

juni 2011

rapport 1364.N.09

Type en toedieningsvorm van N-kunstmest; Effecten op gewas- en eiwitproductie en -kwaliteit

Ir. D.J. den Boer

Ing. G. Holshof

Dr.ir. D.W. Bussink

Ir. J.C. van Middelkoop



nutriënten management instituut nmi bv
postbus 250
6700 ag wageningen
agro businesspark 10
6708 pw wageningen
tel. (0317) 46 77 00
fax (088) 876 12 81
e-mail nmi@nmi-agro.nl
internet www.nmi-agro.nl

© 2011 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Verspreiding

Inhoud

	pagina
Samenvatting en conclusies	5
1 Inleiding	11
2 Fysiologische aspecten in relatie tot N-opname en N-benutting	13
2.1 Inleiding	13
2.2 Ammonium versus nitraat	13
2.3 Opname van nitraat en ammonium	14
2.3.1 Temperatuur	14
2.3.2 Groei van gewassen	14
2.3.3 Minerale samenstelling gras	15
2.4 Andere nutriënten	15
2.4.1 Fosfaat	15
2.4.2 Kalium	15
2.4.3 Zwavel	16
3 Meststof type en opbrengst, N-opname en N-verliezen	17
3.1 Inleiding	17
3.2 Onderzoek in kader van Defra project	17
3.2.1 Het type N-meststof	17
3.2.2 Opbrengst, N-opname en eiwitkwaliteit	18
3.2.3 Ammoniak emissies (NH ₃)	20
3.2.4 Lachgas emissies (N ₂ O)	21
3.2.5 Uitspoeling	22
3.3 Overige literatuur	23
3.3.1 Opbrengst en N-opname	23
3.3.2 Ammoniakemissies	24
3.3.3 Lachgas (N ₂ O)-emissies	25
3.3.4 Nitraatuitspoeling	27
3.4 Samengevat	28
4 Toedieningsvorm en toedieningstechnieken	29
4.1 Algemeen	29
4.2 Overzicht proeven (2007-2009)	29
4.3 Nauwkeurigheid verdeling en mogelijke verfijning	34
4.3.1 Vloeibare meststoffen	34
4.3.2 Korrelmeststoffen	35
4.4 Toekomst	36
4.4.1 Vruchtbaarheidsverschillen binnen een perceel	36
4.4.2 Dynamisch bemesten	37
4.5 Toedieningstechniek in snijmaïs	38
4.6 Samenvatting	38
5 Fysische aspecten	39
5.1 Mengen van meststoffen	39
5.2 Opslag en transport	40
5.3 Toepassingen op bedrijfsniveau	40

5.4	Afwegingen en kosten	41
5.5	Samenvatting	41
6	Toevoegmiddelen: Nitrificatie- en Urease-remmers	43
6.1	Inleiding	43
6.2	Onderzoek	44
6.3	Samenvatting	46
7	Bemesting in het voorjaar: delen van de N-gift, voorjaarsmeststoffen en gebruik nitrificatieremmers	49
7.1	Delen N-gift in het voorjaar	49
7.2	Voorjaarsmeststoffen zonder en met nitrificatieremmer	50
7.3	Toetsing voorjaarsmeststoffen in Nederland	51
7.3.1	Onderzoek NMI en ASG	51
7.3.2	Koeien & Kansen	52
7.3.3	Nitrificatieremmer DMPP toegevoegd aan kunstmest en rundveemest.	53
7.4	Aandachtspunten bij het gebruik van (voorjaars)meststoffen met een hoog ammoniumaandeel	54
7.5	Kosten en perspectieven	54
7.6	Samenvatting	56
8	Verhogen N-benutting door veredeling	57
8.1	Akkerbouw	57
8.2	Grassen	57
8.3	Snijmaïs	59
9	Voorwaarden voor goede N-benutting	61
9.1	De structuur van de bodem	61
9.2	De zuurgraad of pH van de bodem	63
9.3	Fosfaat	64
9.4	Kalium	65
9.5	Zwavel	66
10	Timing en teeltaspecten	69
10.1	Bemesting in het voorjaar	69
10.1.1	Alle percelen mest	69
10.1.2	N-gift afstemmen op gebruik: maaien of weiden	69
10.1.3	Voorjaarsmeststoffen	69
10.1.4	Sturen op RE-gehalte in het gras	70
10.2	Verdeling over het seizoen	70
10.2.1	Verdeling over de sneden	70
10.2.2	Alle percelen even ver beneden advies	72
10.2.3	Benutten werking en nawerking van N uit mest	73
10.2.4	Snedezwaarte	74
10.2.5	Tijdig afbouwen stikstofbemesting	74
10.3	Smakelijkheid weidegras	75
10.3.1	Etgroen	75
10.3.2	Bevorderen smakelijkheid	75
10.4	Herinzaaien grasland en inzaaien bouwland	76

11	N-bemesting in de praktijk	77
11.1	N bemesting op de Koeien & Kansen bedrijven	77
11.2	Samenvatting	78
12	N-mineralisatie en nieuwe ontwikkelingen	81
12.1	Achtergrond	81
12.2	Ontwikkelingen	82
12.3	Conclusie	82
13	Handreiking betere N-benutting en aanbevelingen	83
13.1	Handreiking betere benutting N-meststoffen	83
13.2	Aanbevelingen	85
14	Referenties	87
Bijlage 1	Opzet van het Engelse onderzoek in de Defra studie	93

Samenvatting en conclusies

Dit rapport probeert een antwoord te geven op de vraag hoe melkveehouders de beperkte hoeveelheid Stikstof(N)meststoffen maximaal kunnen benutten naast de op het bedrijf aanwezige dierlijke mest. Daartoe is in opdracht van Productschap Zuivel een literatuurstudie uitgevoerd naar de effecten van het gebruikte type en de toedieningsvorm van N-kunstmeststoffen op de gewasopbrengst, de N-opname en eiwitkwaliteit. Nagegaan is of de N-benutting verhoogd kan worden door een betere inzet van meststoffen en beperking van de verliezen door ammoniakvervluchtiging, nitraatuitspoeling, denitrificatie en lachgasontwikkeling. Naast type en toedieningsvorm zijn ook fysiologische en fysieke aspecten van de meststoffen in de afweging meegenomen. Veredeling en een betere voorspelling van de N-mineralisatie uit de bodem kunnen een rol spelen om de N-benutting te verhogen. Verder zijn de bodemkwaliteit, de voorziening met overige nutriënten en het management belangrijke aspecten om de N-benutting te verbeteren. In een Handreiking zijn tenslotte de verschillende aspecten samengebracht in een advies voor de praktijk.

Fysiologische aspecten

Gewassen nemen N overwegend op in de vorm van ammonium (NH_4^+) of nitraat (NO_3^-). Vandaar dat de gangbare meststoffen één van deze of beide vormen of verbindingen bevat als ureum die vrij snel worden omgezet in ammonium en vervolgens nitraat. Een belangrijk verschil tussen bemesting met ammonium en nitraat is dat ammonium goed wordt geabsorbeerd door organische stof en kleideeltjes. Ammonium is daardoor minder gevoelig voor uitspoeling dan nitraat. Wel is er een zeker risico van ammoniakvervluchtiging bij ammoniumhoudende meststoffen, vooral op basische gronden. Gebruik van meststoffen die overwegend ammonium bevatten leidt tot een andere minerale samenstelling en andere kationen-anionen verhouding in het gras dan meststoffen die meer nitraat bevatten.

Effecten meststoftype

In de studie naar de effecten van het gebruikte meststoftype op gewasopbrengst, N-opname en N-verliezen door ammoniak(NH_3)vervluchtiging, lachgas(N_2O)emissie en nitraat(NO_3)uitspoeling zijn hoofdzakelijk de enkelvoudige N-meststoffen ammoniumnitraat (AN), kalkammonsalpeter (KAS), ureum (U) en ureum met de ureaseremmer nBTPT (U+A) meegenomen. De ureaseremmer nBTPT= nButyl ThioPhosphoric Triamide wordt frequent toegepast om de NH_3 -emissie te beperken. De handelsnaam is Agrotain.

De belangrijkste conclusies zijn:

- Van de genoemde meststoffen geven AN en KAS de hoogste gewasopbrengst en N-opname (N-benutting). Tussen deze beide meststoffen zijn er geen verschillen. De opbrengst bij het gebruik van ureum is 90 -95 procent en de N-opname 85 – 90% van die bij AN of KAS. U+A neemt met een N-opname van 90 -95 % van die van AN of KAS een tussenpositie in. De effectiviteit van Agrotain is afhankelijk van de hoeveelheid neerslag in de eerste 7 à 10 dagen na het toedienen.
- De emissiefactor voor NH_3 is bij ureum (23-25%) aanzienlijk hoger dan bij AN en KAS (1-2%). De gemeten emissiefactor bij U+A was 14. U+A vertraagt de NH_3 -emissie tot 7 à 10 dagen na het toedienen. Als er in deze periode 10- 20 mm neerslag valt dan is de emissie bij U+A aanzienlijk lager dan bij U.

- De emissiefactoren voor lachgas (N_2O) op seizoensbasis zijn voor alle meststoffen laag (0,1 – 2,0%). Onder natte omstandigheden (poriën in de bodem voor 80-90% gevuld met water) is de N_2O -emissie vooral van nitraathoudende meststoffen aanzienlijk hoger dan van ammoniumhoudende of op ureum gebaseerde meststoffen. De N_2O -emissie bij nitraathoudende meststoffen kan dan oplopen tot 12% van de toegediende N.
- In Engeland is onderzoek gedaan naar de totale hoeveelheid N die uitspoelde en de vorm waarin de uitspoeling plaatsvond. De totale hoeveelheid uitgespoelde N was bij de verschillende meststoffen gelijk. De vorm waarin de N uitspoelde was wel verschillend. Bij AN en KAS was dit voor 95-99% als nitraat en bij U en U+A voor 60 -75 % als nitraat en verder overwegend als ureum.

AN en KAS geven de hoogste gewasopbrengst en N-opname en de laagste NH_3 -emissie, maar hebben onder natte omstandigheden de hoogste N_2O -emissie en nitraatuitspoeling. Het risico in Nederland hiervan is het hoogst bij toedienen van nitraathoudende meststoffen in het (vroeg) voorjaar. Dit pleit voor het gebruik van ammoniumhoudende meststoffen en/of het toevoegen van een nitrificatieremmer in deze periode.

Toedieningsvorm

Meststoffen kunnen worden toegediend in vaste en in vloeibare vorm. In de vaste vorm worden de meststoffen verspreid als korrels. Bij vloeibaar kan onderscheid gemaakt worden tussen het verspuiten van de vloeistof en injectie via bijvoorbeeld een spaakwielbemester of een proefveldmachine, waarmee de vloeistof in sleufjes in de grond wordt gebracht. Verspuiten met een veldspuit wordt in Nederland op grasland nauwelijks toegepast onder andere vanwege het grotere risico van vervluchting en bladverbranding.

In vergelijkend onderzoek van de korrelmeststof KAS en vloeibare N-meststoffen, toegediend met een spaakwielbemester of proefveldmachine, gaf KAS vrijwel steeds een significant hogere opbrengst aan drogestof en N dan de als vloeistof toegediende N-meststoffen. Bij de vloeibare meststoffen was de opbrengst en N-opname bij vloeibaar AN beter dan die bij vloeibaar toegediende ureum en andere vloeibare meststoffen die ureum bevatten (Anasol, Urean en NTS). Nader onderzoek naar bijvoorbeeld effecten van ruimtelijke verdeling en grondsoort is nodig om de gevonden verschillen te verklaren. Door het gebruik van GPS is de nauwkeurigheid van de verdeling en toe te dienen hoeveelheid meststof op de juiste plaats in de toekomst naar verwachting nog aanzienlijk te verbeteren. Bij de bemesting van snijmaïs zal het toedienen van mest in de rij naar verwachting een grote vlucht nemen. Door het toepassen van GPS behoeft het toedienen van de mest en het zaaien van de maïs dan niet meer gelijktijdig plaats te vinden.

Bij de huidige stand van de techniek wordt de hoogste N-benutting op grasland gerealiseerd met nauwkeurig gestrooide korrelmeststoffen. Hierbij past het gebruik van een goed afgestelde kunstmeststrooier en van de benodigde kantstrooiapparatuur.

Fysische aspecten en toepassing op bedrijfsniveau

Meststoffen zijn te mengen tot een blend. Dit geldt voor zowel vloeibare als korrelmeststoffen.

Het voordeel van een blend is, dat met 1 gift meerdere elementen kunnen worden toegediend. Het grootste nadeel is dat in veel gevallen niet alle percelen de juiste hoeveelheid van de toegevoegde nutriënten ontvangen

Korrelmeststoffen zijn makkelijk te transporteren en op te slaan, zowel in bulk als in kleinere

hoeveelheden als zakgoed. Voor vloeibare meststoffen zijn aangepast transport en opslag in een tank nodig. Bij een keuze voor het toedienen van vast of vloeibaar in eigen beheer spelen deze investeringen een belangrijke rol naast de afweging van de efficiëntie en de kosten van de meststoffen. Vloeibare N meststoffen hebben bij de huidige stand van de techniek een lagere efficiëntie en vloeibaar AN (zonder S zonder ureum) is duurder dan KAS. Meststoffen met S geven bij toepassing gedurende het gehele jaar een te hoge S dosering.

Het toepassen van vloeibare meststoffen zal zich naar verwachting beperken tot een loonwerkactiviteit voor grote oppervlakten in één keer en afhangen van de prijs van toediening en de prijs van de meststof.

Voorjaarsmeststoffen en nitrificatieremmers

In het algemeen is de N-efficiëntie van de bemesting in de eerste snede relatief laag. Door de lange groeiduur van deze snede kunnen dan uitspoelings- of denitrificatieverliezen optreden. Gebruik van meststoffen met een hoger ammoniumaandeel, al dan niet in combinatie met nitrificatieremmers, biedt mogelijk perspectief. Op dit moment zijn de nitrificatieremmers DCD, DMPP en Triazol-3MP (Piadin) toegelaten in Nederland.

Onderzoek geeft aan dat door het gebruik van nitrificatieremmers in het voorjaar de graslandopbrengst kan worden verhoogd met 20%. Een belangrijk bijkomend voordeel is dat door het gebruik van nitrificatieremmers de lachgasemissie met 50 - 70% kan afnemen. Als de lachgasemissie afneemt vinden de processen waarbij N_2O vrijkomt ook niet of in mindere mate plaats. Er zal dus minder uitspoeling en/of denitrificatie plaatsvinden. Het effect van de nitrificatieremmers was het grootst onder natte omstandigheden.

Ook het in Nederland uitgevoerde onderzoek op grasland in het voorjaar laat zien dat door het gebruik van Entec, een voorjaarsmeststof met een nitrificatieremmer, een opbrengstverhoging van circa 20% kan worden gerealiseerd. Ook het gebruik voorjaarsmeststoffen zonder nitrificatieremmer (bijvoorbeeld ammoniumsulfaat, AS of ammoniumsulfaatsalpeter, ASS) leidt tot een hogere opbrengst en N-opname. Het effect is dan over het algemeen wat minder groot dan bij meststoffen met een nitrificatieremmer. Voorjaarsmeststoffen bevatten vaak ook zwavel. Het gebruik van deze meststoffen is snel aantrekkelijk op gronden waar een aanvullende S-bemesting nodig is. Met voorjaarsmeststoffen kan, voor het realiseren van een gelijke opbrengst, met 80% van de N, die als KAS wordt gegeven, worden volstaan. De bespaarde N kan later in het seizoen nuttig worden gebruikt. Bij een gemiddelde hoeveelheid neerslag en in een nat voorjaar wordt de gelijke opbrengst met de genoemde 80% zeker gerealiseerd. In een droog voorjaar kan dit effect geringer zijn.

Overwogen kan worden een nitrificatieremmer aan de dierlijke mest toe te voegen. Onderzoek wijst erop dat het niet zinvol is een nitrificatieremmer aan de mest toe te voegen en tevens kunstmest met een nitrificatieremmer te gebruiken. Een van beide is voldoende.

Het gebruik van voorjaarsmeststoffen, al dan niet met een nitrificatieremmer, biedt perspectief om de N-benutting in het voorjaar te verbeteren en daarmee de verliezen door uitspoeling en/of denitrificatie en door lachgasemissie aanzienlijk te reduceren. Wanneer de regelgeving met betrekking tot de nitraatnorm (in relatie met de KRW) strenger wordt, zullen nitrificatieremmers naar verwachting van meer betekenis worden om de doelstellingen te halen.

Veredeling

Van de grassoorten heeft Engels raaigras de hoogste voederwaarde. De N-opname van Engels raaigras hangt nauw samen met de grasopbrengst. Daarom is de selectie binnen Engels raaigras sterk op de

opbrengst gericht. Veredelaars geven aan dat er rassen zijn met een hoger eiwitgehalte en dat er goede mogelijkheden zijn om hierop en bijvoorbeeld op de bestendigheid van eiwit te selecteren, maar dat je dan zeker op korte termijn toegeeft op opbrengst en andere belangrijke eigenschappen.

Ook bij maïs is de N-opname sterk gerelateerd aan de opbrengst. Mogelijk biedt meer aandacht voor een goede pH en structuur van de bodem en het verhogen van het plantaantal per ha, door het verkleinen van de afstand tussen de maïsrijen, perspectief om de N-benutting te verhogen.

Managementaspecten

Naast de keuze van het type meststof, de toedieningsvorm en het wel of niet gebruiken van meststoffen met een nitrificatieremmer in het voorjaar spelen de zorg voor de bodem, de voorziening van het gewas met andere nutriënten en het graslandmanagement een belangrijke rol voor het realiseren van een hoge grasopbrengst en N-benutting. Deze aspecten zijn beschreven in de Hoofdstukken 9 en 10 en samengevat in de onderstaande Handreiking voor veehouders. Hoofdstuk 11 laat zien dat er in de praktijk zeker verbeteringen in het management mogelijk zijn.

Voorspelling Stikstof Leverend Vermogen

Het N-bemestingsadvies houdt rekening met het Stikstof Leverend Vermogen (NLV) van graslandgronden. Het NLV wordt momenteel bepaald via de N-totaal bepaling. Recent onderzoek geeft aan dat het meten van extraheerbaar organische stikstof (EON), in combinatie met de juiste gegevens voor temperatuur en bodemvocht mogelijkheden biedt tot een betere schatting van het stikstof leverend vermogen van de bodem dan de N-totaal bepaling. Hierdoor kan mogelijk 25 -50 kg N per ha worden bespaard.

Conclusies

- Van de verschillende typen N-meststoffen geeft het gebruik van op ammonium en nitraat gebaseerde meststoffen, als AN en KAS, de hoogste N-benutting. Deze meststoffen geven de hoogste gewasopbrengst en N-opname en de laagste NH₃-emissie, maar hebben onder natte omstandigheden de hoogste N₂O-emissie en nitraatuitspoeling.
- Bij de huidige stand van de techniek wordt de hoogste N-benutting op grasland gerealiseerd met nauwkeurig gestrooide korrelmeststoffen.
- Het gebruik van voorjaarsmeststoffen met een hoger ammonium aandeel dan KAS of Entec, een voorjaarsmeststof met een nitrificatieremmer, biedt in het voorjaar perspectief om de N-benutting te verbeteren en daarmee de verliezen door uitspoeling en/of denitrificatie en door lachgasemissie aanzienlijk te reduceren.
- Naast de keuze en het gebruik van de juiste meststof spelen de zorg voor de bodem, de voorziening van het gewas met andere nutriënten en het graslandmanagement een belangrijke rol bij het realiseren van een hoge grasopbrengst en N-benutting.
- Het meten van extraheerbaar organische stikstof (EON), in combinatie met de juiste gegevens voor temperatuur en bodemvocht biedt mogelijkheden tot een betere schatting van het stikstof leverend vermogen van de bodem dan de N-totaal bepaling.

Handreiking betere benutting N-meststoffen

Algemeen

Deze handreiking is gericht op het verbeteren van de N-benutting uit kunstmest. Als aanvulling op dierlijke mest zijn voor de groei van het gras in het voorjaar vaak stikstof (N) en zwavel (S) nodig.

Een goede benutting van de N uit kunstmest is mogelijk door:

- Keuze van de juiste N-meststof en toedieningsvorm; en
- Goed management.

Keuze van de N-meststof

Het type N-meststof

Op ammonium en nitraat gebaseerde N-meststoffen, als AN en KAS, geven de hoogste N-benutting.

N-meststoffen kunnen worden gegeven als ammoniumnitraat (AN) of kalkammonsalpeter (KAS) en als Ureum of ureum plus een ureaseremmer. AN en KAS geven de hoogste opbrengst en N-opname. Ureum blijft met een opbrengst en N-opname van 90% duidelijk achter ten opzichte van AN en KAS. Bij ureum plus ureaseremmer is dit 95%.

De toedieningsvorm

Meststoffen in korrelvorm geven de hoogste opbrengst en N-opname.

N-meststoffen kunnen worden toegediend in korrelvorm (vast) en als vloeibare meststof. Bij de huidige stand van de techniek geeft vast een hogere opbrengst en N-benutting dan als vloeistof toegediende meststoffen. Vloeibare meststoffen met ureum blijven daarbij achter ten opzichte van vloeibare AN.

Voorjaarsmeststoffen

Gebruik voor een hoge N-benutting een voorjaarsmeststof.

In het voorjaar is de kans op N-verliezen door uitspoeling of denitrificatie het grootst. Gebruik van voorjaarsmeststoffen (bijvoorbeeld ammoniumsulfaat, AS en ammoniumsulfaatsalpeter, ASS) of Entec (voorjaarsmeststof met nitrificatieremmer) vermindert dit risico. Bij het gebruik van een nitrificatieremmer is het risico het kleinst. Voorjaarsmeststoffen met een hoog ammonium aandeel bevatten vaak ook zwavel. Het gebruik hiervan is snel aantrekkelijk op gronden waar een aanvullende S-bemesting nodig is. Met voorjaarsmeststoffen kan, voor het realiseren van een gelijke opbrengst, met 80% van de N, die als KAS wordt gegeven, worden volstaan. De bespaarde N kan later in het seizoen nuttig worden gebruikt. Bij een gemiddelde hoeveelheid neerslag en in een nat voorjaar wordt de gelijke opbrengst met de genoemde 80% zeker gerealiseerd. In een droog voorjaar kan dit effect geringer zijn.

