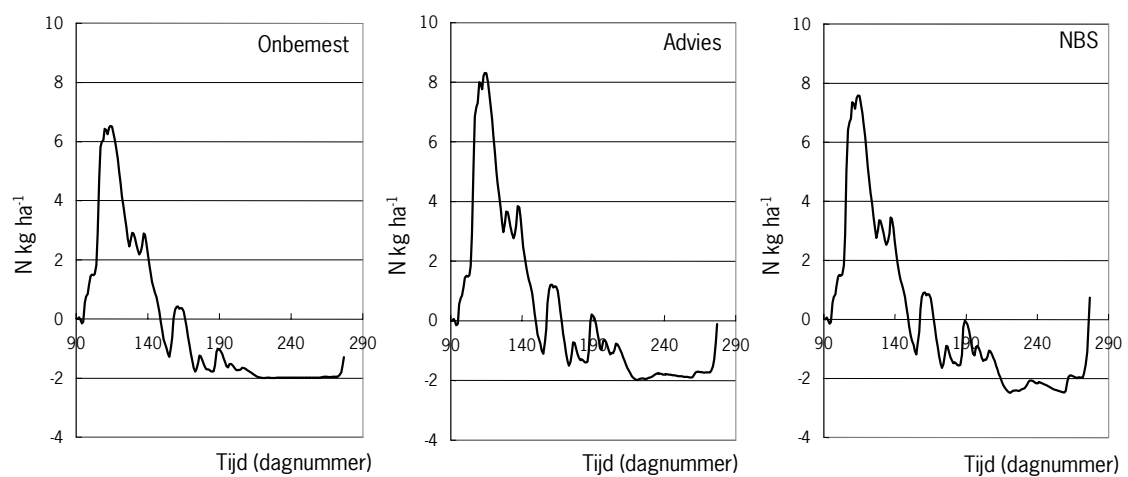
De structuur van het gebruikte model is zoals deze wordt beschreven door de Willigen *et al.* (1995).

Resultaten van de model simulaties

In hoeverre er tijdens het groeiseizoen uitspoeling van minerale stikstof vanuit de doorwortelbare zone plaats vindt, wordt bepaald door het gegeven of er al dan een neerwaartse waterflow is. Dit wordt enerzijds bepaald door het bodemvochtgehalte en anderzijds het neerslag overschot. In Figuur 13 is de cumulatieve neerslag en verdamping weergegeven gedurende de periode vanaf 1 juni tot 4 oktober. In de Figuur is te zien dat er gedurende de betrokken periode de cumulatieve verdamping vrijwel altijd hoger is geweest dan de cumulatieve neerslag (Figuur 13).



Figuur 13. Cumulatieve verdamping, neerslag en verdamping gedurende het groeiseizoen.



Figuur 14. Nitraat fluxen

Dit betekent een negatief neerslag overschot en ten gevolge daarvan nauwelijks water transport naar de diepere (> 60 cm –mv) grondlagen. Dit betekent ook dat er nauwelijks transport van stikstof naar de diepere grondlagen heeft plaats gevonden gedurende het groeiseizoen. De dagelijkse nitraat flux aan de onderkant van het bewortelde profiel (–60 cm –mv) zijn klein en voor een groot deel van het seizoen zelfs negatief, hetgeen betekent dat er stikstof het bewortelde profiel binnen komt. (Figuur 14). Cumulatief over het gehele seizoen komt dit neer op ongeveer 3 kg/ha voor al de drie objecten.

Stikstofconcentraties in het grondwater

Door het Milieulaboratorium van het Zuiveringsbeheer Provincie Groningen zijn in opdracht van het Waterschap Dollardzijlvest N-analyses van het bovenste grondwater uitgevoerd. De analyseresultaten staan vermeld in Tabel 5.

Tabel 5. Analyseresultaten van de stikstofgehalten in het grondwater.

Analyse (mg/l)	Object	03/06/1999	13/07/1999	01/09/1999
NO ₃ -N	0-N	6.3	19.3	3.5
	NBS	8.7	8.3	5.3
	Advies	11.4	7.3	7.8
NO ₃ -N	0-N	0.10	0.02	0.02
	NBS	0.04	< .01	< .01
	Advies	0.02	< .01	0.01
Kjeld-N (fotom)	0-N	17.2	6.5	6.3
	NBS	9.8	4.3	4.3
	Advies	4.6	6.4	5.7
NH ₄ -N	0-N	0.24	< .13	< .13
	NBS	< .13	< .13	< .13
	Advies	0.58	0.13	< .13

De meeste minerale stikstof werd gevonden in de vorm van nitraat-stikstof (NO₃-N). Voor de monsterverdata 3 juni en 1 september was een duidelijke trend waarneembaar in de gehalten nitraat-stikstof. Een toename van de N-gift gaf een toename in de gehalten. De hoogste gehalten werden gevonden in het Advies-object. Voor de monsterdatum 13 juli was de tendens geheel omgekeerd, naarmate de N-gift hoger was, nam het gehalte in het bovenste grondwater af.