Overwogen kan worden een nitrificatieremmer aan de dierlijke mest toe te voegen. Onderzoek wijst erop dat het niet zinvol is een nitrificatieremmer aan de mest toe te voegen en tevens kunstmest met een nitrificatieremmer te gebruiken. Een van beide is voldoende.

Samengevat

Voor een goede N-benutting geven op ammonium en nitraat gebaseerde meststoffen, toegediend in korrelvorm, de hoogste N-benutting. Gebruik voor een betere N-benutting in het voorjaar een voorjaarsmeststof bij voorkeur met een nitrificatieremmer. Gebruik in latere sneden KAS. Hieraan kunnen andere nutriënten (bijvoorbeeld Mg of Na) zijn toegevoegd.

Managementaspecten

Naast keuze van de meststof is een groot aantal management aspecten belangrijk voor de N-benutting. Hieronder is een samenvatting gegeven van een aantal aspecten waarmee een veehouder de N-benutting kan verbeteren.

- **Bodem:** Zorg voor een goede ontwatering en pH van de bodem.
- **Andere nutriënten:** Zorg voor een goede voorziening met de overige nutriënten (P, K en S), die van belang zijn voor een goede gewasopbrengst.
- **Planning:** Maak een plan voor de verdeling van de werkzame N uit mest en kunstmest over de gewassen en over het seizoen.
- **Voorjaar:** Geef in het voorjaar indien mogelijk alle percelen mest.
- **Voorjaarsmeststof:** Gebruik op grasland in het voorjaar een voorjaarsmeststof.
- **Kunstmest strooien:** Gebruik een goed afgestelde kunstmeststrooier en kantstrooiapparatuur.
- **Weer:** Ga geen kunstmest strooien als op korte termijn veel neerslag wordt verwacht.
- **Gebruik:** Maak onderscheid in N-gift tussen te maaien en te beweiden percelen.
 - o Maaipercelen 25 m³ en weidepercelen 15-20 m³ mest per ha.
 - o Vul aan met kunstmest voor maaien of weiden.
- **Bij N-bemesting lager dan landbouwkundig advies:**
 - o Bemest alle percelen (procentueel) even ver beneden het advies.
 - o Benut de lichtintensiteit en groeipotentie in het voorjaar door de eerste snede extra te bemesten en de latere sneden minder.
- **Mest en kunstmest:** Houdt bij de aanvullende kunstmestgift rekening met de werking van de mest en de nawerking van in vorige sneden gegeven mest.
- **Nazomer en herfst:** Bouw de N-bemesting in de nazomer tijdig af en benut de N-mineralisatie uit de bodem. Het herfstgras heeft dan:
 - o Een lager RE-gehalte.
 - o Een hoger suikergehalte.
 - o Is smakelijker.

Grasland inzaaien of herinzaaien:

- **Ingezaaid bouwland:** Geef ingezaaide bouwlandpercelen in het eerste jaar 50 N en in het tweede jaar 25 N per ha extra voor de opbouw van de nieuwe zode.
- **Heringezaaid grasland:** Geef heringezaaid grasland minder N en benut zo op heringezaaide percelen de 100 N per ha die uit de zode vrijkomt.

Smakelijkheid van gras:

- **Bevorder op te beweiden percelen de smakelijkheid van het gras, door:**
 - o Alle etgroen percelen te beweiden.
 - o Geen mest op te beweiden percelen.
 - o In juli/aug 10-15 m³ mest te geven, om het risico van kroonroest te verminderen.
 - o In juli een keer extra te bemesten met 100 kg landbouwsout per ha.
 - o Na twee beweidingen de bossen te maaien of het perceel te maaien.

Snijmaïs:

- Zorg bij de teelt van snijmaïs voor voldoende aanvoer van organische stof uit dierlijke mest en door het telen van een goed geslaagde groenbemester.

1 Inleiding

Het Productschap Zuivel heeft in 2009 de notitie “Stikstofonderzoek Melkveehouderij” opgesteld. Hierin is aangegeven dat de melkveehouderij de beschikbare mest en kunstmest maximaal dient te benutten. Op veel bedrijven is bemesting met stikstof volgens het landbouwkundige advies niet meer mogelijk. Een optimale inzet van kunstmeststikstof naast de dierlijke mest is dan een vereiste voor een zo hoog mogelijke opbrengst en kwaliteit van de gewassen. Een maximale N-benutting van de gegeven meststoffen is hiervoor nodig. Dit leidt tevens tot een beperking van de verliezen aan N door NH_3 -vervluchtiging en door uitspoeling en lachgasemissie. De veehouder krijgt dan een maximaal rendement van de gegeven meststoffen en het milieu heeft er baat bij. We noemen dit een win-win situatie.

In deze studie zijn de mogelijkheden van verschillende N-meststoffen en effecten van het gekozen type op opbrengst, N-opname en verliezen door NH_3 -vervluchtiging, uitspoeling en lachgasemissie op een rij gezet. Daarnaast is gekeken naar het effect van de toedieningsvorm en mogelijkheden van veredeling van gras- en maïsrassen en mogelijke verbeteringen van de voorspelling van het Stikstof Leverend Vermogen van de grond. Naast deze aspecten speelt het management een zeer belangrijke rol. Handhaven van een goede bodemkwaliteit van het gras- en maïsland, de voorziening met andere nutriënten en het graslandmanagement zijn van grote invloed op gewasopbrengst en -kwaliteit, maar ook op een goede grasopname door het weidende vee.

In deze studie zijn de verschillende aspecten op een rij gezet en samengevat in een Handreiking voor de melkveehouders. De studie is uitgevoerd in opdracht van Productschap Zuivel.

2 Fysiologische aspecten in relatie tot N-opname en N-benutting

2.1 Inleiding

Door de gebruiksnormen is de toe te dienen hoeveelheid stikstof (N) en fosfaat (P_2O_5) per ha beperkt. Vanuit bedrijfseconomie gezien is het van belang deze stikstof en fosfaat optimaal in te zetten. Door de gegeven N en P_2O_5 goed te benutten zullen minder verliezen optreden. Ook het milieu is erbij gebaat om de verliezen (vervluchtiging, uitspoeling, afspoeling of denitrificatie) te beperken. We spreken dan van een win-win situatie.

Deze studie is vooral gericht op het verhogen van de N-efficiëntie. Tijd, type en toedieningsvorm van de gegeven kunstmeststoffen spelen hierbij een belangrijke rol. Effecten op gewas- en eiwitopbrengst en -kwaliteit worden hierbij in beeld gebracht.

In het algemeen is de N-efficiëntie van de bemesting in de eerste snede via meststoffen, overwegend bestaand uit ammoniumnitraat, relatief laag. Door de lange groeiduur van deze snede kunnen dan uitspoelings- of denitrificatieverliezen optreden. Gebruik van meststoffen met een hoger ammonium-aandeel, al dan niet in combinatie met stoffen die de omzetting naar nitraat remmen, biedt mogelijk perspectief. Bijkomend voordeel is dat vooral bij lagere temperaturen planten een voorkeur hebben voor N-opname in de vorm van ammonium. Bovendien stimuleert ammonium de opname van fosfaat (P_2O_5).

2.2 Ammonium versus nitraat

Gewassen nemen N overwegend op in de vorm van ammonium (NH_4^+) of nitraat (NO_3^-). Vandaar dat de gangbare meststoffen één van deze of beide vormen bevat (of verbindingen bevat die vrij snel worden omgezet in ammonium of nitraat).

Een belangrijk verschil tussen bemesting met ammonium en nitraat is dat ammonium goed wordt geadsorbeerd door organische stof en kleideeltjes. Ammonium is daardoor minder gevoelig voor uitspoeling dan nitraat. Wel is er een zeker risico van ammoniakvervluchtiging bij ammoniumhoudende meststoffen, vooral op basische gronden. Het risico van ammoniakvervluchtiging is afhankelijk van de soort meststof, de temperatuur, de hoeveelheid neerslag en het vochtgehalte en de zuurgraad van de bodem.

Een aantal bekende N-meststoffen zijn:

- Ammoniumsulfaat (zwavelzure ammoniak, ZA) met 100% van de N als ammonium;
- Ammoniumsulfaatsalpeter (ASS) met 75% van de N als ammonium;
- Kalkammonsalpeter (KAS) met 50% van de N als ammonium; en
- Ureum (U) en kalkstikstof met 100 % van de N als ammonium na hydrolyse.

Het risico van ammoniakvervluchtiging bij deze meststoffen neemt af volgens de reeks Ureum>ZA>ASS>KAS (Bussink et al., 2002). Ureum kan op alle grondsoorten forse ammoniakverliezen geven. Bij ZA en ASS blijft dit risico beperkt tot de kalkrijke gronden. Bij KAS zijn de ammoniakverliezen gering.

NP-meststoffen bevatten meer ammonium dan nitraat. Zo is in diammoniumfosfaat (DAP) 100% van de N aanwezig als ammonium. In NP 26-7 is dit 54 %. Het risico van ammoniakvervluchtiging is groter naarmate het aandeel ammonium hoger is.

Ammonium kan door micro-organismen geoxideerd worden tot nitraat. Dit proces wordt nitrificatie genoemd en leidt tot verzuring van de bodem. De nitrificatiesnelheid is sterk afhankelijk van de temperatuur. Bij hoge temperaturen is ammonium in een paar dagen omgezet tot nitraat. Bij lage temperaturen en onder natte omstandigheden kan de omzetting meerdere weken duren (Macduff en White, 1985). Zo vond Stevens (1988) bij een temperatuur van 10°C slechts 20 procent omzetting van ammonium naar nitraat bij het gebruik van ammoniumsulfaat. Hij concludeerde dat bij een temperatuur van 5-10°C het gebruik van ammonium een voordeel heeft boven het gebruik van nitraat, daar bij lage temperaturen de kans op N-verliezen bij ammonium kleiner is dan bij nitraat. Vandaar dat ammoniumbemesting vooral in het voorjaar in potentie voordelen kan hebben.

Nitraat is mobiel en daardoor gevoelig voor uitspoeling. Bovendien kan nitraat onder natte omstandigheden (waardoor er weinig zuurstof in de grond zit) worden gereduceerd tot nitriet en vervolgens tot stikstofgas (denitrificatie). Bij deze omzetting komt ook het broeikasgas lachgas (N_2O) vrij. Denitrificatie wordt gestimuleerd door gemakkelijk afbreekbare organische stof, een neutrale bodem-pH en een hoge bodemtemperatuur. Planten kunnen zowel nitraat als ammonium opnemen. In Hoofdstuk 3 wordt het effect van meststof-type op gewasopbrengst, N-opname en N-verliezen besproken.

2.3 Opname van nitraat en ammonium

In een vruchtbare grond komen NO_3^- en NH_4^+ over het algemeen in een verhouding voor van 10 à 20 : 1 (Kirkby et al., 2009).

Opname van NO_3^- is het resultaat van zowel een actief als een passief proces. Bij lage concentraties aan NO_3^- in de bodemoplossing overheerst het actieve opnamemechanisme (HATS: high affinity transport system), terwijl bij hoge concentraties het passieve opnamemechanisme overheerst (LATS low affinity transport system). Ook bij NH_4^+ zijn deze mechanismen belangrijk. Bij lage concentraties wordt het actieve mechanisme in werking gesteld. Ook glutamine speelt hierbij een rol. Bij hogere concentraties werkt het passieve mechanisme (LATS).

Ammonium is positief geladen. Om elektroneutraliteit te handhaven moet de graswortel positief geladen verbindingen (kationen) afstaan of negatief geladen verbindingen (anionen) opnemen. Bij nitraat doet zich het tegenovergestelde voor. De vorm waarin gras de N opneemt is dus van invloed op de minerale samenstelling van gras.

2.3.1 Temperatuur

Planten hebben, vooral bij lage temperaturen, een voorkeur voor ammonium, zoals bleek uit proeven van Clarkson & Warner (1979) met Italiaans en Engels raaigras. Bij lage temperaturen wordt ammonium aanmerkelijk beter opgenomen dan nitraat. Dit verschijnsel is ook waargenomen door onderzoekers van IGER (Anonymus 1981 en 1982). Zo bedroeg bij 3 °C het ammoniumaandeel 93 procent van de totaal opgenomen hoeveelheid N. Bij 25 °C was dit 65 procent. Vergelijkbare resultaten zijn gevonden door Clarkson et al. (1986) en Macduff & Jackson (1991). Bovendien bevordert het ammonium de wortelgroei sterk. Vermoedelijk is er een voorkeur voor ammonium doordat het metaboliseren van ammonium minder energie kost dan dat van nitraat.

2.3.2 Groei van gewassen

De groei van planten wordt beïnvloed door de verhouding aan ammonium en nitraat. Dit blijkt uit een potproef met 16 gewassen (Sommer & Mertz, 1973) met een N-bemesting gegeven of alleen als

ammonium of alleen als nitraat. Alleen ammoniumvoeding veroorzaakt een sterke groeiremming bij Chinese kool, savooiekool, bieten, spinazie en wortelen. Deze remming was het sterkst aan het begin van de groei. Later trad herstel op. Bij gerst, rogge, maïs, bladrammenas en zonnebloem was de opbrengst bij ammoniumbemesting hoger dan bij nitraatbemesting.

Ook Van Diest (1976) heeft de effecten van ammonium- en nitraatvoeding voor verschillende gewassen bestudeerd. Uit deze proeven valt af te leiden dat de grasproductie toeneemt naarmate het aandeel ammonium in de N-voorziening toeneemt. Wel lijkt er een zeker optimum te zijn tussen 50 en 100 procent ammonium. Uit proefveldonderzoek van Geens et al. (1991) kwam naar voren dat bij lage temperaturen (1e snede) er een groeiremming optrad indien de N-opname van gras voor meer dan 90 procent uit ammonium bestond. In de tweede snede had de verhouding ammonium/nitraat geen invloed op de opbrengst.

2.3.3 Minerale samenstelling gras

Een hoge ammoniumopname stimuleert de opname van fosfaat, sulfaat en chloride en remt de opname van kationen als kalium, natrium, calcium en magnesium (kationen- en anionencompetitie). De hogere opname van fosfaat en sulfaat kan de eiwitsynthese stimuleren en daardoor de productie en de kwaliteit van het gewas bevorderen. De verhoging van het chloridegehalte wordt als nadelig gezien, evenals de onderdrukking van de opname van natrium en magnesium. Bij een ruime kalivoorziening kan een remming van de kaliumopname positief werken om te hoge kaliumgehalten in het gras te voorkomen. Bij een (te) krappe kalivoorziening kan dit echter leiden tot een groeireductie (zie § 2.4.2).

Nitraatopname stimuleert juist de opname van kationen en onderdrukt de opname van anionen.

2.4 Andere nutriënten

2.4.1 Fosfaat

Voor een goede groei moeten planten over voldoende fosfaat kunnen beschikken. Gebrek aan fosfaat kost opbrengst, remt de groei van gewassen en leidt tot een slechtere benutting van stikstof en andere voedingsstoffen. Fosfaat is weinig mobiel in de bodem en moet daarom dichtbij de wortels aanwezig zijn. Opname van ammonium bevordert de opname van P_2O_5 (kation- en anioncompetitie). Daarnaast werkt ammonium verzurend. Het hangt af van de grondeigenschappen of calciumfosfaten of aluminium/ijzerfosfaten de overheersende vorm zijn. Calciumfosfaten in grond en in meststoffen zijn bij lagere pH beter oplosbaar, waardoor de beschikbaarheid van P_2O_5 in het voorjaar (op het moment dat de grond nog koud is) kan toenemen. Dit is recentelijk nog eens aangetoond door Gahoonia et al. (1992) in een potproef.

Onder de pH-condities zoals die in Nederland op (zand-)gronden voorkomen zijn aluminium- en ijzerfosfaten de overheersende vorm. Een lagere pH leidt dan tot een lagere P_2O_5 -beschikbaarheid, zoals blijkt uit de studie van Den Boer et al. (2001). Netto lijkt echter de P_2O_5 -opname bevorderende werking (kation- en anioncompetitie) belangrijker te zijn dan de verzuring, want voorjaarsproeven met ZA leiden in het algemeen tot een iets hoger P-gehalte in het gras in vergelijking tot KAS.

Nu de minerale P_2O_5 -bemesting beperkt is door de gebruiksnormen pleit dit, vooral bij een krappe P_2O_5 -voorziening, ook voor meststoffen met een hoger ammoniumgehalte in het voorjaar.

2.4.2 Kalium

Naast N is kalium het meest door het gewas opgenomen nutriënt (Kirkby et al., 2009).

Kalium bevordert de productie van koolhydraten. Een hogere productie aan koolhydraten zorgt voor een snellere grasgroei en een hogere opbrengst.

Daarnaast is K het begeleidende ion bij het transport van NO_3^- en aminozuren vanuit de wortels naar de bovengrondse delen. Bij een tekort aan K wordt de opname van N geremd, wat leidt tot groeireductie (Pettigrew, 2007).

Kalium is ook belangrijk voor de eiwitkwaliteit. Novakowski (1972) vermeldt de resultaten van een potproef met Engels raaigras. Een hoge N-gift zonder K gaf een verhoging van het gehalte aan NO_3^- en opgelost organisch-N, maar niet van het gehalte aan eiwit-N. Een gelijktijdige N + K gift verhoogde het gehalte aan eiwit-N en verlaagde de gehalten aan NO_3^- en opgelost organisch-N.

Tabel 2.1. Effect van oplopende K-bemesting op het gehalte aan eiwit N, opgelost organisch N en NO_3^- -N in Engels raaigras in een potproef bij een N-bemesting van 160 mg N kg^{-1} grond (Novakowski (1972)

K-gift (mg K kg^{-1} grond)	Eiwit-N	Opgelost organisch N	$\text{NO}_3\text{-N}$
0	77,8	12,84	7,79
60	85,9	11,76	1,3
120	89,1	9,3	0,94
240	92,0	7,53	-

Dit is in overeenstemming met Pettigrew 2007. Hij vermeldde dat een tekort aan K als begeleidend ion bij het transport van NO_3^- en aminozuren vanuit de wortels naar de bovengrondse delen leidt tot ophoping van NO_3^- in de wortels. Bij ophoping van NO_3^- wordt de verdere opname van NO_3^- geremd door een feedback mechanisme, wat leidt tot groeireductie. K is ook betrokken bij de eiwitvorming, waarbij K de omzetting van N naar eiwit stimuleert.

2.4.3 Zwavel

Naast N, P en K is S het vierde nutriënt dat direct van invloed is op de grasgroei. Het vervult een functie bij de fotosynthese en de eiwitvorming. De opname van N en S zijn sterk aan elkaar gerelateerd (Brunold, 1993). De Kok et al. (2002) geven aan dat een ongebalanceerde S-bemesting leidt tot een verminderde N-efficiëntie en tot een verhoogd risico van N-uitspoeling.

Zwavel is een bestanddeel van de aminozuren cysteïne en methionine,. Dit zijn ook voor het vee essentiële aminozuren. Cysteïne is ook nodig bij de vorming van methionine, waarbij cysteïne gebruikt wordt als gereduceerde S-donor (De Kok et al., 2002). S is ook nodig voor de vorming van verschillende andere stoffen als glutation, allinen, glucosinolaten en fytochelaten, die weer een belangrijke rol spelen in de plantenfysiologie en de bescherming van de planten tegen stress en ziekteaantastingen.

Eiwitten bevatten S-houdende en niet S-houdende aminozuren. Tot op zekere hoogte hebben planten de fysiologische flexibiliteit om te variëren in het aantal S-bevattende eiwitten. Maar bij een tekort zal uiteindelijk zowel de kwaliteit als de hoeveelheid gevormd eiwit afnemen. Een tekort aan S leidt dus tot een lagere opbrengst, een verminderde resistentie tegen stress en ziekten en een verminderde voedselkwaliteit (De Kok et al., 2002).

De bevindingen van De Kok et al. komen overeen met waarnemingen van Den Boer et al. (2007). In een studie naar de S-voorziening van snijmaïs namen zij waar dat een verlaagd S-gehalte bij een voldoende N-voorziening leidde tot een lager eiwitgehalte in de maïs. Op grasland leidt een tekort aan S tot een aanzienlijke opbrengstderving en daarmee tot een slechtere benutting van de gegeven N (Bussink, 1999A).

In Hoofdstuk 9 is de voorziening van het gewas met fosfaat, kali en zwavel verder uitgewerkt.

3 Meststof type en opbrengst, N-opname en N-verliezen

3.1 Inleiding

Gewassen nemen N overwegend op in de vorm van ammonium (NH_4^+) of nitraat (NO_3^-). Vandaar dat de gangbare N-meststoffen één van deze of beide vormen bevatten of verbindingen die vrij snel worden omgezet in ammonium of nitraat.

In dit hoofdstuk is gekeken naar het effect van het gebruikte type N-meststof op de gewasopbrengst, de N-opname en de N-verliezen. Het overzicht is beperkt tot de enkelvoudige N-meststoffen en enkele NS-meststoffen. Welk type N-meststof leidt nu tot de hoogste gewasopbrengst en N-opname en welke verliezen treden op. Ook de vorm waarin de verliezen optreden is meegenomen.