4. Discussie

De resultaten van het hier beschreven experiment laten zien dat door gebruik te maken van het bijmestadvies systeem op basis van een meting van de gewaslichtreflectie, de totale stikstofgift kan worden aangepast aan de behoefte. Door voor het poten een sub-optimale stikstof gift toe te dienen en begin juli een schatting van de stikstofstatus van het gewas te maken met behulp van de Gewas Scan, kon een reductie van de stikstofgift met 70 kg/ha (40%) worden bereikt. Bij de lagere stikstofgift (input) werd een vergelijkbare veldopbrengst en zetmeelopbrengst (uitbetalingsgewicht) bereikt als bij toediening van de geadviseerde gift (éénmalig bij het poten), waarbij het product een significant hoger onderwatergewicht had (Tabel 1). Gezien het behaalde opbrengstniveau van het onbemeste object was een lagere begingift dan de nu gebezigde 100 kg/ha zelfs mogelijk geweest. Door gebruik te maken van het bijmestsysteem is beter ingespeeld op de hoeveelheid stikstof vrijgekomen uit natuurlijke bron (mineralisatie) in de periode tussen poten en begin juli.

Hiermee is aangetoond dat het bijmestsysteem aan de vereiste voldoet dat bij toepassing op z'n minst eenzelfde opbrengst wordt verkregen als bij de gangbare methode. Het stikstofgehalte in de knollen van het NBS-object is lager dan dat van het Advies-object (Figuur 10). Dit betekent dat het eiwitgehalte van de knollen afkomstig van het NBS-object lager is. Mocht eiwit een belangrijk bijproduct worden van de zetmeelproductie, dan kan dit worden aangemerkt als een negatief aspect van de bijmest methode.

Daarnaast is het opbrengst niveau gerealiseerd met een aanzienlijk lagere stikstof input (70 kg/ha minder). Hoewel dus de extra hoeveelheid N-input in het gangbare systeem niet heeft geleid tot een hogere opbrengst, betekent dit nog niet dat dit verschil volledig op het veld achterblijft. Een deel ervan is toch in de aardappelen terecht gekomen (Tabel 4). Het overblijvende deel, ongeveer 24 kg/ha, werd bij benadering terug gevonden in het bodemprofiel als residuele stikstof (Tabel 2). Deze hoeveelheid zal in de periode na de oogst gedurende herfst en winter uitspoelen. Dit betekent dat de verliezen naar het milieu in elk geval 24 kg/ha minder zijn bij het bijmestsysteem dan bij toepassing van het gangbare systeem.

Een belangrijk van de hoeveelheid stikstof die in totaal beschikbaar is geweest blijft achter in het afgestorven loof. Het tekort op de balans bij de eindoogst als het loof niet wordt meegenomen bedroeg voor beide systemen ongeveer 110 kg/ha (Tabel 3). Het Advies-object had op het moment van doodspuiten nog ongeveer 80 kg/ha stikstof in het loof (Tabel 2). Als het tekort op de balans in zijn geheel ten laste zou komen van afgestorven loof, dan zou dit betekenen dat er in de voorafgaande periode 30 kg/ha verloren is gegaan. Uitgaand van een N-percentage van 1.2% in het afgestorven loof, dan zou dit overeenkomen met een hoeveelheid biomassa van 2500 kg/ha drogestof. Gezien het verloop van de hoeveelheid drogestof in het loof (Figuur 6) lijkt dit voor een belangrijk deel mogelijk.

De hoeveelheid N in het afgestorven loof is een potentiële bron voor verliezen. De hoeveelheid stikstof die hierin zit kan door mineralisatie vrijkomen en dan alsnog uitspoelen (Whitmore, 1996). In hoeverre dit gebeurt hangt af van de omstandigheden en met name de samenstelling (C/N quotiënt) van het materiaal. Een hogere C/N quotiënt betekent dat de N minder snel vrijkomt. Het stikstofgehalte van het loof in het NBS-object was op het moment van doodspuiten duidelijk lager dan in het Advies-object (Figuur 12). Dit betekent dat de kans op verliezen van stikstof uit het doodgespoten loof in het geval van het Advies-object groter is.

De simulatie berekeningen hebben laten zien dat er nauwelijks sprake kan zijn geweest van uitspoeling van stikstof gedurende het groeiseizoen, omdat er gedurende het seizoen sprake is geweest van een negatief neerslag overschot. Deze uitkomst is in overeenstemming met de schatting die hierboven is

gemaakt met betrekking tot het lot van de 70 kg/ha die in het advies object meer is gegeven dan in het NBS-object.