In het verleden is in Nederland veel onderzoek gedaan naar de werking en landbouwkundige waarde van verschillende stikstofmeststoffen. Zo geven Van Burg et al. (1982) voor grasland en bouwland een goed overzicht voor de meststoffen: kalksalpeter, kalkammonsalpeter, zwavelzure ammoniak, vloeibare ammoniak, ureum en urean. Recent ligt de nadruk in Nederland vooral op onderzoek naar de toedieningsvorm (vast of vloeibaar) en naar het gebruik van voorjaarsmeststoffen met of zonder nitrificatierepeller. Dit onderzoek is beschreven in de Hoofdstukken 4, 7 en 8.

Daarentegen is in Engeland in opdracht van het Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra Project) uitgebreid onderzoek gedaan naar het effect van verschillen in meststof type op het vrijgeven van de N, de opbrengst van het gewas, de N-opname, verliezen aan ammoniak en lachgas (N_2O) en verliezen door uitspoeling in het voorjaar. Dit onderzoek krijgt daarom in Hoofdstuk 3 uitgebreid aandacht. Het is uitgevoerd op grasland en bouwland. De weergegeven resultaten hebben betrekking op grasland. Waar dit van belang is voor deze studie is dit aangevuld met enkele resultaten van het bouwland.

3.2 Onderzoek in kader van Defra project

3.2.1 Het type N-meststof

Het Defra project is opgestart met een uitgebreid onderzoek naar een mogelijke vervanger van ammoniumnitraat (AN) als enkelvoudige N meststof (Dampney et al., 2003; NT 2601). Deze vervangende meststoffen moesten daarbij aan een groot aantal voorwaarden voldoen. Deze voorwaarden hadden betrekking op veiligheid, transport, productiekosten, nauwkeurigheid van toedienen, goede gewasreactie, geen duidelijk negatieve effecten op de gezondheid van gewassen, vee en mens, minimale of acceptabele verontreiniging van/verliezen naar bodem, water en lucht en de mogelijkheid om te gebruiken bij de productie van samengeutelde meststoffen.

Van het grote aantal mogelijke meststoffen kregen slechts 3 enkelvoudige N-meststoffen de beoordeling goed perspectief. Dit waren kalkammonsalpeter (KAS), ureum en ureumammoniumnitraat (urean). Bij KAS werd opgemerkt dat het enige verschil met AN is dat KAS kalk als vulstof heeft en daardoor een lagere N-concentratie (26-28% N). Bij ureum (U) is opgemerkt dat ureum prils sterk hygroscopisch zijn, dat de verliezen door ammoniakvervluchtiging aanzienlijk kunnen zijn en dat de prils moeilijk strooibaar zijn bij grote werkbreedtes (24 meter). Om de ammoniakemissie te verminderen zou het gebruik van urease-remmers een oplossing kunnen zijn. Als voorbeeld is 'Agrotain' genoemd.

Als samengestelde meststoffen worden genoemd de NP- en NS-meststoffen. Het gebruik hiervan is afhankelijk van de behoefte aan P en S. Di-ammoniumfosfaat (DAP) is aangemerkt als een goede meststof, maar P is niet altijd nodig. Door toename van zwaveltekorten neemt het gebruik van NS-meststoffen toe. De onderzoekers geven aan dat deze meststoffen mogelijk perspectief bieden om te gebruiken als primaire N-bron. Ammoniumsulfaatsalpeter (ASS) krijgt een goed perspectief. Het is geschikt om te gebruiken in blends met bijvoorbeeld KAS, ureum en kieseriet. Bij ammoniumsulfaat (AS of ZA) is opgemerkt dat het slechts 21% N bevat. De hoeveelheid S leidt tot problemen als AS als enige N-bron op grasland gebruikt wordt.

Ammoniumchloride (NH_4Cl) wordt genoemd als meststof met een mogelijk perspectief. De hoeveelheid chloride in deze meststof kan een probleem zijn bij sommige gewassen. Het is geschikt voor toepassing in blends.

Een groot aantal N-verbindingen kreeg de beoordeling: geen perspectief. De oorzaken hiervan zijn divers, bijvoorbeeld: te hoge ammoniakemissie bij ammoniumcarbonaat ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$), veiligheid en gezondheid (vloeibare ammoniak), of lage N-concentratie en een verhoogd risico van nitraatuitspoeling (KS met 15,5% N als nitraat). Kalkstikstof (CaCN_2) is een relatief dure meststof met een N-gehalte van 20%.

3.2.2 Opbrengst, N-opname en eiwitkwaliteit

Het uitgebreide Engelse onderzoek naar opbrengst en N-opname en ook het in de §§ 3.2.3; 3.2.4 en 3.2.5 beschreven onderzoek naar verliezen door NH_3 -vervluchtiging, N_2O -emissies en uitspoeling is gerapporteerd door Dampney et al., in 2004 (NT 2603). De opzet van dit onderzoek is weergegeven in Bijlage 1.

In Figuur 3.1 is voor enkele N-meststoffen een overzicht gegeven van de grasopbrengst en de N-opname op jaarbasis als gemiddelde van alle graslocaties. Ureum (U) had een lagere opbrengst en N-opname dan Ammoniumnitraar (AN). Ureum + de ureaseremmer Agrotain (U+A) nam een tussenpositie in. De N-opname op jaarbasis uit U was 89,2% en uit U+A 93,8% van die uit AN.

In de eerste snede waren er geen significante verschillen in opbrengst. De onderzoekers merken hierbij op dat de omstandigheden bij het strooien van de meststoffen koel en vochtig waren, waardoor er weinig NH_3 -emissie vanuit de ureum zal zijn geweest.

De omstandigheden voor de 2^e en 3^e snede waren warm en droog en gunstig voor ammoniakemissie. De onderzoekers merken hierbij op dat de bodemtemperaturen bij het toedienen van de N eind mei en in juni en juli hoog waren. Het leek erop dat dit een belangrijker factor was dan de regenval. In de 2^e snede was de gemiddelde opbrengst van de ureumveldjes 88,2% en in de derde snede 92,5% in vergelijking met die van AN.

In de eerste snede was er ook geen verschil in N-opname. In de 2^e snede was de N-opname uit U het laagst en slechts 80,9% van die uit AN. Bij U+A was dit 83,9%.

Andere meststoffen

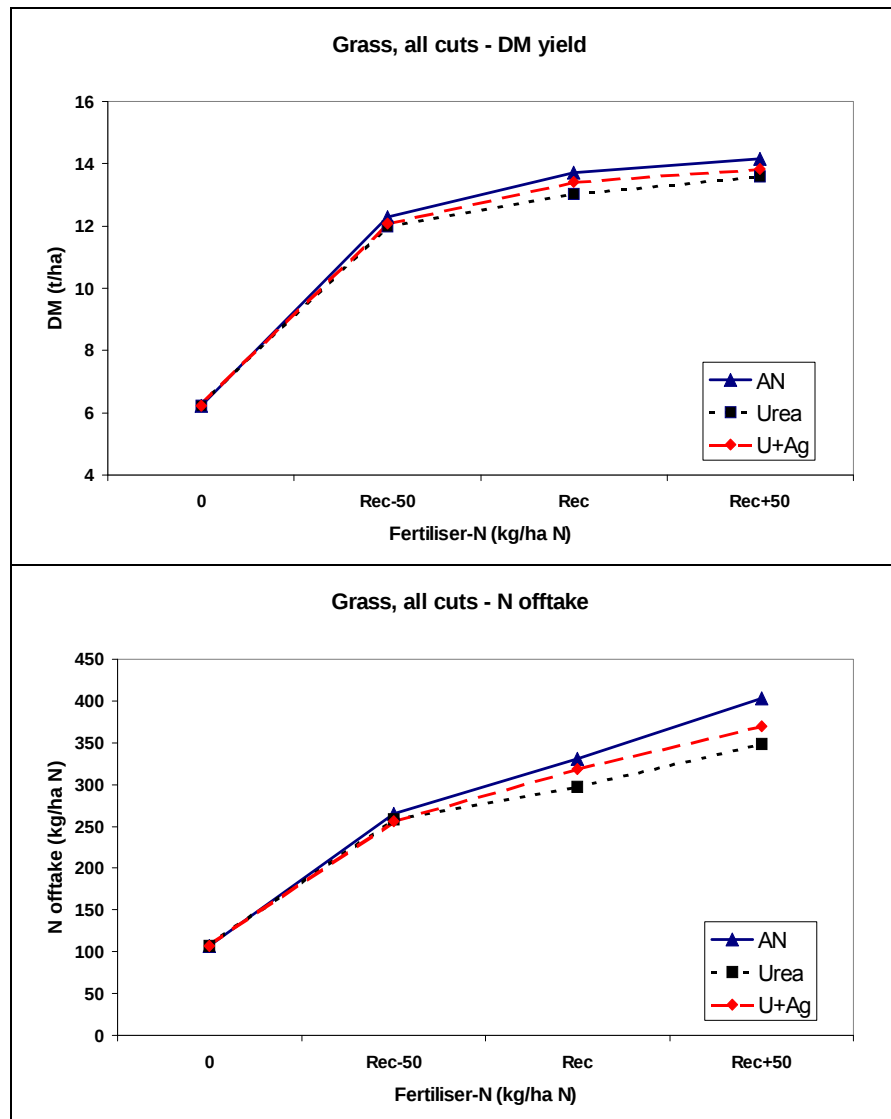
KAS: Er was geen verschil in opbrengst en N-opname tussen AN en KAS.

Urean: Urean is getest op 4 locaties met graan. Op deze locaties gaf urean een lager eiwitgehalte in het graan, maar er was geen verschil in opbrengst. De ammoniakemissie studies laten zien dat het risico van ammoniakemissie bij urean even groot is als bij ureum.

Granulair ureum-ammonium-sulfaat UAS: Deze meststof is meegenomen omdat hiervan een lagere

NH_3 -emissie verwacht werd dan bij ureum. Waar ureum een lagere opbrengst gaf dan AN leidde het gebruik van UAS tot een tussenpositie.

Granulair ammoniumsulfaat: AS is getest op 4 locaties. Drie ervan hadden een hoge pH (7,7-8). Op deze locaties presteerde AS slechter dan AN.



Figuur 3.1. Effect van de N-bemesting op de totale opbrengst aan drogestof van drie sneden en de N-opname door het gras.

Granen/eiwitkwaliteit

Bij de granen was er geen verschil in opbrengst maar wel een verschil in N-opname tussen U en AN. Dit verschil leidde tot een lager eiwitgehalte in het graan van 0,5%. Er was weinig verschil in eiwitgehalte tussen U+A en AN. Het eiwitgehalte is erg belangrijk voor het vermarkten van het graan.

De eiwitkwaliteit is in dit project niet onderzocht. Maar de onderzoekers geven aan dat verder onderzoek nodig is of het gebruik van op ureum gebaseerde meststoffen leidt tot een hoger ammonium-N gehalte en een lager eiwitgehalte in het gewas.

Ureum + Agrotain

De onderzoekers geven als conclusie voor nBTPT (Agrotain) aan dat deze ureaseremmer de N-efficiëntie verbetert maar dat het resultaat inconsistent was en de lagere efficiëntie van ureum en de hogere NH_3 -emissie ten opzichte van AN niet volledig opheft. De nBTPT is nu als coating rond de korrels aangebracht. Mogelijk geeft incorporeren in de korrel een beter resultaat.

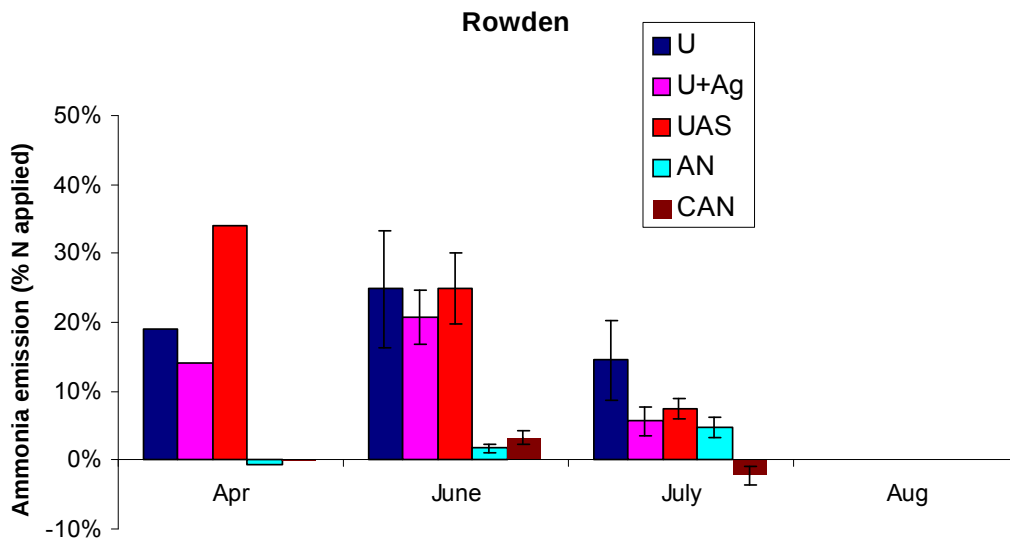
3.2.3 Ammoniak emissies (NH_3)

De opzet van de metingen en de geteste meststoffen zijn weergegeven in Bijlage 1.

De emissie is uitgedrukt in emissiefactoren. De emissiefactor is het percentage van de totaal gegeven N, die verloren gaat door ammoniakemissie.

Figuur 3.2 geeft een beeld van de ammoniakemissies in drie meetperioden op de locatie op lemige kleigrond in Rowden. De emissies uit ureum nemen toe bij hogere bodemtemperatuur.

De emissies waren, hoewel niet significant, hoger op een lemige zandgrond dan op een lemige kleigrond (Rowden). Deze kleigrond had een hogere CEC, waardoor de NH_4^+ beter geadsorbeerd wordt.



Figuur 3.2. Cumulative ammoniakemissies na het toedienen van de meststoffen aan lemige kleigrond op grasland in Rowden. Verticale lijnen geven de standaardafwijking.

De gemeten emissies op seizoensbasis, weergegeven als emissiefactoren, voor de geteste meststoffen zijn gegeven in Tabel 3.1. Ureum gaf de hoogste emissie. U+A reduceerde de ammoniakemissie op grasland met 40%. Ook UAS, gebruikt op grasland, en UAN, toegediend op bouwland, waren wezenlijke bronnen van ammoniakvervluchting.

De hoogste ammoniakemissie uit U en UAS werd meestal gemeten tussen 2 en 5 dagen na toedienen. Dit emissiepatroon geeft weer dat hydrolyse van ureum, vooral in warme vochtige grond, snel plaatsvindt. Ureum + Agrotain reduceerde de ammoniakemissie gedurende de eerste dagen na toedienen, maar deze was daarna hoger dan die van ureum.

Tabel 3.1. Gemeten ammoniakemissies in Engeland, gegeven als emissiefactoren, voor verschillende meststoffen op grasland en bouwland (Dampney et al., 2004)

Meststof	Grasland	Bouwland
Ureum (U)	25	17
Ureum + Agrotain (U+A)	14	14
Ureum ammoniumsulfaat (UAS)	19	--
Urean (UAN)	--	14
Ammoniumnitraat (AN)	1	2
Kalkammonsalpeter (KAS)	1	6

De ureaseremmer Agrotain remt de hydrolyse van ureum tot 7 à 10 dagen na toedienen. Gedurende die periode moet er voldoende neerslag vallen om de ureum in de grond te brengen. In de grond worden de ammoniumionen geadsorbeerd afhankelijk van de CEC. Op deze wijze wordt de ammoniakemissie gereduceerd. De effectiviteit van Agrotain is dus afhankelijk van de neerslag gedurende de eerste 7 à 10 dagen. De vereiste hoeveelheid is voor de meeste gronden 10 - 20 mm (Watson 2000).

De vervluchtiging uit AN en KAS was laag. De gemeten waarden op bouwland waren hoger, maar hebben betrekking op slechts drie meetperioden.

Er was een goede relatie tussen de gemeten N-verliezen uit ureum en de aanvullende N-gift die nodig was om dezelfde gewasopname te krijgen als bij AN.

3.2.4 Lachgas emissies (N₂O)

De opzet van de metingen en de geteste meststoffen zijn weergegeven in Bijlage 1.

De onderzoekers vonden grote verschillen tussen de locaties en tussen de verschillende meetperioden afhankelijk van de bodem- en weersomstandigheden.

In Tabel 3.2 zijn de emissiefactoren (EF's) gegeven voor het seizoen (drie geoogste sneden) van de geteste meststoffen op 5 graslocaties en 1 locatie met wintertarwe. De emissiefactor is berekend als het percentage van de toegediende N-meststof dat verloren gaat door N₂O-emissie na aftrek van de emissie uit de nul-veldjes.

Tabel 3.2. Emissiefactoren (%) op seizoensbasis voor verschillende N-meststoffen op 5 graslandlocaties en 1 locatie met wintertarwe.

	Rowden	Auchin- cruive	Crichton	Hills- borough	High Mow- thorpe	Bush Estate	Varatie tussen Sites
Meststof	Gras	Gras	Gras	Gras	Gras	wintertarwe	
AN	0,15	0,50	0,97	--*	1,28	0,16	0,15-1,28
CAN	0,07	0,75	1,80	3,93	0,91	0,25	0,07-3,93
U	0,08	0,76	0,53	1,74	1,20	0,37	0,08-1,74
U+A	0,08	0,42	0,51	1,80	0,64	0,58	0,08-1,80
UAS	0,06	--*	--*	1,29	1,12	--*	0,06-1,29

* niet gemeten

De ervaringen kwamen overeen met literatuurgegevens dat de volgende factoren van invloed zijn op de N₂O-emissies: de vochtigheid van de grond, de temperatuur en het aanwezig zijn van voldoende

minerale N in de bodem. Zo merken de onderzoeker bij Crichton op dat na de N-gift in mei de vulling van de poriën in de grond met vocht sterk toenam. De N₂O-emissie was 4 – 10 keer hoger dan na de N-gift in maart. De emissiefactoren na de N-gift in mei varieerden van 1,07% en 1,12% voor U en U+A naar 1,92% voor AN en 4,56% voor CAN.

Op Hillsborough nam in mei de vulling van de poriën toe tot 80 - 90% vergeleken met een vulling in maart van 60-79%. De temperatuur in mei was ongeveer 5°C hoger dan in maart. De bijbehorende emissiefactoren in mei waren 3,05% voor UAS, 4,5 % voor U, 4,6% voor U+A en 11 % voor CAN.

De onderzoekers gaven aan dat onder gunstige omstandigheden voor N₂O-emissie de emissies van ureum en ureum-ammoniumsulfaat over het algemeen lager waren dan van meststoffen die ook nitraat bevatten. De nitraat bevattende meststoffen hebben in zulke perioden aanzienlijk hogere emissies dan de defaultwaarden van de IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) van $1,25 \pm 1,0\%$. Er zijn geen duidelijke verschillen gevonden in N₂O-emissie tussen U en U+A.

3.2.5 Uitspoeling

Bhogal (2004) geeft aan dat er in Engeland erg weinig onderzoek gedaan is naar uitspoelingsverliezen na het toedienen van verschillende N-meststoffen en de vorm waarin de N uitspoelt.

De opzet van het onderzoek in 2003 is gegeven in Bijlage 1. De uitspoeling is gemeten op 3 bouwlandlocaties op lemige zandgrond. De geteelde gewassen waren zomergerst of wintertarwe. De totale hoeveelheid uitgespoelde N is gegeven in Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Totale hoeveelheid N (kg N per ha) uitgespoeld op 30 cm beneden maaiveld en (standaardafwijking).

Meststof	Gleadthorpe	Debathe	Woburn
AN	1,0 (0,44)	2,7 (1,38)	14,2 (2,14)
Ureum	1,6 (0,48)	2,7 (0,64)	6,9 (1,33)
Ureum+Agrotain	1,2 (0,16)	3,2 (0,15)	11,2 (3,18)
KAS	n.b.	n.b.	7,4 (1,50)

n.b.: niet bepaald

Geconstateerd is dat er geen verschil is in totaal uitgespoelde hoeveelheid N tussen de verschillende meststoffen. Deze hoeveelheid varieerde van < 2 tot < 15 kg N per ha. Dit komt overeen met minder dan 1% tot minder dan 10% van de gegeven N.

Wel was er verschil in de vorm waarin de N uitspoelde. De uitgespoelde N was onder de AN- en KAS-veldjes voor 95-99% aanwezig als nitraat-N. Onder de ureumveldjes was dit 60-90 % en onder de U+A veldjes 50-75%. Bij de laatste 2 was de overige uitgespoelde N aanwezig als ureum- en ammonium-N. NH₄ is betrekkelijk immobiel in de grond. De onderzoeker geeft aan dat de verhoogde concentraties aan NH₄-N na toedienen van U of U+A niet toegeschreven moeten worden aan directe uitspoeling van NH₄, maar waarschijnlijk het gevolg is van hydrolyse van de ureum op 30 cm diepte.

Het toevoegen van de ureaseremmer nBTPT of Agrotain verhoogt het risico van ureumuitspoeling.

De belangrijkste vorm waarin de N uitspoelde was nitraat-N. De gemeten concentraties aan NO₃-N bij AN en CAN waren hoger (tot 40 mg/l) dan die gemeten bij U en U+A (tot 20 mg/l).

Uitgespoelde ureum-N kwam alleen voor op de veldjes waarop U of U+A was toegediend en op de controle (geen bemesting). Ureum-N was aanwezig in het opgevangen water van zowel de U- als de U+A-veldjes. De hoogst gemeten concentratie aan ureum-N in de lysimeters op 1 – 2 dagen na

toedienen was voor U 12 mg/l en voor U+A 30 mg/l. Dit is mogelijk het gevolg van een vertraagde hydrolyse van ureum.

Ammonium-N kwam in lage concentraties voor in het water van de veldjes met AN, CAN en van de controle (0,2 – 0,5 mg/l). Verhoogde concentraties aan $\text{NH}_4\text{-N}$ werden echter gevonden onder de U en U+A-veldjes (tot 3,8 mg/l). De piekconcentraties waren bij U+A later (3 – 7 dagen na toedienen) dan bij U.

De concentraties aan nitriet-N van de controle waren 0,002 – 0,014 mg/l. Deze concentraties waren onder de bemeste veldjes gemiddeld wat hoger (0,005 – 0,061 mg/l) dan van de controle. Er was geen duidelijk onderscheid tussen de verschillende N-meststoffen.

Er zijn geen gegevens beschikbaar over de uitspoeling na het toedienen van een nitrificatieremmer. Doordat de omzetting van ammonium naar nitraat vertraagd wordt zal dit naar verwachting wel leiden tot een lagere uitspoeling.

3.3 Overige literatuur

3.3.1 Opbrengst en N-opname

In Nederland is in de jaren 1954 -1971 (Van Burg et al.,1982) veel onderzoek gedaan, waarin het effect van ureum en KAS (23%N) op de opbrengst van één snede werd vergeleken. Op zand en klei was de werking van ureum duidelijk slechter dan van KAS met uitzondering van het extreem natte jaar 1965. Bij 70 kg N per snede was de werking van ureum 85 % ten opzichte van KAS. Bij 140 kg N was dit 75%. Geconstateerd is dat resultaten van de afzonderlijke proeven nogal verschilden. Valt er kort na het toedienen veel neerslag dan heeft ureum de beste kansen en bij droger weer de KAS. Op veengrond werkte ureum even vaak beter als slechter dan KAS.

Ook Bhogal et al. (2003) constateerden dat ureum meer variabele resultaten gaf dan AN en de opbrengst soms slechts 80 – 90% was in vergelijking met andere korrelmeststoffen, en meer in het bijzonder als de N gegeven wordt onder warme en droge omstandigheden, zoals op grasland in de zomer.

Bussink & Oenema (1996) analyseerden een groot aantal proeven uit de jaren 1960 – 1990 in Nederland, Engeland en Noord Ierland, waarin het gebruik van ureum op grasland vergeleken is met KAS. Ze combineerden hierbij het N-bemestingsniveau, de opbrengst en N-opname en bodem- en weersgegevens.

In de Nederlandse veldproeven waren op zand en klei de opbrengst en N-opname bij ureum met respectievelijk 92,3 en 86,4 procent significant lager dan die van KAS. Op veengrond waren er geen verschillen. Er was geen significant verschil tussen de eerste en latere sneden.

In Noord Ierland was er geen verschil in N-opbrengst tussen ureum en KAS voor de eerste snede. Wel was er een significant effect van de neerslag kort na de bemesting. In de tweede snede waren de opbrengst en N-opname bij ureum met respectievelijk 97,4 en 95,2 procent significant lager dan bij KAS. In Engeland was de opbrengst van de eerste snede vergelijkbaar en in de tweede snede bij ureum met 91,1 procent significant lager dan van KAS. Er was geen effect van grondsoort en niveau van N-bemesting .

In een verdere analyse is uitgewerkt dat er voor de eerste snede binnen drie dagen na bemesten meer dan 6 mm neerslag moet vallen en voor de tweede snede meer dan 9 mm om met ureum dezelfde economische resultaten te halen als met KAS (prijs ureum Hfl 40,- en KAS Hfl 27,50 per 100 kg

product). Voor een Nederlandse melkveehouder is het dan voor de eerste snede eens in de 5 jaar en voor de tweede snede eens in de 7 jaar een interessante optie om ureum te gebruiken in plaats van KAS.

De resultaten van het in § 3.2 genoemde onderzoek van de Defra studie komen goed overeen met de literatuur. De N-opname op jaarbasis bij ureum was 89,2 % in vergelijking met AN en KAS. Er was een goede relatie tussen de gemeten N-verliezen uit ureum en de aanvullende N-gift die nodig was om dezelfde gewasopname te krijgen als bij AN. Voor ureum + nBTPT (Agrotain) concluderen de onderzoekers dat deze ureaseremmer de N-efficiëntie verbetert maar dat het resultaat inconsistent was en de lagere efficiëntie van ureum en de hogere NH₃-emissie ten opzichte van AN niet volledig opheft.

3.3.2 Ammoniakemissies

Het onderzoek naar ammoniakemissies en andere verliezen uit kunstmeststoffen is van belang voor het verkrijgen van een hoge N-benutting en voor het milieu. Wereldwijd is ureum de meest algemeen gebruikte N-meststof. In Engeland is er een toenemende belangstelling voor het gebruik van ureum. Ureum wordt, als de ureum in contact komt met de grond, over het algemeen snel gehydrolyseerd tot ammoniumcarbonaat ((NH₄)₂CO₃) door het urease-enzym. Vergelijkend onderzoek naar de ammoniakemissie uit ureum toont bijna altijd aanzienlijk grotere emissies uit ureum dan uit AN. De emissies zijn echter sterk variabel. De laagste emissies vinden plaats onder koude en natte omstandigheden. Nemitz et al. (2001) melden onder deze omstandigheden een emissie van 2%. Voor de hydrolyse is vocht nodig. Dit betekent dat de hoogste emissies uit ureum verwacht mogen worden als de ureum toegediend wordt aan een vochtige bodem onder warme en droge omstandigheden. (Harrison & Webb, 2001).

Naar verwachting zal een toename van het gebruik van op ureum gebaseerde meststoffen leiden tot hogere ammoniakemissies. Het gebruik van een ureaseremmer lijkt perspectief te bieden. Studies in Noord-Ierland (Watson, 2000) hebben aangetoond dat de ureaseremmer nBTPT werkt en een hoge potentie heeft om de ammoniakemissie te beperken bij het gebruik van op ureum gebaseerde kunstmeststoffen.

Bouwman et al. (2002) meldden de resultaten van 1600 metingen van de ammoniakemissie op basis van 148 onderzoeksrapporten. De emissie is uitgedrukt in emissiefactoren. De emissiefactor is het percentage van de totaal gegeven hoeveelheid N die verloren ging door ammoniakemissie.

De gemiddelde emissiefactoren waren:

- ureum 21%;
- ammoniumsulfaat 16%;
- ammoniumnitraat (AN) 6%; en
- KAS 3%.

Zij meldden dat hogere emissies gevonden werden

- in laboratoriumstudies dan bij veldmetingen;
- in upland cropping systems vergeleken met grasland;
- op gronden met een hoge pH (>8,5) of met een lage CEC (≤ 16 cmol kg⁻¹); en
- bij volvelds strooien dan bij inwerken.

Uit deze studie kwam geen duidelijke relatie naar voren tussen de NH₃-emissie en het niveau van de N-bemesting, de bodemtextuur en het gehalte aan organische stof.

In Tabel 3.4 zijn de ammoniakemissiefactoren gegeven die gehanteerd worden in de UK Ammonia

Emission Index (UKAEI) naar Dampney et al.,(2003) in de EU Emissions Inventory Guideliness (2003) naar Anonymus (2003) en de emissiefactoren gemeten in de Defra studie.

Tabel 3.4 Ammoniakemissiefactoren (in %) in Engeland (UKAEI = UK Ammonia Emission Index), in Europa (EUEIG (2003 = EU Emissions Inventory Guideliness 2003) en de gevonden emissiewaarden in dit onderzoek.

Meststof*	UKAEI grasland	UKAEI bouwland	EUEIG (2003) grasland	EUEIG (2003) bouwland	UK (2003) grasland	UK (2003) bouwland
U	23	11,5	23	11,5	25	17
U +Ag	-	-	-	-	14	14
UAS	-	-	-	-	19	-
UAN	8	8	12	6	-	14
AN	1,6	1,6	1,6	0,6	1	2
KAS	0,8	0,8	1,6	0,6	1	6

* U = ureum, U+Ag = ureum +Agrotain, UAS = ureumammoniumsulfaat, UAN = urean, AN = ammoniumnitraat, KAS = kalkammonsalpeter.

In de EUEIG (2003) hebben ammoniumsulfaat (AS) en NPK-meststoffen dezelfde lage emissiefactoren als AN en KAS. Hierbij geldt wel de volgende opmerking: Bij ammoniumsulfaat en ammoniumfosfaten dient de emissiefactor op gronden met een pH > 7 met een factor 10 te worden vermenigvuldigd. De resultaten van de Defra studie komen in grote lijnen overeen met de UK index en de EU richtlijn. Hoge emissies bij op ureum gebaseerde meststoffen en lage emissies bij AN en KAS.

3.3.3 Lachgas (N₂O)-emissies

Naast directe vormen van N₂O-emissies zijn er indirecte vormen. Een voorbeeld hiervan is de N₂O die vrijkomt als tussenstap bij nitrificatie en denitrificatie die plaats kan vinden na het toedienen van N-kunstmeststoffen.

Granli & Bøckman (1994) hebben de gemiddelde N₂O-hoeveelheden en de emissiefactoren (EF) van verschillende typen N-meststoffen uit 5 verschillende reviews samengevat. Zij concludeerden dat de EF's gewoonlijk tussen de 0,1 en 2 procent lagen. Er waren geen duidelijke verschillen tussen de meststofftypen met uitzondering van vloeibare NH₃ waarvoor hogere waarden gerapporteerd zijn. Echter het samenvoegen van de gegevens van alle beschikbare studies kunnen significante verschillen, die onder bepaalde omstandigheden optreden, verbergen.

Granli & Bøckman (1994) concludeerden dat de volgende situaties geassocieerd kunnen worden met hoge N₂O-verliezen (hoge EF's):

- Toedienen van op ureum of ammonium gebaseerde N-meststoffen onder gunstige omstandigheden voor N₂O-productie door nitrificatie of denitrificatie, bijvoorbeeld een vochtige maar wel doorluchte grond;
- Gebruik van nitraathoudende meststoffen in situaties waar gemakkelijk denitrificatie op kan treden, bijvoorbeeld een natte kleigrond; en
- Injectie van vloeibare (niet in water opgeloste) NH₃.

Harrison & Webb (2001) geven een gedetailleerd overzicht van emissies van verschillende typen N-meststoffen op basis van de literatuur tot 1998-1999. Ook zij constateerden dat hogere emissies op konden treden onder bepaalde omstandigheden en stelden een schema voor om de relatieve emissies

te schatten uit verschillende N-meststoffen (Tabel 3.5).

Tabel 3.5. Schema om relatieve N_2O -emissies te schatten van verschillende N-meststoffen (Harrison & Webb, 2001)

Vochtigheid van de grond	Relatieve emissie van nitraat- en ammonium-N		Relatieve emissie uit ureum	Opmerkingen
Droog	Laag	Nitraat $\cong$ ammonium	Ureum $\geq$ ammonium	Hydrolyse ureum beperkt
Nat	Hoog	Nitraat $>$ ammonium	Ureum $\gg$ ammonium	Hydrolyse ureum stijgt met temperatuur
Zeer nat	Hoog	Nitraat $\gg$ ammonium	Ureum $\cong$ ammonium	Hoge pH, geassocieerd met hydrolyse, wordt verspreid door vocht.

(Dobbie & Smith, 2003a) melden emissies uit AN oplopend tot 6,5%, met hoogste waarden op grasland onder zeer natte omstandigheden.

Velthof et al. (1998) hebben in 1993 en 1994 de N_2O -emissie gemeten op intensief beheerd grasland in Nederland van verschillende N-meststoffen en dunne rundveemest. De gift aan minerale N-meststoffen was 80 kg N per ha en aan dunne rundveemest 15 m³ per ha (ongeveer 45 kg minerale N per ha). De resultaten zijn gegeven in Tabel 3.6. De onderzoekers geven aan dat de drie meetperioden duidelijk aangeven dat veel meetperioden nodig zijn om een betrouwbaar beeld te krijgen. Dit geldt zeker voor de nitrificatieremmers. In maart/april 1994 was er een significant verschil. Dit werd niet gevonden in juni/juli van hetzelfde jaar.

Tabel 3.6. N_2O emissie van grasland na toedienen van verschillende N-meststoffen, totale regenval en gemiddelde bodemtemperatuur (5 cm diepte), voor drie meetperioden van 4 weken (Velthof et al., 1998).

Fertilizer	N_2O loss in % of N applied*		
	March 93	March/April 94	June/July 94
Kalkammonsalpeter	<0.1	5.2	8.3
Kalksalpeter	<0.1	5.2	12.0
Ammonium sulfaat	<0.1	0.2	1.0
Ammonium sulfaat +DCD		<0.1	1.0
Ureum	<0.1	<0.1	0.7
Dunne rundveemest	-	<0.1	<0.1
Totale regenval, mm	13	42	68
Gemiddelde bodemtemperatuur	6.0	8.2	16.0

* Percentage N_2O -N afkomstig van de N-meststof na aftrek van de N_2O emissie uit onbemest grasland.

De N_2O emissies waren onder natte omstandigheden veel hoger van NO_3 houdende meststoffen dan van de NH_4 houdende meststoffen en ureum. Dit geeft aan dat denitrificatie onder natte

omstandigheden een veel grotere bron is van N_2O emissie dan de nitrificatie. De N_2O emissie uit dunne rundveemest was per eenheid toegediende N onder natte omstandigheden lager dan uit KAS.

De resultaten van de Defra studie komen overeen met de literatuur: Onder natte omstandigheden aanzienlijk hogere N_2O emissies uit NO_3 houdende meststoffen dan uit de NH_4 houdende meststoffen en ureum.

3.3.4 Nitraatuitspoeling

Nitraat is uitspoelingsgevoelig. Na het toedienen van een nitraathoudende meststof en na de omzetting van ammonium in nitraat kan uitspoeling optreden afhankelijk van het weer en bodemomstandigheden. De snelheid van de omzetting is afhankelijk van bodemtemperatuur, vocht en pH. Dit kan ook worden vertraagd door het gebruik van nitrificatieremmers. Ook ureum is uitspoelingsgevoelig.

Nederland moet voldoen aan de Europese nitraatrichtlijn voor drinkwater. Om hieraan te voldoen wordt de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater gemeten. Deze mag maximaal 50 mg NO_3 per liter bedragen. Dit is 11,3 mg $\text{NO}_3\text{-N}$ per liter.

Nederland heeft een neerslag overschot van 300 mm per jaar. Dit neerslagoverschot treedt vooral op in de wintermaanden (oktober – maart) als de gewasopname en de gewasverdamping beperkt zijn. Daarom dient de hoeveelheid minerale N die in het profiel achterblijft aan het eind van het groeiseizoen beperkt te zijn. Deze minerale N kan afkomstig zijn van gemineraliseerde organisch N en minerale N uit dierlijke mest en kunstmest. $\text{NH}_4\text{-N}$ wordt in de bodem omgezet in $\text{NO}_3\text{-N}$. Ook na het bemesten in het (vroeg) voorjaar, als de gewasopname nog beperkt is, kunnen verliezen door nitraatuitspoeling plaatsvinden. Dit risico is het grootst bij het toedienen van nitraathoudende meststoffen. Het toedienen van een nitrificatieremmer (zie Hoofdstuk 7) kan dan perspectief bieden.

Bhogal (2004) geeft aan dat er in Engeland erg weinig onderzoek gedaan is naar uitspoelingsverliezen na het toedienen van verschillende N-meststoffen en de vorm waarin de N uitspoelt. Dit geldt ook voor Nederland. Als ureum en een ammoniumhoudende meststof omgezet zijn in nitraat zal er geen verschil in uitspoeling zijn, Maar als door (zware) neerslag er afspoeling optreedt of de drains gaan lopen voordat omzetting plaatsgevonden heeft kunnen er wel verschillen op gaan treden.

Uit laboratoriumproeven is gebleken dat ureum gevoeliger is voor uitspoeling dan ammonium, maar minder gevoelig dan nitraat. Sherwood & Fanning (1985) hebben substantiële verliezen gemeten aan niet gehydroliseerde ureum (tot 24% van de toegediende hoeveelheid) door afspoeling.

Het in de defra studie uitgevoerde onderzoek naar de hoeveelheid en de vorm waarin de N uitspoelt is vrij uniek. Geconstateerd is dat er geen verschil is in totaal uitgespoelde hoeveelheid N tussen de meststoffen AN, KAS, ureum en Ureum + Agrotain. Deze hoeveelheid varieerde van minder dan 1% tot minder dan 10% van de gegeven N. Wel; was er verschil in de vorm waarin de N uitspoelde. De uitgespoelde N was bij AN en KAS voor 95-99% aanwezig als nitraat. Bij ureum was dit 60-90 % en bij U+A 50-75%. Bij de laatste 2 was de overige uitgespoelde N voornamelijk aanwezig als ureum en gedeeltelijk ook als ammonium. Opgemerkt is dat het toevoegen van de ureaseremmer nBTPT of Agrotain het risico van ureumuitspoeling verhoogt.

3.4 *Samengevat*

De in dit Hoofdstuk uitgevoerde literatuurstudie naar het effect van het gebruikte type N-meststof op de gewasopbrengst, de N-opname en de N-verliezen kan als volgt worden samengevat:

- AN en KAS geven de hoogste gewasopbrengst en N-opname (N-benutting). Tussen deze beide meststoffen zijn er geen verschillen. De opbrengst bij het gebruik van ureum is 90 -95 procent en de N-opname 85 – 90% van die bij KAS of AN. U+A = Ureum + de ureaseremmer Agrotain (nBTPT) neemt met een N-opname van 90 -95 % van die van KAS of AN een tussenpositie in.
- De emissiefactor voor NH_3 is bij ureum (23-25%) aanzienlijk hoger dan bij AN en KAS (1-2%). De gemeten emissiefactor bij U+A was 14. U+A vertraagt de NH_3 -emissie tot 7 á 10 dagen na het toedienen. Als er in deze periode 10- 20 mm neerslag valt dan is de emissie bij U+A aanzienlijk lager dan bij U.
- De emissiefactoren voor lachgas (N_2O) op seizoensbasis zijn voor alle meststoffen laag (0,1 – 2,0%). Onder natte omstandigheden (poriën in de bodem voor 80-90% gevuld met water) is de N_2O -emissie vooral van nitraathoudende meststoffen aanzienlijk hoger dan van ammoniumhoudende of op ureum gebaseerde meststoffen. De N_2O -emissie bij nitraathoudende meststoffen kan dan oplopen tot 12% van de toegediende N.
- In het Engelse onderzoek was de totale hoeveelheid N die uitspoelde bij de verschillende meststoffen gelijk. De vorm waarin de N uitspoelde was wel verschillend. Bij AN en KAS was dit voor 95-99% als nitraat en bij U en U+A voor 60 -75 % als nitraat en verder overwegend als ureum.

AN en KAS geven de hoogste opbrengst en N-opname en de laagste NH_3 -emissie, maar hebben onder natte omstandigheden de hoogste N_2O -emissie en nitraatuitspoeling. Het risico in Nederland hiervan is het hoogst bij toedienen van nitraathoudende meststoffen in het (vroeg) voorjaar. Het gebruik van ammoniumhoudende meststoffen en het toevoegen van een nitrificatieremmer kunnen in deze periode perspectief bieden.

4 Toedieningsvorm en toedieningstechnieken

4.1 Algemeen

Voor het toedienen van kunstmest en drijfmest zijn meerdere technieken beschikbaar. Bovengronds breedwerpig verspreiden is een algemene vorm voor korrelmeststoffen, waaronder de meest gebruikte soort (KAS). Breedwerpig kan zowel centrifugaal, met luchtondersteuning (pneumaat) als met een pendel. Het verspreidingsbeeld bij deze wijze van toediening is, behalve bij de pneumaat, echter niet scherp begrensd. Dit betekent dat moet worden gereden met enige overlap, om het verspreidingspatroon egaal te krijgen. Overlap betekent in de praktijk echter kans op te veel (of te weinig) kunstmest op delen van het perceel. Met name onregelmatig gevormde percelen en gerende percelen geven meer aanleiding tot overlap en een ongelijkmatige verdeling. Met een pneumaat met vaste werkbreedte zijn korrels nauwkeuriger toe te dienen. De werkbreedte van deze machine is echter gering en de kosten zijn hoger dan van de andere korrelstrooiers.

Naast deze bovengrondse toediening kan de meststof ook verspoten worden met een veldspuit (bladbemesting). Deze methode is alleen toepasbaar bij vloeibare meststoffen.

In het buitenland wordt deze methode vaak toegepast in de akkerbouw voor het verspuiten van urean. In Nederland en met name op grasland wordt deze methode nauwelijks toegepast, omdat de toediening duurder is dan KAS en er makkelijk schade op kan treden door bladverbranding. De prijs van de vloeibare meststof is variabel en soms hoger dan die van KAS.

De laatste jaren zijn ook voor kunstmeststoffen andere methoden van toediening ontwikkeld, waarbij dan steeds met een vloeibare meststof wordt gewerkt. Andere methoden zijn injectie via bijvoorbeeld een spaakwielbemester, maar ook puntinjectie onder hoge druk kan worden toegepast.

Methoden waarbij een machine een vaste werkbreedte heeft en het verspreidingspatroon een duidelijke scheidslijn heeft zijn nauwkeurige methoden in ruimtelijke zin. De nauwkeurigheid hangt nu vooral af van de verdeling over de elementen. Is deze over de gehele breedte gelijk en hoe nauwkeurig kan de dosering per element worden ingesteld. Daarnaast is een constante verdeling in de rijrichting belangrijk. Dit hangt af van de pompcapaciteit, die een evenredige toevoer moet verzorgen over alle elementen, maar ook in de tijd.

Ook de fijnmazigheid van de verdeling (afstand tussen de injectiepunten) kan van invloed zijn op het resultaat.