De winst ten aanzien van het milieu bij aanwending van het bijmestsysteem is hoofdzakelijk te danken aan een lagere hoeveelheid residuele stikstof in het bodemprofiel na de oogst. Stel dat het resultaat zoals dat in dit onderzoek is gevonden zou zijn bereikt in het hele aardappelzetmeelgebied in de provincies Groningen en Drenthe, dan zou dit een vermindering van de vervuiling van het oppervlaktewater ter grootte van $54200 \text{ (ha)} * 19 \text{ (kg/ha)} = 1.03 \text{ miljoen kg stikstof}$ hebben betekend.

5. Referenties

- Booij, R. and D. Uenk, 1999.
Nitrogen application in potatoes based on crop light reflection. 2nd European Conference on Precision Agriculture, Odense (Denmark), 11-15 July '99.
- Booij, R., P. de Willigen, A.D.H. Kreuzer, A.L. Smit & A. van der Werf, 1996.
Nitrogen balances during growth of Brussels sprouts and leeks, *Acta Horticulturae* 428: 31-43.
- Finke, P.A., 1998.
Bedrijfskartering 2 percelen bedrijf Jansema Sellinger. SC-DLO.
- Makking, G.F. & H.D.J. Heemst, 1970.
De potentiële verdampingsfactor van een gewas. Medeling IBS nummer 417.
- Uenk, D., B.A.M. Bouman & H.W.J. van Kasteren, 1992.
Reflectiemetingen aan landbouwgewassen: Handleiding voor het meten van gewasreflectie
Standaardlijnen voor de bepaling van bodembedekking en LAI. CABO-DLO verslag 156.
- Whitmore, A.P., 1996.
Modelling the release and loss of nitrogen after vegetable crops. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 44: 73-86.
- Willigen, P. de, M. Heinen & B.J. van den Broek, 1995.
Modelling water and nitrogen uptake of a potato crop growing on a ridge. In: A. Haverkort & D.K.L. MacKerron (eds.), *Potato ecology and modelling of crops under conditions limiting growth*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 75-88.

Bijlage I.

Bodemfysische parameters proefveld

X	Y	horno	bouwsteen- code	verzadigd vochtg	residuair vochtg	alpha- parameter	n- parameter	l- parameter	Ksat	rho
275577,3	555226,3	1	B2	0,49	0	0,0134	1,2549	1,6116	24,401	1,222
275577,3	555226,3	2	O2	0,34	0	0,0187	1,8141	0,5071	76,925	1,643
275577,3	555226,3	3	B3	0,41	0	0,0157	1,3537	0,1074	26,228	1,341
275577,3	555226,3	4	O2	0,36	0	0,0189	1,6348	0,7067	94,076	1,656
275577,3	555226,3	5	O2	0,37	0	0,0186	1,6056	0,7067	96,124	1,642
275577,3	555226,3	6	O2	0,37	0	0,0186	1,6056	0,7067	96,124	1,642
275625,5	555213	1	B2	0,45	0	0,0166	1,3074	0,5368	21,709	1,314
275625,5	555213	2	O2	0,34	0	0,0186	1,8008	0,5071	78,434	1,634
275625,5	555213	3	O2	0,36	0	0,0186	1,62	0,7067	92,98	1,654
275625,5	555213	4	O2	0,36	0	0,0196	1,6748	0,7067	93,765	1,675
275625,5	555213	5	O2	0,37	0	0,0186	1,6056	0,7067	96,124	1,642
275625,5	555213	6	O2	0,37	0	0,0186	1,6056	0,7067	96,124	1,642
275590,6	555274,5	1	B2	0,44	0	0,0169	1,3321	0,2597	23,539	1,346
275590,6	555274,5	2	O2	0,36	0	0,0185	1,616	0,7067	89,995	1,66
275590,6	555274,5	3	O2	0,37	0	0,0184	1,5923	0,7067	95,452	1,639
275590,6	555274,5	4	O2	0,36	0	0,0192	1,6503	0,7067	95,46	1,659
275638,8	555261,2	1	B2	0,44	0	0,0167	1,3314	0,2597	23,178	1,344
275638,8	555261,2	2	O2	0,34	0	0,0187	1,8141	0,5071	76,925	1,643
275638,8	555261,2	3	O2	0,36	0	0,0187	1,631	0,7067	91,042	1,663
275638,8	555261,2	4	O2	0,37	0	0,0182	1,5796	0,7067	94,987	1,636
275638,8	555261,2	5	O2	0,36	0	0,0187	1,631	0,7067	91,042	1,663
275638,8	555261,2	6	O2	0,36	0	0,0187	1,631	0,7067	91,042	1,663