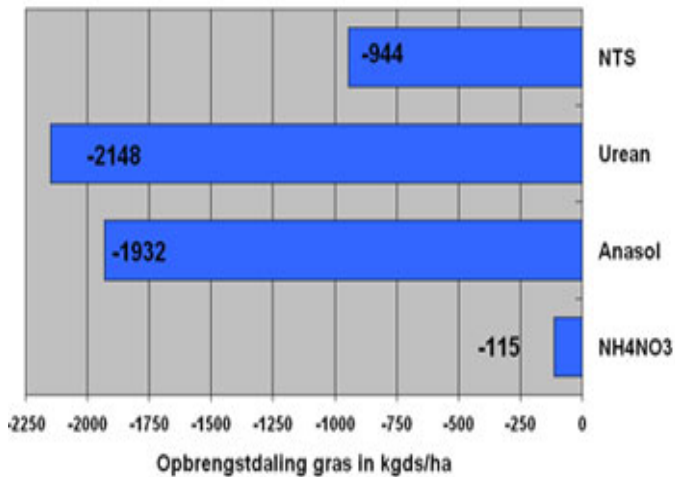
4.2 Overzicht proeven (2007-2009)

De laatste jaren zijn ook in Nederland een aantal proeven gedaan met vloeibare N-kunstmest, veelal in de vorm van ammoniumnitraat (is min of meer te beschouwen als de vloeibare vorm van KAS).

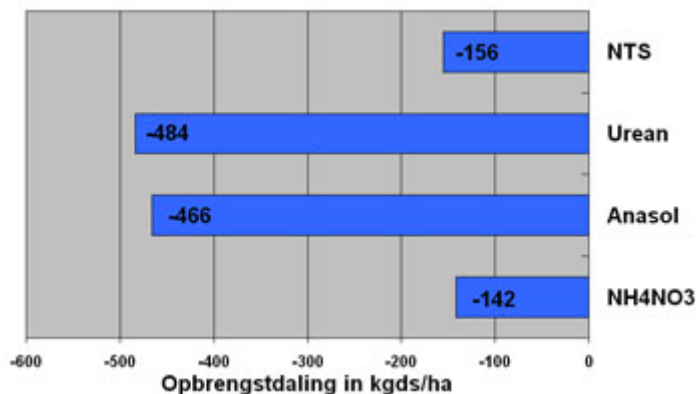
Altic heeft in 2008 een vergelijkend onderzoek gedaan naar de opbrengst bij het toedienen van KAS en diverse vloeibare meststoffen. De gebruikte vloeibare meststoffen zijn:

1. NTS 27-7,5: (27 % N, waarvan: 13 % Ureum-N, 8 % Ammonium-N, 6 % Nitraat-N en 7,5 % SO₃);
2. Urean: 30% N, mengsel van ammonium nitraat en ureum;
3. Anasol: 15.6 % N en 5-6 % S: mengsel van ammonium nitraat en ammonium sulfaat; en
4. Ammoniumnitraat, 18% N.

De werking van de meststoffen is over 4 sneden bepaald. De N-giften waren respectievelijk 100 kg N, 70 kg N, 60 kg N en 40 kg N per snede. De mogelijke verschillen door zwavel zijn ondervangen door alle objecten met een extra zwavelgift op het zelfde niveau te krijgen. De resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in onderstaande figuren. Figuur 4.1 geeft de totale opbrengst over 4 sneden weer en Figuur 4.2 de opbrengst van alleen de eerste snede. (bron: <http://www.nutrinorm.nl/nl-nl/Kennisbank/Nieuws/Grasland-Nieuws/Minder-gras-met-vloeibare-meststoffen.aspx>).



Figuur 4.1. Opbrengstverschillen, cumulatief over 4 sneden, bij spaakwielinjectie van vloeibare meststoffen op zandgrasland ten opzichte van KAS (kg ds per ha).

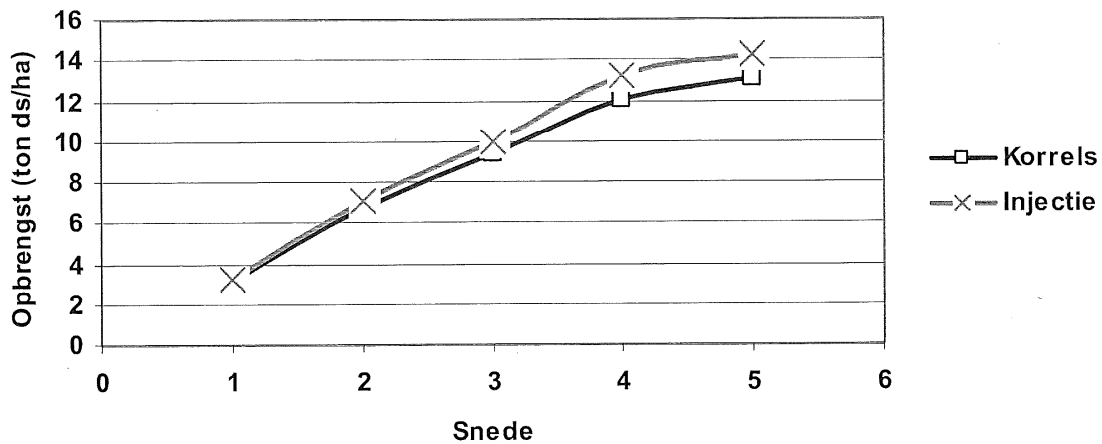


Figuur 4.2 Opbrengstverschillen in de eerste snede bij spaakwielinjectie van vloeibare meststoffen op zandgrasland ten opzichte van KAS (kg ds per ha).

De proef van Altic gaf aan dat het gebruik van een vloeibare meststof op zand in 2008 bij alle gebruikte meststoffen tot een lagere opbrengst leidde dan het gebruik van KAS. Er werden in het onderzoek geen verklaringen genoemd voor het verschil.

Proeven van De Boer (2007 t/m 2009) zijn uitgevoerd op zand en klei. De vloeibare meststoffen zijn toegediend met de spaakwielbemester. De proef in 2007 vormt de eerste in een reeks van 3 jaar onderzoek naar de werking van vloeibare N- meststoffen op grasland in vergelijking met de korrelmeststof KAS. De proef is in aangelegd op aan zeer vruchtbare es op zandgrond. In 2007 zijn de jaaropbrengsten van KAS vergeleken met de jaaropbrengsten van vloeibare ammoniumnitraat. De proef is aangelegd bij 3 N-jaarniveau's. De hier weergegeven resultaten hebben betrekking op het jaarniveau

van 190 kg N per ha. De afstand van de spaakwielen (sportveldmachine) bedroeg 15 cm. De spaken hadden een lengte van 5 cm (injectiediepte). In dit eerste proefjaar gaven de objecten met vloeibare ammoniumnitraat duidelijk hogere opbrengsten dan de objecten met KAS (14.3 ton ds per ha per jaar vs. 13.1 ton ds per ha per jaar). Dit is weergegeven in Figuur 4.3.



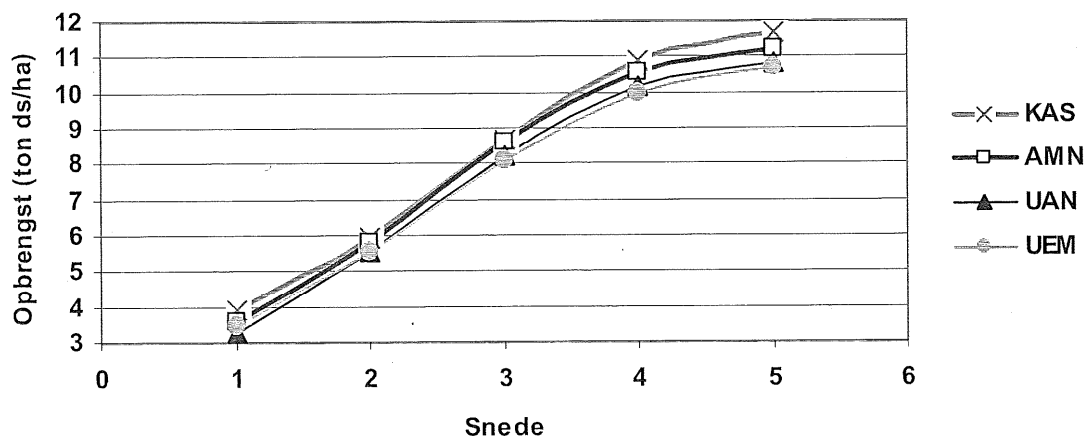
Figuur 4.3 Cumulatieve droge stofopbrengst van grasland op zandgrond bemest met KAS en vloeibare ammoniumnitraat in 2007 (H. de Boer).

Ook de ruw eiwitproductie van de ammoniumnitraat objecten lag 0,4 ton per ha hoger dan die van de KAS objecten. Opvallend was, dat de grootste verschillen werden gemeten in de tweede (28%) en met name vierde snede (42% meer ten opzichte van KAS). De maanden mei t/m juli waren in 2007 natter dan normaal en juist onder deze omstandigheden werden de hogere opbrengsten bij de geïnjecteerde ammoniumnitraat behaald. Er is geen duidelijke verklaring voor dit verschil in werking.

In 2008 is in een veldproef de werking van 3 vloeibare N meststoffen op grasland vergeleken met KAS. De proef is aangelegd op kleigrond, om te onderzoeken of het positieve resultaat uit 2007 mogelijk grondgebonden is geweest. Naast verandering in grondsoort zijn 2 andere vloeibare N- meststoffen in het onderzoek opgenomen. Het N-niveau was 190 kg N per ha per jaar. De onderzochte meststoffen waren:

- KAS (27% N);
- Ammoniumnitraat (vloeibaar, 18% N);
- Urean vloeibaar (30% N); en
- Ureum vloeibaar (18% N).

De resultaten in 2008 weken sterk af van die in 2007. De droge stofopbrengst is weergegeven in Figuur 4.4. KAS gaf zowel de hoogste jaaropbrengst (11,7 ton ds per ha per jaar) als de hoogste eiwitopbrengst (1,8 ton ruw eiwit per ha per jaar). De ammoniumnitraat objecten hadden respectievelijk 4% (ds) en 9% (ruw eiwit) minder opbrengst dan de KAS objecten. Urean deed het 7% respectievelijk 14% minder. Bij Ureum was dit 8% respectievelijk 16%.



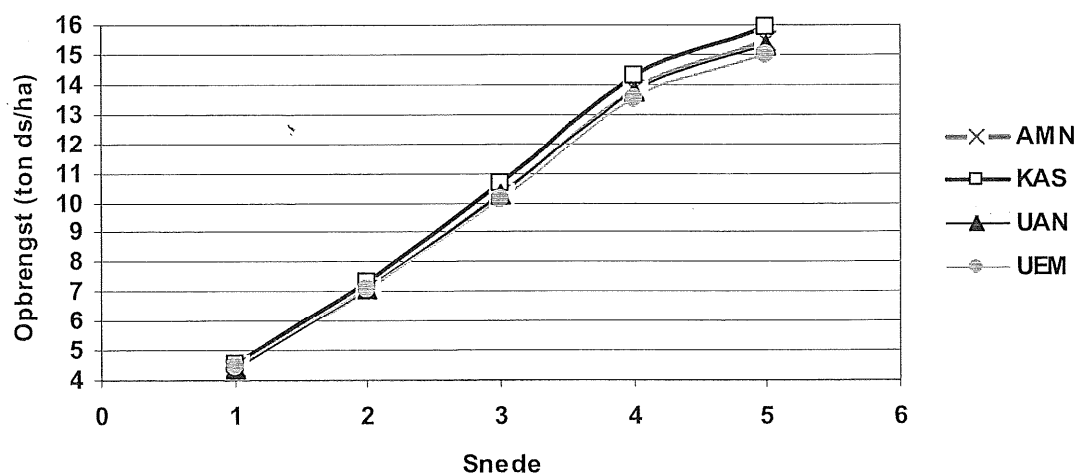
Figuur 4.4 Cumulatieve droge stofopbrengst van grasland op kleigrond bemest met KAS en de vloeibare N-meststoffen ammoniumnitraat, urean en ureum in 2008 (H. de Boer).

Opvallend was dat de ammoniumnitraat en urean in de tweede snede, onder droge omstandigheden hogere opbrengsten gaven dan KAS, in tegenstelling tot 2007, toen er geen verschillen in de eerste snede onder droge omstandigheden zijn gemeten. Het verschil werd echter in de vierde en vijfde snede ruim gecompenseerd door KAS.

In 2009 zijn de volgende meststoffen vergeleken op een vochthoudende zandgrond (NLV 225, pH 5.5):

- KAS (27% N);
- Ammoniumnitraat (vloeibaar, 18% N);
- Urean vloeibaar (30% N); en
- Ureum vloeibaar (18% N).

De werking is steeds per snede en cumulatief bekeken bij 3 N-jaarniveau's. De in Figuur 4.5 gegeven resultaten hebben betrekking op een jaarniveau van 190 kg N per ha. In het onderzoek is geen statistische test weergegeven. De verschillen in droge stofopbrengst zijn maximaal 5% op jaarbasis.

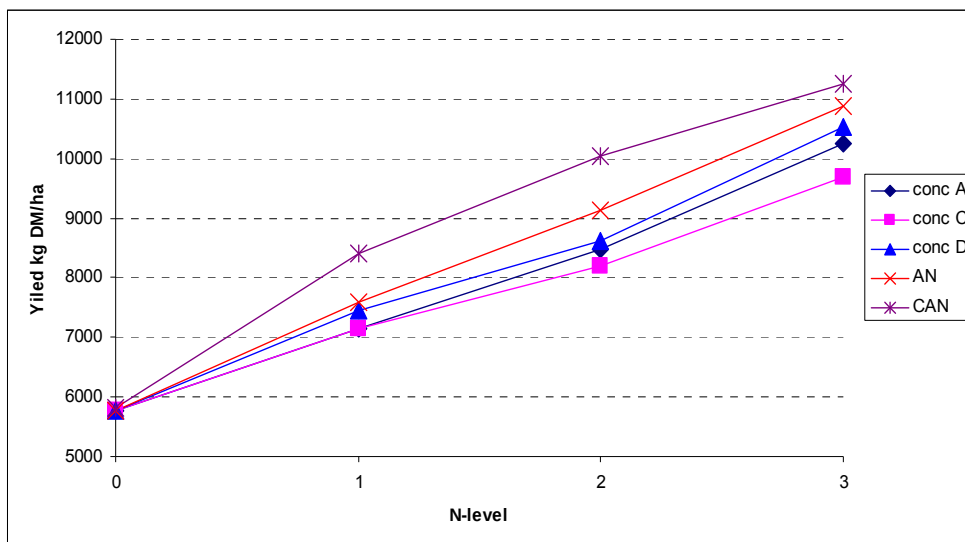


Figuur 4.5 Cumulatieve droge stofopbrengst van grasland op zandgrond bemest met KAS en de vloeibare N-meststoffen ammoniumnitraat, urean en ureum in 2009 (H. de Boer).

De beste opbrengst is behaald bij KAS (15.9 ton ds per ha). Ureum haalde de laagste jaaropbrengst (15 ton ds per ha per jaar. Dit is 5% minder dan KAS). Ammoniumnitraat haalde 3% minder opbrengst dan KAS en Urean 4%. De ruw eiwit opbrengst van de vloeibare meststoffen was echter duidelijk (7 tot 10% lager) lager dan die van KAS. De verschillen met KAS waren in de eerste en vierde snede het kleinst. Er is geen duidelijke oorzaak van de verschillen gevonden.

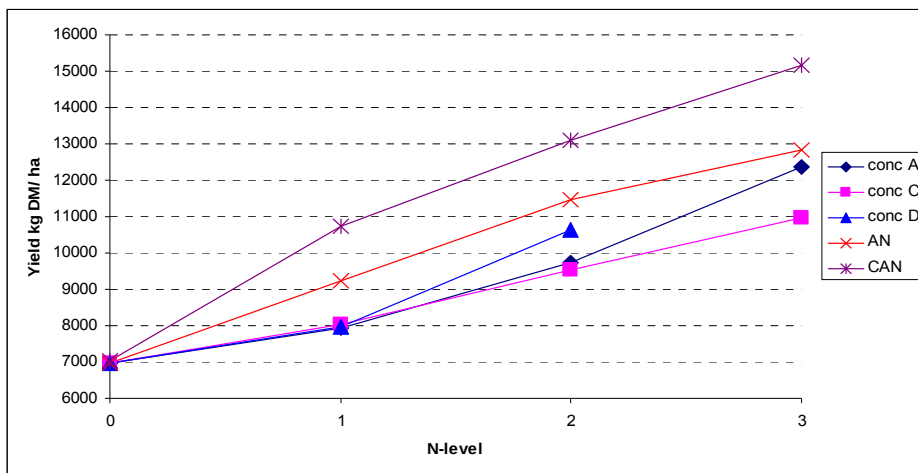
In 2009 en 2010 is op 2 locaties (grondsoorten) een vergelijking uitgevoerd tussen KAS en o.a. vloeibare ammoniumnitraat. In deze tweejarige bemestingsproef (Velthof et al. 2009, Middelkoop & Holshof, 2011 in prep.) blijft de werking van de geïnjecteerde ammoniumnitraat ook achter bij die van KAS. In deze proef is geen gebruik gemaakt van een spaakwielbemester, maar van een aangepaste proefveldmachine, die de mest toedient via een kouter en een slang. De kouter maakt een gleufje van 5 cm diep, waarna de vloeistof via de slang in het gleufje loopt. De kouterafstand bedroeg 18 cm.

Er zijn 3 sneden bemest. De jaargift waren 100, 200 en 300 kg N verdeeld over 3 sneden. Bij 300 N waren de giften per snede respectievelijk 120, 90 en 90 kg N. De andere jaargiften zijn evenredig over de sneden verlaagd. De jaaropbrengsten 2009 bij 300 kg N per ha zijn weergegeven in Figuur 4.6. (zand) en Figuur 4.7 (klei).



Figuur 4.6 Droge stofopbrengst (jaar) op zandgrasland bemest met ammoniumnitraat (AN), KAS (CAN) en 3 mineralen concentraten in 2009 (Velthof & Van Middelkoop)

Uit beide figuren is af te lezen dat de opbrengst bij vloeibare ammoniumnitraat en van de mineralenconcentraten achter blijft bij die van KAS. Het verschil op klei was aanzienlijk groter dan op zand. De totale opbrengsten op klei waren bij gelijke N gift hoger dan op zand.



Figuur 4.7 Droge stofopbrengst (jaar) op grasland op kleigrond bemest met ammoniumnitraat (AN), KAS (CAN) en 3 mineralen concentraten in 2009 (Velthof & Van Middelkoop).

De N opbrengsten van KAS waren in 2009 bij gelijke jaargift significant hoger dan die van AN en de concentraten. De AN stikstofopbrengsten waren hoger dan die van de concentraten, maar het verschil was klein.

In 2010 lag het opbrengstniveau van alle objecten hoger dan in 2009. De onderlinge verschillen waren echter nauwelijks gewijzigd ten opzichte van 2009. De KAS objecten hadden een significant hogere opbrengst aan drogestof en N dan de andere objecten. AN werkte in 2010 duidelijk minder dan KAS. De werking van AN kwam in 2010 op zowel zand als klei ongeveer overeen met de werking van de mineralenconcentraten.

4.3 Nauwkeurigheid verdeling en mogelijke verfijning

4.3.1 Vloeibare meststoffen

Uit § 4,2 blijkt dat de werking van vloeibare AN in vergelijking met de korrelmeststof KAS over het algemeen tegenviel. Over de oorzaak van de wisselende en lagere werking van de vloeibare meststoffen is veel gesproken. Een reden voor de lagere werking zou bijvoorbeeld het snij-effect van de machine kunnen zijn. In 2010 is, door ook een KAS object te snijden, bekeken of het inwerken (snijden) met de injecteur deze lagere werking kan hebben veroorzaakt. De resultaten tonen dit effect echter niet aan.

Bij een discussie met internationale onderzoekers is de aandacht gevestigd op een mogelijk effect van de ruimtelijke verdeling. De korrels worden immers goed verdeeld over het totale oppervlak, terwijl de vloeibare meststoffen op grotere afstand van elkaar worden geplaatst. Uit de literatuur is hierover weinig bekend. Een andere mogelijkheid is, dat de vastlegging in de bodem op een andere wijze plaatsvindt.

Niet gepubliceerde proeven met een puntinjecteur op een voetbalveld gaven de beste werking bij een 10x10 cm raster (Gert R.J. Smit 2010 persoonlijke mededeling). De werking bij 15x15 en 5x5 was significant minder

Het onderzoek is heel beknopt en niet gepubliceerd. Het betreft enkele vierkante meters gras waar in maart 2009 met verschillende rasters vloeibaar kunstmest is geïnjecteerd. De rasters waren 5 maal 5, 10 maal 10, 15 maal 15 en 20 maal 20 in centimeters.



Figuur 4.8. Foto resultaat bemesting als puntinjectie met een 10x10 cm raster op een sportveld

Door het grote kleurverschil kon in één oogopslag worden gezien welk gras het meest regelmatig groeide. Het bijzondere daarbij was dat het in de drie weken die verliepen tussen het moment van injectie en beoordeling niet heeft geregend. Ook is er niet berekend.

De foto toont een kwadrant van 1 m² gras. In deze vierkante meter gras is omgerekend 37 kg N per ha gegeven in de vorm van 100 injecties. Het gras er omheen is bemest met omgerekend 56 kg KAS per ha. Op de site <http://www.klep-agro.nl/uploads/GreenkeeperKlep.pdf> wordt naar het onderzoek verwezen.

De afstand tussen de kouters (of andere elementen die de mest inbrengen) is bij practijkmachines vaak groter. De minimum wettelijke afstand bedraagt 15 cm. Bij de in de proeven gebruikte spaakwielbemester stonden de spaakwielen op 15 cm van elkaar. Bij practijkmachines is dit 25 cm. Bij de spaakwielbemester komt daar nog eens de verdeling in de lengterichting, de afstand tussen de tanden op 1 wiel, bij. Deze bedraagt in de praktijk 15 - 18 cm.

De afstand van de kouters in de concentratenproef van Velthof et al. was 18 cm. Bij practijkmachines voor drijfmest met kouters of (sleep)slangen is de afstand 20 tot 25 cm. Bij het gebruik van vloeibare meststoffen op grasland zal, mogelijk per meststof, een optimale verdeelafstand horen.

Nader onderzoek naar een optimale ruimtelijke verdeling is nodig om de werking van vloeibaar toegediende N-meststoffen te verbeteren.

4.3.2 Korrelmeststoffen

Het risico van korrelmeststoffen is het ontstaan van strooibanen door een niet gelijkmatige verdeling en door overlap van de strooibanen. Vooral bij gerende percelen is het moeilijk de korrels gelijkmatig over het veld te verdelen. Door een niet goed afgestelde kunstmeststrooier en onzorgvuldig rijden is het ook mogelijk dat een deel van de korrels buiten het perceel, bijvoorbeeld in een sloot, terecht komt.

De eerste stap voor een efficiënter gebruik van korrelmeststoffen is nauwkeurig rijden met een goed afgestelde kunstmeststrooier (VC < 15 procent) en het gebruiken van kantstrooiapparatuur. Daarbij is het belangrijk dat bij korrelstrooiers de strooibanen elkaar correct overlappen. Steeds meer trekkers worden of zijn uitgerust met een navigatie systeem. Op basis van GPS kunnen zij erg nauwkeurig werk uitvoeren. Zo kan met het strooien van kunstmest dusdanig worden gereden dat de overlap minimaal is en geen dubbele strooibanen ontstaan. In de laatste generatie systemen stuurt de trekker zelfs automatisch naar de goede strooibaan.

In het veenweide gebied, met lange smalle percelen, is goed strooien met een schijven- of pendelstrooier moeilijk uitvoerbaar. Dit is wel mogelijk met de duurdere pneumatische strooier.

De praktijk besteedt vaak onvoldoende aandacht aan een juiste overlapping van de strooibanen. Het praktische uitvoeringsaspect van goed bemesten met kunstmest verdient daarom veel meer aandacht in de praktijk. De benutting van de gegeven kunstmeststoffen kan daardoor nog aanzienlijk worden verbeterd.

4.4 Toekomst

4.4.1 Vruchtbaarheidsverschillen binnen een perceel

Satellietbeelden kunnen opbrengstverschillen binnen een perceel (digitaal) weergeven. Op basis van deze beelden kan een digitale strooikaart worden gemaakt waarmee het mogelijk is om binnen een perceel de gift plaatselijk te variëren.

In 2006 zijn binnen het project 'Geologisch' ervaringen opgedaan met deze vorm van precisiestrooien. Op twee graslandpercelen zijn uitvoerig bodemonmonsters genomen in deelvakken binnen het perceel waar de veehouder afwijkende opbrengsten had geconstateerd. Ook zijn op basis van satellietbeelden delen van de percelen onderscheiden, waarop een verschillende bemesting gewenst was. Op basis van de bodemanalyses, die in dit onderzoek vooral waren gericht op de N levering, is de N gift in de betreffende vakken aangepast. Met deze gegevens is een strooikaart gemaakt.

Het bleek in de praktijk niet eenvoudig om deze vakken ook daadwerkelijk goed te strooien. De gebruikte centrifugaalstrooier had een bereik van 48 meter, dat verkleind kon worden tot 24 meter. Op basis van de strooikaart is gestrooid, waarbij de hoeveelheid automatisch werd aangepast. Het was niet mogelijk met deze strooier scherp te bemesten op de grenzen van de vakken, waardoor gedeelten van het perceel teveel en andere delen juist te weinig meststof kregen. Voor precisiestrooien is het noodzakelijk dat de machine ook precies kan strooien met individueel bestuurbare toedieningselementen. Een pneumatische kunstmeststrooier zou hiermee kunnen worden uitgerust. Bij vloeibare meststoffen is het dan gewenst dat de spaakwielen of kouters (Velthof et al.) individueel gedoseerd kunnen worden.

In 2007 is gekeken hoe de opbrengst zich ontwikkelt op delen van een perceel waar volgens de satellietbeelden minder zou staan. In dat jaar heeft op deze vakken geen aangepaste bemesting plaatsgevonden. Er bleken geen opbrengstverschillen te bestaan tussen delen van een perceel die gelijk bemest werden, maar waar volgens satellietbeelden minder zou moeten groeien. Verdere verfijning is noodzakelijk omdat er meerdere oorzaken (structuurbederf, andere tekorten) dan een N tekort mogelijk zijn (<http://precisielandbouw.web-log.nl/precisielandbouw/geologisch/index.html> en <http://www.wiski.nl/geologisch2.pdf> en http://www.livestockresearch.wur.nl/NL/nieuwsagenda/archief/nieuws/2007/Wat_heeft_1_jaar_GEOlogisch_op_drie_veehouderijbedrijven_in_Flevoland_gebracht.htm).

4.4.2 Dynamisch bemesten

In 2008 is in het kader van het project 'Geologisch' gekeken naar de effecten van aangepast bemesten, met de focus op stikstof. De resultaten zijn beschreven door H. de Boer (2010).

De proef is opgezet volgens het dynamisch bemesten, als principe vergelijkbaar met dynamisch voeren, volgens dynamisch lineair modelleren (DLM) technieken (G. Andre, in prep), <http://www.kennisonline.wur.nl/KB/KB-04/001/046/beschrijving.htm>.

In het kort komt het er op neer dat de bemesting afhankelijk wordt van de respons. Bij voeren is dit dagelijks te bepalen (dagelijkse krachtvoer- en melkgiften). Bij bemesten is deze bepaling veel minder frequent. Een bemesting wordt slechts aan het begin van de groei van een snede gegeven.

Bij bemesten op maat kunnen 2 vragen worden gesteld:

- Ga ik afwijkende delen die meer N zouden moeten hebben om goed te presteren belonen met extra N; of
- Ga ik afwijkende delen die toch minder presteren juist korten op N gift.

In de proef van H. de Boer is voor beide strategieën gekozen, op basis van opbrengstverhoudingen uit de voorgaande snede.

Het concept is getest op een zandgrond, op zes verschillende percelen bij één veehouder. Er zijn 5 bemesting strategieën getest (A t/m E). Er waren 3 N-niveau's: 120, 240 en 360 kg N per ha per jaar. Strategie A is de standaard bemesting (advies) zonder correcties op basis van voorgaande opbrengsten. Bij alle andere strategieën is de N bemesting na de eerste snede aangepast aan de opbrengstverhouding van het betreffende object (B t/m E) ten opzichte van de gemiddelde opbrengst van alle objecten van de voorgaande snede.

Bij strategie B kreeg het object vervolgens een proportioneel hogere N bemesting en bij strategie D was deze verhoging 50% van die bij B.

Andersom aanpassen vond ook plaats: bij strategie C kreeg het object juist een proportioneel lagere bemesting en bij strategie E bedroeg deze verlaging weer 50% van die van C.

De effecten van de aanpassingen hebben in de proef niet tot significante verbeteringen veranderingen geleid. Er was geen verschil in droge stofopbrengst, maar ook geen verschil in N opbrengst, terwijl bij een hogere N jaargift een hogere N opbrengst verwacht mag worden. De auteur geeft aan dat de verschillen mogelijk verklaard kunnen worden uit

1. te weinig variatie tussen de velden; en
2. te veel tijd tussen meten van gewasrespons en aanpassen N gift.

Voorwaarde bij toepassen van de genoemde methode is dat de gewasopbrengst nauwkeurig zal worden bepaald. In de praktijk zullen de verschillen namelijk marginaal zijn en slechts zelden meer dan een ton drogestof bedragen. Ze zijn daardoor visueel moeilijk te schatten.

Het concept heeft binnen deze proef niet tot verbeterde resultaten geleid. Bij verbeterde analyse technieken (detail bodeminformatie binnen een perceel) en een mogelijkheid tot een preciezere schatting van de actuele opbrengst kan het concept in de toekomst mogelijk wel perspectief gaan bieden.

4.5 Toedieningstechniek in snijmaïs

Maïs wordt in rijen gezaaid, veelal met een rij-afstand van 75 cm.

Naast volvelds gegeven dierlijke mest wordt de N als kunstmest vrijwel uitsluitend toegediend in de rij.

De stikstof kan worden gegeven als een zuivere N-meststof, maar ook als een samengestelde meststof, bijvoorbeeld een NP-meststof met borium. Door de stikstof dichtbij de rij te plaatsen verbetert de werking ervan met 25 procent.

Een ontwikkeling die in de toekomst naar verwachting een grote vlucht zal nemen is het toedienen van de dierlijke mest in de rij. De benutting van de stikstof uit de mest kan daardoor nog aanzienlijk verbeteren. Momenteel vindt de toediening van mest in de rij veelal gelijktijdig plaats met het zaaien van de maïs. Het knelpunt van deze methode is de capaciteit: het aantal ha dat in een beperkte tijd op deze wijze kan worden bemest en gezaaid.

Een veel belovende methode is het toepassen van GPS. Met GPS wordt de mest eerder toegediend en op een later tijdstip de maïs gezaaid. In veel gevallen zal een aanvullende bemesting met stikstof, kali en zwavel nodig zijn. De vraag is dan of bij het toedienen van mest in de rij met behulp van GPS de aanvullende N bij het zaaien van de maïs verantwoord in de rij kan worden gegeven of dat de kunstmest-N dan te dicht bij de mest terechtkomt, waardoor extra denitrificatie op kan treden.

4.6 Samenvatting

Op grasland kunnen korrelmeststoffen en vloeibare meststoffen worden toegepast. Hoewel KAS de meest gebruikte N-meststof is, vindt ook bemesting plaats met vloeibare N-meststoffen als NTS en Anasol met behulp van de spaakwielmeststof. Ook mineralenconcentraten worden met behulp van een proefveldmachine als vloeistof toegediend.

In vergelijkend onderzoek van de korrelmeststof KAS en vloeibare N-meststoffen gaf KAS vrijwel steeds een significant hogere opbrengst aan drogestof en N dan vloeibaar AN, andere als vloeistof toegediende N-meststoffen en mineralenconcentraten. Nader onderzoek naar bijvoorbeeld effecten van ruimtelijke verdeling en grondsoort is nodig om de gevonden verschillen te verklaren.

Bij de huidige stand van het onderzoek wordt de hoogste N-benutting gerealiseerd met een nauwkeurig gestrooide korrelmeststof. Hierbij past het gebruik van een goed afgestelde kunstmeststrooier en van de benodigde kantstrooiapparatuur. Door het gebruik van GPS is de nauwkeurigheid van de verdeling en daarmee het toedienen van de juiste hoeveelheid meststof op de juiste plaats nog aanzienlijk te verbeteren.

Bij de bemesting van snijmaïs zal het toedienen van mest in de rij naar verwachting een grote vlucht nemen. Door het toepassen van GPS hoeft het toedienen van de mest en het zaaien van de maïs dan niet meer gelijktijdig plaats te vinden.

5 Fysische aspecten

5.1 *Mengen van meststoffen*

In de vorige hoofdstukken is al aangegeven dat er vaste en vloeibare meststoffen te gebruiken zijn. Dit waren steeds enkelvoudige meststoffen, soms met toevoeging van een andere element (Mg, S).

In deze paragraaf is voor korrelmeststoffen en vloeibare meststoffen nagegaan in hoeverre het maken van mengsels vanuit enkelvoudige meststoffen mogelijk is en welke knelpunten er zijn,.

Bij korrelmeststoffen bestaat de mogelijkheid tot het maken van een blend. Dit zal echter in praktijk al in de fabriek, dan wel bij de tussenhandelaar/verkoper gebeuren. Een vertegenwoordiger kan bij een veehouder afspraken maken over de gewenste samenstelling, eventueel ook aan de hand van grondmonsters en de samenstelling van de drijfmest. Nadeel van het 'los' mengen van verschillende korrelvormen is de grote kans op ontmengen. Zo zijn de korrels van KAS groter en regelmatigiger dan bijvoorbeeld de korrel van Kali 60. Voor een goede verdeling van de verschillende componenten van een blend worden dus eisen gesteld aan korrelvorm en korrelgrootte. Hiertoe zijn Kemistar building blocks ontwikkeld. Alle korrels hebben dezelfde grootte en vorm. Er zal dan geen ontmenging optreden en een gelijkmatige verdeling over het veld plaatsvinden. Deze methode is echter relatief duur. Ook is het natuurlijk mogelijk om 'op het erf' bijvoorbeeld KAS met Superfosfaat te mengen, maar omdat dit in de praktijk tegenvalt (in de strooibak kan slecht gemengd worden en het ontbreekt aan andere middelen om te mengen), zal dit niet of slechts beperkt plaatsvinden.

Er bestaan diverse mengmeststoffen af fabriek. Bekend zijn de NPK, NP, NS en PK meststoffen die in bepaalde verhouding kunnen worden aangekocht. De verhoudingen zijn afgestemd op de mate waarin het gewas de nutriënten N, P en K nodig heeft. Bij afwijkende bodemvoorraden past een vaste verhouding soms niet en zal bijgestrooid moeten worden met een enkelvoudige meststof.

Er zijn naast korrelmeststoffen ook vloeibare vormen beschikbaar van N en P meststoffen. Hoewel er niet direct een vloeibare kalimeststof beschikbaar is, lossen kalizouten goed op in water. Bij vloeibare meststoffen is de kans op ontmenging klein,.

Maar niet alle vloeibare nutriënten zijn te mengen. Palgrave (2005) geeft een goed overzicht van de mogelijkheden en problemen rondom het oplossen van meerdere meststoffen tot één blend. Door verschillende meststoffen in één oplossing te brengen, beïnvloeden deze stoffen elkaar betreffende de oplosbaarheid. Het is in de praktijk dus niet mogelijk om alle elementen (N, P en K) en elke hoeveelheid met elkaar te mengen. Een theoretische meststof met 50% N, 20% P en 20% K zal in de praktijk niet op te lossen zijn. Daarnaast beïnvloeden temperatuur, pH en druk de oplosmogelijkheden. Onder hoge druk is meer oplosbaar, maar daardoor wordt bijvoorbeeld transport en opslag complexer, omdat er aangepast materiaal nodig is.

Het nadeel van het strooien van een blend of het als vloeistof toedienen van een mengsel van nutriënten is dat niet elk perceel voor elk element optimaal bemest kan worden bemest. De verschillen in bodemanalyses tussen percelen en daarmee de verschillen in geadviseerde gift zijn vaak groot. Als bijvoorbeeld een blend gemaakt wordt voor drie percelen en het ene perceel heeft een toestand laag, het tweede perceel een toestand voldoende en het derde perceel een toestand hoog, dan krijgt het perceel met de lage toestand te weinig en met de hoge toestand teveel. Gemiddeld wordt er goed bemest. Maar de voorziening op het perceel met de lage toestand blijft te laag en de toestand op het

hoge perceel zal verder stijgen.

5.2 Opslag en transport

Voor opslag en transport gelden voor vloeibare meststoffen andere eisen dan voor korrelmeststoffen. Vloeibare meststoffen worden getransporteerd per tankwagen en zijn daarom minder geschikt om als kleine hoeveelheid aan te kopen. Het is uiteraard mogelijk om kleinere hoeveelheden aan te kopen in 25 litervaten, maar dit is wel duurder.

Dit betekent dat, op bedrijven die kiezen voor vloeibaar, de voorraad voor het hele seizoen in 1 keer moet worden aangekocht en opgeslagen. Voor de opslag is een tank nodig, waarvoor strengere eisen gelden dan voor het opslaan van korrels in bulk of als zakgoed. Vloeibare meststoffen geven sneller corrosie, maar bij het juiste gebruik en op tijd schoonmaken is dit geen groot nadeel ten opzichte van korrels.

Bladverbranding met vloeibare meststoffen kan alleen optreden bij het verspuiten op het blad of bij het toedienen van extreem grote hoeveelheden in de grond. Bij de nieuwe toedieningstechnieken (spaakwielbemester, kouters) wordt de meststof niet op het blad maar in de grond aangebracht. Waar vroeger dit argument vaak werd aangevoerd, heeft bij de in Hoofdstuk 4 genoemde proeven verbranding gespeeld.

5.3 Toepassingen op bedrijfsniveau

Bemesting eerste snede

Indien een loonwerker in de buurt een spaakwielbemester heeft, kan het aantrekkelijk zijn om met name grote oppervlakten in 1 keer te laten bemesten met een vloeibare N meststof. Dit systeem past bijvoorbeeld goed op een bedrijf dat de gehele eerste of de eerste twee sneden in 1 of 2 keer helemaal maait. Positieve gebruikers geven met name het gemak van het gebruik van vloeibare N-meststoffen aan, bij toepassing op grote oppervlakten in één keer. Ook wanneer een groot deel voor maaien bemest moet worden kan deze methode gebruikt worden. De te beweiden percelen moeten dan uiteraard een lagere N-gift krijgen (zie § 10.1.2).

Het N bemestingsadvies is een advies op snedebasis. Wanneer met de spaakwielbemester een N gift voor 2 sneden in 1x wordt gegeven leidt dit tot een te hoog RE-gehalte van het gras in de snede direct na toediening (luxe consumptie) en een lager RE gehalte in de vervolgsnede. Dit hogere RE-gehalte in de snede na toedienen leidt tot een hoger ureumgehalte in de melk en het lagere RE-gehalte in de vervolgsnede tot opbrengstderving. Voor een goede N-benutting is het gewenst elke snede te bemesten met de juiste hoeveelheid stikstof. Na vrijkomen van een perceel, dient de N-gift zo snel mogelijk te worden gegeven (bij voorkeur binnen een week).

Uit kostenoverweging is het niet raadzaam om in eigen beheer binnen 1 bedrijf met zowel vloeibaar als korrels te werken. Voor vloeibaar zijn andere opslag en aawendingsapparatuur nodig, waarvoor geïnvesteerd moet worden.

Vloeibaar ammoniumnitraat is een dure meststof. Alternatieven zijn NTS en Anasol. Met deze meststoffen wordt extra zwavel toegediend. Daarom zijn ze minder geschikt om het gehele seizoen toe te passen. Naar verwachting zal toepassing in de praktijk zich beperken tot een loonwerker, die dan in 1 keer een grote oppervlakte zal bemesten.

5.4 Afwegingen en kosten

De afweging van het gebruik van korrelmeststoffen of vloeibare meststoffen kan in drie onderdelen worden opgesplitst:

- Efficiëntie van de toegediende meststoffen;
- Kosten van de meststoffen; en
- Kosten toediening /toepassing als systeem.

Efficiëntie

Uit het onderzoek (Hoofdstuk 4) kwam naar voren dat , bij de huidige stand van de techniek, KAS als korrelmeststof vrijwel steeds een significant hogere opbrengst gaf aan drogestof en N dan vloeibare N meststoffen. Hierbij presteerden vloeibare ureum en vloeibare meststoffen die ook ureum bevatten minder dan zuivere vloeibare ammoniumnitraat.

Kosten meststoffen

De prijzen van kunstmest fluctueren nogal. In 2007 waren de prijzen van met name KAS en andere korrel N-meststoffen erg sterk gestegen en waren de vloeibare stikstof meststoffen goedkoper. Eind 2010 waren de vloeibare N-meststoffen juist weer wat duurder dan bijvoorbeeld KAS. Het is daarom niet mogelijk om op voorhand al aan te geven welk product goedkoper is.

Kosten van toediening en toepassen als systeem op het bedrijf

Bij de afweging spelen ook de kosten die een loonwerker in rekening brengt een rol.

Investeren in eigen opslag en toedieningsapparatuur kan nauwelijks uit. Toepassing is dus voorbehouden aan de loonwerker. Dit betekent dat toepassen vaak op grote oppervlakten in één keer plaats moet vinden.

5.5 Samenvatting

Meststoffen zijn te mengen tot een blend. Dit geldt voor zowel vloeibare als korrelmeststoffen.

Het voordeel van een blend is, dat met 1 gift meerdere nutriënten kunnen worden toegediend. Het grootste nadeel is dat in veel gevallen niet alle percelen de juiste hoeveelheid van de toegevoegde nutriënten ontvangen

Korrelmeststoffen zijn makkelijk te transporteren en op te slaan, zowel in bulk als in kleinere hoeveelheden als zakgoed. Voor vloeibare meststoffen zijn aangepast transport en opslag in een tank nodig. Bij een keuze voor het toedienen van vast of vloeibaar in eigen beheer spelen deze investeringen een belangrijke rol naast de afweging van de efficiëntie en de kosten van de meststoffen. Vloeibare N meststoffen hebben bij de huidige stand van de techniek een lagere efficiëntie en vloeibaar AN (zonder S en ureum) is duurder dan KAS. Meststoffen met S geven bij toepassing gedurende het gehele jaar een te hoge S dosering.

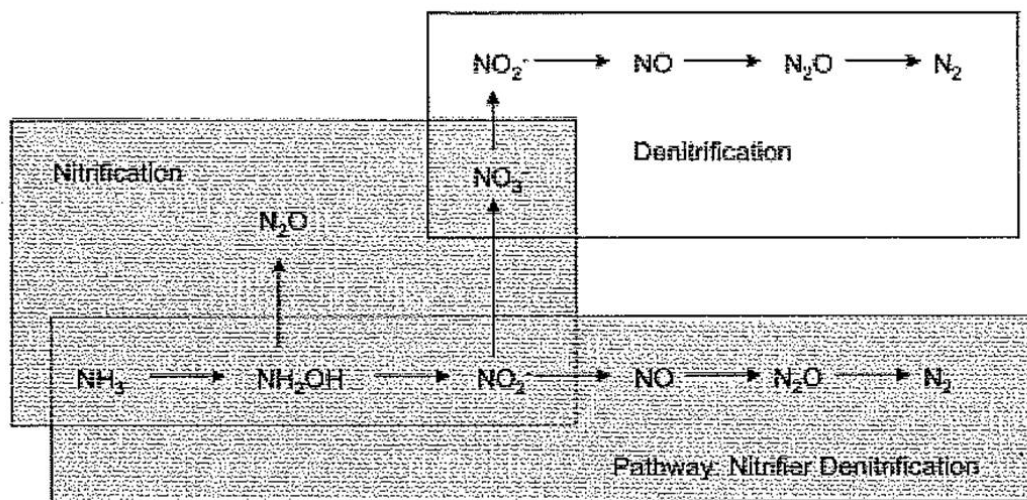
Het toepassen van vloeibare meststoffen zal zich naar verwachting beperken tot een loonwerkactiviteit voor grote oppervlakten in één keer en afhangen van de prijs van toediening en de prijs van de meststof.

6 Toevoegmiddelen: Nitrificatie- en Urease-remmers

6.1 Inleiding

Nitrificatieremmers hebben als doel om het omzettingsproces van ammonium naar nitraat te vertragen, waardoor (bij gebruik in de landbouw) minder nitraat in de bodemoplossing aanwezig is en er dus minder nitraat uit kan spoelen. Daarnaast blijkt het mogelijk, om met behulp van nitrificatieremmers, de uitstoot van lachgas aanzienlijk te reduceren.

Dit hoofdstuk behandelt de indeling en werking van nitrificatieremmers en recente onderzoeksresultaten vanuit de literatuur (periode 2000-2010). Het onderzoek in Nederland naar het gebruik van nitrificatieremmers in voorjaarsmeststoffen en naar het toevoegen van nitrificatieremmers aan de mest en de perspectieven ervan zijn beschreven in Hoofdstuk 7.



Figuur 6.1 Omzettingsprocessen NH_3 . (Ontleend aan Kuikman et al., 2010, uit Wrage et al., 2001)

In het algemeen berust de werking van nitrificatieremmers op een bacteriologische werking. De bacteriën vertragen de omzetting naar nitraat. De processen die plaatsvinden zijn weergegeven in Figuur 6.1.

Er zijn wereldwijd veel nitrificatieremmers bekend, maar velen zijn van geen praktische betekenis voor gebruik in de Nederlandse landbouw. Volgens Kuikman et al. (2010) zijn alleen de hieronder genoemde nitrificatieremmers van belang voor de Nederlandse landbouw:

- Pyridines (nitrapyrin);
- Dicyaandiamiden (DCD); en
- Pyrazolen (DMPP), onder andere in Entec.

Andere remmers vallen te snel uiteen, om een goede werking onder praktijkomstandigheden te waarborgen, zijn schadelijk voor het milieu of de kosten zijn veel te hoog voor economisch gebruik. De werking van DCD neemt af bij een hogere temperatuur en een hoger gehalte aan organische stof van de bodem. Ook bij een hoge pH in de bodem ($\text{pH} > 7$) wordt de werking beperkt. DCD lost goed op

en kan daarom goed worden toegepast in combinatie met drijfmest.

DMPP vertraagd de omzetting van NH_4^+ naar NO_3^- , door de bacteriewerking van de *Nitrosomonas* bacterie tijdelijk af te remmen. Na afbraak van DMPP gaat de bacteriewerking gewoon door. Net als DCD, breekt DMPP sneller af bij een hogere temperatuur.

De belangrijkste voorwaarden voor het gebruik van een nitrificatieremmer onder Nederlandse omstandigheden zijn: efficiënt, economisch en een betrouwbare werking. Hoewel Kuikman et al. dit noemen voor het gehele seizoen, kan ook worden volstaan met een werking in een deel van het seizoen, bijvoorbeeld het vroege voorjaar in combinatie met een bepaalde meststof.

Daarnaast wordt gesteld dat er geen opbouw van resistentie mag plaatsvinden, het transportgedrag vergelijkbaar moet zijn met ammonium en de stof niet giftig mag zijn voor planten, dieren en de bodemorganismen.

6.2 Onderzoek

De laatste 10 jaar is er zowel in Nederland als elders, met name in Nieuw Zeeland, aandacht geweest voor nitrificatieremmers. Eerder onderzoek in de jaren 80 en 90 van de vorige eeuw was vooral gericht op het behoud van N uit drijfmest in de winterperiode. Immers in deze jaren was het nog toegestaan om gedurende de wintermaanden drijfmest uit te rijden. Nitrificatieremmers zijn het meest stabiel bij lage temperaturen. Zo heeft DCD (Dicyaan Diamide) een halfwaardetijd van 20 dagen bij een bodemtemperatuur van 20°C . Bij een lagere bodemtemperatuur is de halfwaardetijd langer. Daarom is de werking in de koude maanden beter dan gedurende het groeiseizoen. De beste tijd om deze toevoeging te gebruiken is dus het (vroege) voorjaar.

Er bestaat veel literatuur over het gebruik en de werking van nitrificatieremmers, zoals:

Een recent rapport van Alterra (Kuikman et al., 2010) geeft een overzicht van de stand van zaken, vooral met betrekking tot de vermindering van uitstoot van broeikasgassen.

Azam & Farooq (2003) geven in 'Nitrification Inhibition in Soil and Ecosystem Functioning – An Overview' een overzicht van de technische werking van nitrificatieremmers en van het internationaal uitgevoerde onderzoek.

Dolfing et al. (2004) geven een literatuuroverzicht van het gebruik van nitrificatieremmers tot 2005.

Een kort overzicht wordt gegeven door Beldman & Van der Ham (LEI, 2005). Hierin wordt beschreven dat Nieuw Zeelands onderzoek heeft aangetoond dat de emissie van lachgas met 50-70% verlaagd kan worden. Ook kunnen de nitrificatieremmers de gewasopbrengst op grasland met 20% verhogen.

Zowel Kuikman als Beldman & Van der Ham geven echter wel aan dat de resultaten wisselend zijn, en dat niet onder alle omstandigheden (jaren, weer) en grondsoorten positieve resultaten werden gevonden.

Potproeven in Nieuw Zeeland en Duitsland toonden duidelijke reducties aan in nitraatuitspoeling en lachgasemissie. Ook Nederlandse laboratoriumproeven gaven, met name bij zandgronden, duidelijke reducties van lachgasemissie (DCD, DMPP en Hydroquinon). Omdat aan genoemd onderzoek geen veldonderzoek gekoppeld was geven deze proeven nog geen vertaling naar de praktijk.

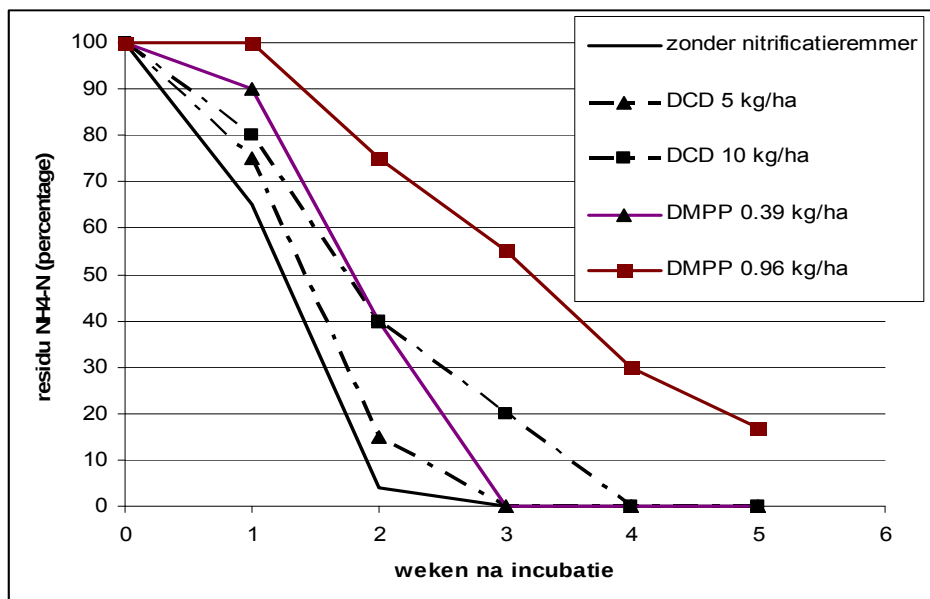
Het onderzoek uit Schotland (Dobbie et al., 2003) geeft wel een reductie van lachgas aan in een veldproef. In deze proef is alleen gekeken naar nitrificatieremmers in combinatie met Urean en niet met een ammoniumnitraat.

Weiske et al. (2001) vonden een duidelijke reductie van de N_2O -emissie (DMPP -41 tot - 53% en DCD - 22 tot -30%) in een veldproef met akkerbouwgewassen. Echter ondanks het terugdringen van N-verliezen werd geen hogere droge stofopbrengst gevonden bij toepassing in zomergerst, maïs en wintertarwe (Tabel 6.1).

Tabel 6.1. Effect van het gebruik van DCD en DMPP op de opbrengst van granen (86% ds, n=4) . Gemiddelde opbrengsten met tussen haakjes de standaard fout; naar Weiske et al. 2001

	Control (ton per ha)	DCD (ton per ha)	DMPP (ton per ha)
Summer Bairley (1997)	7,93 (0,11)	7,54 (0,22)	7,80 (0,28)
Maize (1998)	7,97 (0,49)	7,71 (0,14)	7,98 (0,77)
Winter wheat (1999)	6,43 (1,14)	6,73 (0,47)	6,67 (0,92)

Zerulla et al. (2000) tonen aan dat in het voorjaar, een duidelijk langzamere afbraak van NH_4^+ plaatsvindt. De normaal snel verlopende afbraak kan 4-10 weken vertraagd worden. Deze tijdsspanne is voldoende om in het voorjaar een kritieke periode met verhoogde kans op uitspoeling te overbruggen. Deze onderzoekers even aan dat het voorjaar de meest geschikte tijd is voor het toepassen van nitrificatieremmers. De resultaten van een incubatieproef zijn weergegeven in Figuur 6.2.



Figuur 6.2. Nitrificatie van 10.5 mg ammonium -N per 100 gram grond toegediend als ammonium sulfaat nitraat (ASN) bij 2 concentraties van de nitrificatieremmer DCD en DMPP (naar Zerulla et al., 2000).

Watson et al. (2009) geven een overzicht van de werking van zowel nitrificatieremmers als ureaseremmers in verschillende gewassen. Ook zij concluderen dat de werking erg uiteen loopt en veelal afhangt van diverse factoren, waaronder klimaat (temperatuur en neerslag), het gewas (soort), bodemparameters, maar ook managementfactoren.

De nitrificatieremmers gebruikt in het onderzoek vertraagden de omzetting van NH_4^+ -N naar NO_3^- -N en verlaagden daarmee het risico op N uitspoeling, maar ook op N-vervluchting in de vorm van lachgas. Watson merkt daarbij op dat DMPP het meest voor de hand liggende middel is, omdat dit middel het meest stabiel is, weinig mobiel en goed werkt bij lage concentraties.

Ureaseremmers vertraagden de omzetting van ureum (hydrolyse) naar ammonium-N. Een traag proces

verkleint namelijk de NH_3 verliezen. Dit proces blijkt echter wel pH verhogend te werken waardoor de kans op NH_3 verliezen na de omzetting weer toeneemt. Het geteste middel was nBTPT (N-(n-butyl) thiophosphoric triamide).

Dobbie et al. (2003) onderzochten naast nitrificatieremmers ook een ureaseremmer in een veldproef op grasland. Daarbij werd het effect van deze remmers op de vorming van N_2O gemeten. Deze remmers zijn getoetst in combinatie met de meststoffen Ammoniumnitraat en Urean. Het bleek dat alleen de toepassing van Urean met 75% van de N als ureum en NH_4^+ in het voorjaar met een koude en natte bodem al leidde tot een sterke reductie van N_2O . Deze reductie was bij AN met 50% van de N als NH_4^+ in het voorjaar beduidend minder. In de zomer was deze reductie iets minder. Toevoegen van een nitrificatieremmer gaf een sterkere reductie. Een combinatie van Urean met een ureaseremmer of een combinatie van een nitrificatieremmer met een ureaseremmer bij Urean leverde geen extra reductie op. In dit onderzoek is niet gekeken naar effecten op de opbrengst.

Dobbie & Smith (2003b) deden 2 jaar lang onderzoek naar de N_2O -emissie op grasland in Schotland. Hierbij was de emissie van ureum waaraan de nitrificatieremmer DCD (dicyaandiamide) was toegevoegd slechts de helft van die van onbehandelde ureum. De N_2O -emissie van de onbehandelde ureum was daarbij al aanzienlijk lager dan die van AN.

Naast onderzoek naar het gebruik van nitrificatieremmers in combinatie met kunstmest is in het buitenland ook gekeken naar de combinatie met dierlijke mest en zelfs met urineplekken (Di en Cameron, 2004). Zij vonden tot 63% minder nitraatuitspoeling onder urineplekken.

McCormick et al. (1984) voegden Nitrapyrin ((2-chloro-6(trichlormethyl)pyridine)) als nitrificatieremmer toe aan dunne varkensmest. Ze bemestten maïsland (*Zea mays* L.) in het voorjaar met 150 - 160 kg werkzame N voor het oogsten van de graankorrels. Ze melden een significant hogere graanopbrengst van de velden waar 50 mg Nitrapyrin per liter aan de mest was toegevoegd.

Piadin (Triazol-3MP)

In het kader van een grensoverschrijdend project Winterswijk-Oeding ter verbetering van de waterkwaliteit in de beken is op een deel van een maïsperceel in 2010 bij de bemesting van de maïs Piadin aan de mest toegevoegd en op een ander deel niet. Bij de maïs met de nitrificatieremmer Piadin was opbrengst aan drogestof en de N-opbrengst 25 procent hoger dan op het gedeelte zonder Piadin (Keuck, 2011). Een verklaring hiervoor kan zijn dat de N-opname door de maïs over een langere periode na het bemesten plaatsvindt. Bij veel neerslag in een korte periode kan de bovengrond dan gevuld zijn met vocht en de N die als nitraat aanwezig is verloren gaan door denitrificatie.

De wet en regelgeving in Nederland rondom het gebruik van nitrificatieremmers is veranderd. Op dit moment (2010) vallen nitrificatieremmers standaard in de categorie (en de regelgeving betrekking hebbende op) 'milieugevaarlijke stoffen'. Er moet derhalve per stof waarvoor toelating wordt aangevraagd, worden aangetoond dat deze niet milieugevaarlijk is.

Op dit moment zijn in Nederland de nitrificatieremmers DCD, DMPP en Triazol-3MP (Piadin) toegelaten.

6.3 *Samenvatting*

Er is de laatste jaren veel gepubliceerd over de werking van nitrificatieremmers, zowel op het gebied van

verhoging van de N-efficiëntie (direct) als op het gebied van het terugdringen van broeikasgassen. Duidelijk is, dat nieuw (buitenlands) onderzoek naar het gebruik van nitrificatieremmers zich vooral richtte op het terugdringen van verliezen, m.n. lachgasemissie. Uit het proevenoverzicht is op te maken dat nitrificatieremmers een reductie in de emissie van lachgas kunnen geven, waarbij onder natte omstandigheden de grootste effecten werden gemeten. Hierdoor is de combinatie van nitrificatieremmers het meest efficiënt in de nattere perioden (bijvoorbeeld nat voorjaar, mede gezien de relatief langere groeiduur), maar ook op de nattere gronden is meer perspectief te verwachten. Het feit dat de nitrificatieremmers de lachgasemissie reduceren geeft aan dat het proces waarbij dat lachgas vrijkomt ook niet plaatsvindt. Er treedt dus minder denitrificatie en/of omzetting naar NO_3 op en daarmee minder uitspoeling.

7 Bemesting in het voorjaar: delen van de N-gift, voorjaarsmeststoffen en gebruik nitrificatieremmers

Door de lange groeiperiode van het gras in het voorjaar is de kans op N-verliezen relatief groot. Er kunnen gemakkelijk verliezen door uitspoeling of denitrificatie optreden. Enkele mogelijkheden om deze verliezen te beperken en de N-efficiëntie te verhogen zijn:

- Delen van de N-gift in het voorjaar;
- Een gerichte keuze van het type meststof: gebruik van voorjaarsmeststof;
- Gebruiken van een meststof met een nitrificatieremmer; en
- Toevoegen van een nitrificatieremmer aan de mest.

7.1 Delen N-gift in het voorjaar

Fisher & Jewkes (2009) geven als vuistregel voor Engeland aan dat idealiter niet meer dan 50 kg N per ha moet worden gegeven in een periode van 4 weken. Ze merken hierbij op dat weersomstandigheden de eerste gift kunnen vertragen en boeren doen besluiten om de voorjaarsgift in één keer toe te dienen om de voorjaarsgroei te stimuleren.

Bussink et al. (2002) hebben onderzoeksresultaten uit het verleden opnieuw geanalyseerd. Ook hier bleek, bij een gedeelde N-gift in het voorjaar, het tijdstip van toedienen van de eerste en de tweede gift van grote invloed te zijn op het resultaat van de vergelijking met de eenmalige gift. Uit proefvelden uit de periode 1958 - 1985 hebben zij 26 proefveldjes geselecteerd die voldeden aan de volgende voorwaarden:

1. de eerste gift bij N-deling (te noemen vroege gift) is toegediend voor T-som 250 °C;
2. de tweede gift bij N-deling (te noemen late gift) is toegediend voor T-som 400 °C;
3. de droge stofopbrengst van de eerste snede was hoger dan 1500 kg per ha; en
4. de N-gift kwam overeen met het huidige landbouwkundige N-advisie.

De resultaten zijn, uitgesplitst naar grondsoort, snedezwaarte en jaar, weergegeven in Tabel 7.1. De gemiddelde N-bemesting was 104 kg per ha. Uit deze proeven blijkt dat het accent steeds heeft gelegen op de late gift. Gemiddeld is met de vroege gift 34 en met de late gift 70 kg N per ha gegeven (eenderde: tweederde). De N-deling resulteerde gemiddeld in een hogere opbrengst van 100 kg ds per ha (5%). De N-opbrengst was 6 kg N per ha hoger (6%).

De positieve effecten gelden voor alle grondsoorten, maar zijn het duidelijkst op zandgrond, gevolgd door klei.

De tabel laat zien dat de jaarinvloeden groot zijn: van een iets lagere opbrengst bij N-deling in 1960 tot een positief effect van ruim 400 kg ds per ha in 1961.

In 1960 waren de groeiomstandigheden na de vroege gift en na de gelijktijdig gegeven niet gedeelde gift gunstig. In de 8 dagen voor de bemesting was 12 mm neerslag gevallen en in de 8 dagen erna slechts 1 mm. In 1961 was dit anders. In de 8 dagen voor de bemesting was er 20 mm neerslag gevallen en in de 8 dagen erna 27 mm. De omstandigheden voor N-verliezen waren hierdoor in 1961 gunstig en de N-deling leidde tot een duidelijk positief resultaat.

Perspectief

Uit het genoemde onderzoek blijkt dat delen van de N-gift gemiddeld tot een hogere opbrengst leidt en

tot een betere N-benutting. Deze maatregel vraagt een hogere arbeidsinzet en de weersomstandigheden kunnen de vroege gift vertragen, waardoor de deling niet wordt geëffectueerd. In de praktijk dienen veehouders over het algemeen eerst de dierlijke mest toe als het land berijdbaar is en pas daarna de aanvulling met N uit kunstmest. In deze situatie is N-deling geen praktisch toepasbare maatregel.

Tabel 7.1. T-som (°C), N-gift (kg per ha), opbrengst (kg ds per ha) en N-opbrengst (kg per ha) voor de eenmalige en de gedeelde N-gift in het voorjaar, uitgesplitst per grondsoort, snedezwaarte en jaar.

Jaar/ grond- soort/ snede	aantal proef- veldjes	T-som		N-gift			ds-opbrengst		N-opbrengst	
		vroege gift	late gift	een- malige gift	1 ^e gift deling	2 ^e gift deling	een- malige gift	ge- deelde gift	een- malige gift	ge- deelde gift
zand	16	189	334	118	36	83	2.192	2.316	71	79
klei	6	211	339	95	30	65	2.140	2.219	66	70
veen	4	173	313	60	30	30	1.728	1.773	58	59
weide	15	185	336	87	32	55	1.710	1.923	60	67
maaïen	7	188	330	118	31	87	2.236	2.157	76	76
licht maaïen	3	222	322	153	50	103	3.053	3.093	94	106
normaal										
1960	13	195	337	102	33	68	2.106	2.056	74	77
1961	3	118	380	105	35	70	1.860	2.283	-	-
1962	9	211	311	103	30	73	2.141	2.357	58	67
1984	1	192	300	140	70	70	2.600	2.670	-	-
totaal	26	191	332	104	34	70	2.109	2.210	67	73

7.2 Voorjaarsmeststoffen zonder en met nitrificatierepeller

In KAS is de N voor 50% aanwezig in de vorm van ammonium en voor 50% in de vorm van nitraat. Voorjaarsmeststoffen zijn meststoffen met een hoger aandeel ammoniumstikstof. Een belangrijk verschil tussen bemesting met ammonium en nitraat is dat ammonium goed wordt geabsorbeerd door organische stof en kleideeltjes. Ammonium is daardoor minder gevoelig voor uitspoeling dan nitraat. Wel is er een zeker risico van ammoniakvervluchtiging bij ammoniumhoudende meststoffen, vooral op basische gronden (zie de Hoofdstukken 2 en 3).

Een aantal bekende N-meststoffen zijn

- Kalkammonsalpeter (KAS) met 50% van de N als ammonium;
- Ammoniumsulfaatsalpeter (ASS) met 75% van de N als ammonium;
- Ammoniumsulfaat (zwavelzure ammoniak, ZA) met 100% van de N als ammonium; en
- Ureum (U) en kalkstikstof met 100 % van de N als ammonium na hydrolyse

Ook NP-meststoffen bevatten meer ammonium dan nitraat. Het gebruik van NP-meststoffen zal door de

gebruiksnormen op grasland echter beperkt zijn.

Ureum kan op alle grondsoorten forse ammoniakverliezen geven. Bij ZA en ASS blijft dit risico beperkt tot de kalkrijke gronden. Bij KAS zijn de ammoniakverliezen gering (Hoofdstuk 3).

Kalkstikstof (CaCN_2) is de oudste synthetische N-meststof. Het is een langzaamwerkende N-meststof met een herbicide werking. De productiecosten van deze meststof zijn relatief hoog. Daardoor is het een duurdere meststof dan de meest gangbare meststof KAS. Momenteel wordt kalkstikstof dan ook niet gebruikt op grasland.

Entec is ammoniumsulfaatsalpeter (ASS) waaraan de nitrificatieremmer is DMPP (dimethylpyrazol-fosfaat) is toegevoegd. DMPP vertraagt de omzetting van ammonium naar nitraat door de *Nitrosomonas* bacteriën gedurende 4 – 10 weken (Zerulla et al., 2000).

7.3 Toetsing voorjaarsmeststoffen in Nederland

7.3.1 Onderzoek NMI en ASG

In 2002 hebben Bussink et al. op twee proefvelden op zandgrasland en één proefveld op kleigrasland elf meststoffen met elkaar vergeleken. Deze meststoffen zijn toegediend op twee tijdstippen: T-som 180 en T-som 300. Er waren twee N-niveaus: 70 en 105 kg N per ha. Verder zijn er vijf varianten aangelegd met een gedeelde N-gift: KAS/KAS, Entec/Entec, AS/AS, Entec/KAS en AS/KAS. De opbrengst is bepaald van de eerste en de tweede snede. Hierbij is voor de tweede snede geen meststof toegediend (nawerking).

Op elk proefveld zijn ook nulveldjes meegenomen.

De gebruikte meststoffen zijn weergegeven in Tabel 7.2.

Tabel 7.2. Samenstelling van de gebruikte meststoffen en de ammonium/nitraat-verhouding.

Meststof	N totaal	P_2O_5	SO_3	S	$\text{NH}_4\text{-N/NO}_3\text{-N}$
Kalkammonsalpeter (KAS)	27	0	0	0	50/50
NP 26-14	26	14	0	0	60/40
NPS 26-7-18	26	7	18	7	63/37
NPS 23-12-28	23	12	28	11	75/25
Ammoniumsulfaatsalpeter (ASS)	26	0	35	14	75/25
Entec*	26	0	35	14	75/25
Perika (kalkstikstof)	20	0	0	0	100/0
Ammoniumsulfaat (AS)	21	0	60	24	100/0
Ureum	46	0	0	0	100/0
Ureum+NBTP**	46	0	0	0	100/0
Ureas	38	0	19	7,5	100/0

* Entec bevat de nitrificatieremmer DMPP (dimethyl pyrazol fosfaat)

** NBTP (n-butyl thiophosphoric triamide) remt de omzetting van ureum naar ammonium

De onderzoekers geven aan dat 2002 gekenmerkt werd door een zeer nat begin kort voor en na het bemesten gevolgd door een zeer lange droge periode. Het gevolg hiervan was dat er weinig risico was van N-verliezen, waardoor de effecten van de ammoniumhoudende meststoffen beperkt zijn gebleven. In Tabel 7.3 zijn de meststoffen voor de proefvelden op zandgrond gerangschikt naar drogestofopbrengst, N-benutting en financiële meeropbrengst ten opzichte van het gebruik van KAS.

De financiële meeropbrengst wordt bepaald door de prijs van de meststof en de drogestofopbrengst. Bij de prijsverhouding van 2002 was de meeropbrengst van Entec niet toereikend om de hogere prijs te compenseren. De opbrengst van ureum+NBTP was vrijwel gelijk aan die van KAS. Door de lagere prijs was het financiële resultaat licht positief. De voorjaarsmeststof ASS en de gecombineerde en gedeelde giften Entec gevolgd door KAS en AS gevolgd door KAS gaven het beste financiële resultaat.

Tabel 7.3. Rangschikking van meststoftype naar ds-opbrengst, N-benutting en financiële meeropbrengst voor de eerste twee sneden op zandgrasland

Meststoftype	droge stof, kg per ha	meststoftype	N-benutting, %	meststoftype	meeropbrengst, € per ha
AS/KAS	6.816	Entec/KAS	100,8	ASS	9
Entec/KAS	6.802	Entec/Entec	98,6	Entec/KAS	9
AS/AS	6.802	AS/KAS	98,2	AS/KAS	5
Entec/Entec	6.768	AS/AS	97,8	NPS 23-12-28	1
ASS	6.768	NPS 23-12-28	92,3	ureum+NBTP	1
Entec	6.648	KAS/KAS	91,6	KAS	0
NPS 23-12-28	6.628	ASS	91	KAS/KAS	-1
KAS	6.535	Entec	88,2	ureum	-2
AS	6.509	KAS	83,1	AS/AS	-13
ureum+NBTP	6.490	AS	83	Entec/Entec	-17
KAS/KAS	6.458	ureum+NBTP	80,1	Entec	-22
ureum	6.432	NPS 26-7-18	79,8	NPS 26-7-18	-22
NPS 26-7-18	6.419	ureum	79,2	NP 26-14	-28
NP 26-14	6.304	NP 26-14	75,3	AS	-32
Ureas	6.229	Ureas	72,5	Ureas	-36
Perlka	5.890	Perlka	62,9	Perlka	-257

De onderzoekers merkten op dat een beperkte gift als ammoniumhoudende meststof gevolgd door KAS een goed financieel resultaat gaf. In de praktijk wordt voor de eerste snede vrijwel altijd dierlijke mest gegeven. Deze mest wordt vrijwel steeds uitgereden vóór het strooien van de kunstmest. Een gedeelde kunstmestgift is dan niet zinvol. Indien geen dierlijke mest kan worden/wordt toegediend, kan het delen van de N-gift financieel wel aantrekkelijk zijn.

7.3.2 Koeien & Kansen

In 2001 en 2002 heeft NMI in het kader van het project Koeien & Kansen onderzoek gedaan met voorjaarsmeststoffen op grasland (Den Boer & Bakker, 2003). Dit onderzoek is uitgevoerd op 8 bedrijven, waarvan 6 op zandgrond, 1 op weinig zand en 1 op kleigrond. In 2001 is het onderzoek gedaan met KAS en Entec26. In 2002 is, naast KAS en Entec26, ook Ammoniumsulfaat (zwavelzure ammoniak, ZA) meegenomen.

- KAS 27% N: De N is voor 50% aanwezig in de vorm van NH_4 en voor 50% in de vorm van NO_3 ;
- Entec26: is ASS met DMPP (26% N+14%S +DMPP) De N is voor 75% aanwezig als NH_4 ; en
- ZA bevat 21% N en 24% S. De N is voor 100% aanwezig in de vorm van NH_4 .

Naast een gelijke hoeveelheid dunne mest ontvingen de percelen met Entec26 en ZA 80% van de

hoeveelheid N die met KAS is gegeven. Met KAS is 65 kg N en met Entec26 en ZA 52 kg N per ha gegeven.

Alleen de eerste snede is bemest met een voorjaarsmeststof. De volgende sneden kregen een gelijke hoeveelheid N uit KAS en/of dunne rundveemest.

In 2001 is alleen de opbrengst en samenstelling van de eerste snede gemeten. Dit jaar werd gekenmerkt door een nat voorjaar. De droge stofopbrengst op de velden met Entec26 was, ondanks de lagere N-gift, 470 kg ds per ha (12%) hoger dan op de velden met KAS. De N-opname bij Entec 26 was gemiddeld 107 en bij KAS 95 kg N per ha.

In 2002 kwam de neerslag overeen met het langjarig gemiddelde. In dat jaar was de opbrengst op de velden met Entec gemiddeld 297 kg ds per ha en met ZA 270 kg ds per ha hoger dan op de velden met KAS.

De N-opname was vergelijkbaar respectievelijk 98 kg N per ha bij Entec26 en ZA en 93 kg N per ha bij het gebruik van KAS.

Dit komt overeen met de verwachting dat bij het gebruik van een voorjaarsmeststof met 80% van de hoeveelheid N uit KAS kan worden volstaan.

7.3.3 Nitrificatieremmer DMPP toegevoegd aan kunstmest en rundveemest.

In 1999 heeft NMI in opdracht van BASF Nederland BV een veldexperiment uitgevoerd met DMPP gegeven via kunstmest en toegediend aan dunne rundermest (Bussink, 1999). Dit onderzoek is uitgevoerd op een humusrijke zandgrond (10,4% OS) van proefbedrijf Bosma Zathe in Ureterp (Bussink, 1999). In dit onderzoek zijn de volgende varianten meegenomen: 0N, KAS, ASS, Entec26 (= ASS+DMPP), ASS en DMPP toegevoegd aan dunne rundermest (ASS + DMPPmest) en Entec26 + DMPPmest. Het N-bemestingsniveau was 130 kg N per ha, inclusief de werkzame N uit 20 m³ rundveemest per ha die op alle objecten als basisbemesting is gegeven. De tweede snede is bemest met 60 kg N per ha als KAS, ASS of Entec26 en de derde snede met 27 kg N per ha op alle objecten, behalve de 0N. De P- en K-bemesting zijn uitgevoerd volgens advies door aanvullende bemesting met TSP en K60.

De opbrengst en N-opname zijn gemeten gedurende 3 sneden en vermeld in Tabel 7.4.

Tabel 7.4. Opbrengst en N-opname totaal over 3 sneden per behandeling (Bussink 1999).

Behandeling	Opbrengst (kg ds per ha)*	N-opname (kg N per ha)*
0 N	4604 ^a	98,5 ^a
KAS	8418 ^b	230,5 ^b
ASS	8997 ^c	253,3 ^b
Entec 26 (ASS + DMPP)	9490 ^d	269,0 ^{cd}
ASS + DMPPmest	9537 ^d	267,3 ^{cd}
Entec 26 +DMPPmest	9434 ^d	276,1 ^d

* verschillende letters geven significante verschillen aan (P< 0,05)

Het gebruik van de voorjaarsmeststof ASS leidde tot een significant hogere opbrengst dan KAS. Het verschil in N-opname was net niet significant.

Het gebruik van Entec26 (is ASS +DMPP) verhoogde de opbrengst en N-opname significant ten opzichte van ASS.

In dit onderzoek maakte het geen verschil of de nitrificatieremmer toegevoegd was aan de voorjaarsmeststof (Entec26) of aan de rundveemest (ASS + DMPPmest). De opbrengst en N-opname waren vergelijkbaar. Het gebruik van Entec26 naast toevoegen van DMPP aan de mest gaf geen hogere opbrengst en N-opname dan ASS + DMPPmest.

Voorwaarde voor een goede werking in de mest is dat de DMPP goed door de mest verdeeld is. Deze nitrificatieremmer inactieveert de *Nitrosomonas* bacteriën in de grond. Voorwaarde is dan dat overal waar de mest terecht komt er ook DMPP in de mest aanwezig is.

Dat er geen verschil gevonden is tussen Entec26 + DMPPmest en ASS + DMPPmest is opmerkelijk. Immers de kunstmestkorrels kunnen ook tussen de mestsleufjes terecht komen die op 20 cm afstand van elkaar liggen. Tussen de sleufjes zou dan nog nitrificatie plaats kunnen vinden. De N-verliezen door uitspoeling, denitrificatie en ook de N_2O -emissie kunnen dan weer hoger zijn.

Toevoegen van een nitrificatieremmer aan de mest lijkt echter goede mogelijkheden te bieden om de N-verliezen te beperken en om de emissie van het broeikasgas N_2O te verminderen.

7.4 *Aandachtspunten bij het gebruik van (voorjaars)meststoffen met een hoog ammoniumaandeel*

De voorjaarsmeststoffen ammoniumsulfaat (ZA), ammoniumsulfaatsalpeter en Entec26 bevatten naast stikstof ook zwavel. Op steeds meer percelen, vooral op zandgrond, zal een aanvullende zwavelbemesting in het voorjaar nodig zijn voor een goede grasproductie. Door het gebruik van een voorjaarsmeststof met zwavel kan dan de N en de S in een werkgang worden toegediend.

Belangrijk is wel het gebruik van deze meststoffen te beperken tot het voorjaar. Zwavel is nodig voor een goede grasproductie, maar een te ruime voorziening leidt tot hoge S-gehalten in het gras. De opname van andere nutriënten als selenium wordt dan belemmert. Bovendien belemmert een hoog S-gehalte in het gras de benutting van koper in de pens van de koe.

Van Burg et al. (1982) hebben de werking van verschillende N-meststoffen met elkaar vergeleken. Hierbij gaf het gebruik van ZA, door een hogere opname van P, S en Cl, een aanzienlijk lagere kation-anion verhouding. Dit is gunstig voor de voeding tijdens de droogstand. ZA is dus ook een geschikte meststof voor het winnen van droogstandskuil. Hiervoor wordt ook wel ammoniumchloride (NH_4Cl) als meststof gebruikt.

In Hoofdstuk 4 is het toedienen en de werking van mineralenconcentraten beschreven. De N in deze concentraten is vrijwel uitsluitend aanwezig in de vorm van ammonium. Belangrijk is dat de toedieningstechniek van deze vloeibare meststoffen verder ontwikkeld wordt. Bij een verbeterde werking kunnen deze concentraten ook goed als voorjaarsmeststof worden toegediend.

7.5 *Kosten en perspectieven*

Uit het voorgaande blijkt dat meeropbrengst bij het gebruik van een voorjaarsmeststof zonder en met een nitrificatieremmer sterk afhankelijk is van het weertype in het voorjaar.

In Tabel 7.5 zijn een aantal opbrengsteffecten samengevat van het recent in Nederland uitgevoerde onderzoek.

Tabel 7.5 Opbrengst (kg ds per ha) bij verschillende voorjaarsmeststoffen ten opzichte van KAS.

Jaar	Bron	AS	ASS	Entec
1999	Bussink, 1999	--	+ 500	+ 1000
2001	Den Boer en Bakker 2003	--	--	+ 470*
2002	Den Boer en Bakker 2003	+ 270*	--	+ 297*
2002	Bussink et al. 2003,	- 26	+ 233	+ 113

* Voorjaarsmeststof kreeg 80 % van de N-gift van KAS

Naast het opbrengsteffect is ook de prijs van de meststoffen bepalend voor het economische resultaat. Gerekend is met het door het meststoffenbedrijfsleven gegeven prijspeil van het voorjaar van 2011. De prijs van KAS bedraagt dan € 30,-; van AS € 30,-; van ASS € 32,- en van Entec € 35,- per 100 kg. De prijs van de S varieerde afhankelijk van de meststof van € 0,22 tot € 1,40,-. Gerekend is met € 0,25 per kg S.

Ammoniumsulfaat (AS) is een bijproduct van industriële productie. Het is daarom een relatief goedkope meststof met een prijs die lager is dan of vergelijkbaar met die van KAS. Het gebruik van deze meststof als voorjaarsmeststof is vrijwel altijd aan te bevelen, mits een aanvullende zwavelbemesting nodig is. Opgemerkt moet worden dat deze meststof sterker verzurend werkt dan KAS. Deze meststof is aantrekkelijk om te gebruiken voor het maken van een droogstandskuil.

Ammoniumsulfaatsalpeter (ASS).

Bij de KAS-prijs van € 30,- per 100 kg is de prijs per kg N € 1,11.

ASS bevat 26 kg N en 14 kg S per 100 kg. Als de S niet nodig is op het perceel is de prijs € 1,23 per kg N. Bij een aanvullende bemesting in het voorjaar van 70 kg N per ha naast 25 m³ dunne rundveemest is de meerprijs dan € 8,40 per ha. Bij een aankoop prijs van ruwvoer van € 0,10 per kg ds moet de meeropbrengst 84 kg ds per ha. Bij een snede van 3000 kg ds per ha is dit 2,8%.

Als S wel nodig is en de prijs € 0,25 per kg S is dan is de prijs van ASS per kg N vergelijkbaar met die van KAS (32-3,5 = € 28,5 per 100 kg is 1,10 per kg N). Het strooien van deze meststof is dan altijd aan te bevelen.

Als de prijs van de S meer bedraagt dan € 0,25 per kg is het strooien van deze meststof in het voorjaar aantrekkelijker dan van KAS en een aanvullende S-meststof.

Entec.

Entec bevat 26 kg N en 14 kg S per 100 kg plus de nitrificatieremmer DMPP.

Als de S niet nodig is op het perceel is de prijs € 1,35, per kg N. Bij een aanvullende bemesting in het voorjaar van 70 kg N per ha naast 25 m³ dunne rundveemest is de meerprijs dan € 16,80 per ha. Bij een aankoop prijs van ruwvoer van € 0,10 per kg ds moet de meeropbrengst 168 kg ds per ha. Bij een snede van 3000 kg ds per ha is dit 5,6%.

Als de S wel nodig is en de prijs € 0,25 per kg S is dan is de prijs van Entec per kg N € 1,21 (35-3,5 = € 31,5 per 100 kg is 1,21 per kg N). De meeropbrengst moet dan 70 kg drogestof per ha bedragen.

Bij een hogere S-prijs wordt ook het strooien van Entec aantrekkelijker dan het strooien van KAS en een aanvullende S-meststof.

Piadin toevoegen aan mest

Piadin kost € 5,- per liter en de dosering bedraagt 4 liter per ha. De toepassing kost dan € 20,- per ha,

hetgeen met een opbrengstverhogend effect van 200 kg ds per ha kan worden terugverdiend.

7.6 *Samenvatting*

Door de lange groeiperiode van het gras in het voorjaar is de kans op N-verliezen relatief groot. Er kunnen gemakkelijk verliezen door uitspoeling of denitrificatie optreden. Deze verliezen kunnen mogelijk worden beperkt door het delen van de N-gift in het voorjaar of het gebruik van voorjaarsmeststoffen al of niet met een nitrificatieremmer.

Delen van de N-gift in het voorjaar

Uit onderzoek blijkt dat delen van de N-gift in het voorjaar gemiddeld tot een hogere opbrengst leidt en tot een betere N-benutting. In de laatste decennia dienen veehouders over het algemeen eerst de dierlijke mest toe als het land berijdbaar is en pas daarna de aanvulling met N uit kunstmest. In deze situatie is N-deling geen praktisch toepasbare maatregel.

Voorjaarsmeststoffen met of zonder nitrificatieremmer

Het in Nederland uitgevoerde onderzoek op grasland in het voorjaar laat zien dat door het gebruik van Entec, een voorjaarsmeststof met een nitrificatieremmer, een opbrengstverhoging van circa 20% kan worden gerealiseerd. Het effect is het grootst onder natte omstandigheden. Ook het gebruik van meststoffen met een hoog ammoniumaandeel zonder nitrificatieremmer leidt tot een hogere opbrengst. Het effect is dan over het algemeen geringer dan bij meststoffen met een nitrificatieremmer. Bij het prijspeil van 2011 is het strooien van voorjaarsmeststoffen zonder nitrificatieremmer vrijwel steeds aantrekkelijk. Ook het strooien van Entec is, afhankelijk van de prijs van de S in het product snel aantrekkelijk.

Een andere mogelijkheid is het toevoegen van een nitrificatieremmer (Piadin) aan de mest. De meeropbrengst moet dan 200 kg drogestof per ha zijn om de extra kosten te dekken.

Onderzoek duidt erop dat het gebruik van beide, een nitrificatieremmer in de mest én in de kunstmest, niet tot een extra meeropbrengst leidt. Eén van beide is voldoende.

Bij het toedienen van Entec kan met 80% van de N van KAS worden volstaan. Deze N kan dus worden bespaard of later in het seizoen nuttig worden ingezet voor een hogere grasproductie. De literatuur geeft ook aan dat met een nitrificatieremmer de lachgasemissie aanzienlijk kan worden verminderd. Door de vertraagde omzetting van NH_4^+ naar NO_3^- neemt ook het risico op uitspoeling aanzienlijk af. Wanneer de regelgeving met betrekking tot de nitraatnorm (in relatie met de KRW) strenger wordt, zullen nitrificatieremmers naar verwachting van meer betekenis worden om de doelstellingen te halen.

8 Verhogen N-benutting door veredeling

Ook het veredelen van gewassen biedt een mogelijkheid om de efficiëntie van de gegeven N te verbeteren en daarmee de verliezen te beperken.

8.1 Akkerbouw

Johnston & Poulton (2009) geven het effect van het verbeteren van de opbrengstpotentie van wintertarwerassen op de N-efficiëntie. Zij vergeleken de N-efficiëntie door het aantal kg graan per gegeven kg N te meten. Ze vergeleken oude rassen met veredelde rassen. De oude rassen zijn geteeld op veldjes in continueelt en de veredelde rassen zowel op veldjes die steeds gebruikt zijn in continueelt als op veldjes waarop gewasrotatie is toegepast. Deze resultaten zijn gegeven in Tabel 8.1.

Tabel 8.1. Verbetering van de N-efficiëntie (kg graan/kg N) bij wintertarwe met een hogere opbrengstpotentie op Broadbalk, Rothamsted (uit Johnston & Poulton, 2009).

N-bemest Kg per ha	Kg graan per kg toegediende N					
	Ras A*	Ras B*	Ras C*	Ras C	Ras D*	Ras D
	Continueelt	Continueelt	Continueelt	Rotatie	Continueelt	Rotatie
48	39	41	73	106	66	100
96	26	28	50	63	55	74
144	19	21	37	39	42	59

Ras A = oud ras Red Rostock; Ras B = oud ras Squarehead's Master; Ras C = Nieuw ras Cappelle Desprez; Ras D = nieuw ras Hereward

De N-efficiëntie, uitgedrukt in kg graan per gegeven kg N, was bij de oude rassen in continueelt nagenoeg gelijk en is bij de veredelde rassen in continueelt aanzienlijk verbeterd. Telen van de rassen in rotatie verhoogt de efficiëntie nog aanzienlijk. Voor alle rassen geldt dat de N-efficiëntie afneemt naarmate de N-gift hoger is. De onderzoekers geven aan dat de verbeterde efficiëntie voor een belangrijk deel is toe te schrijven aan de verandering in de verhouding graan : stro.

8.2 Grassen

In Nederland worden in het Cultuur- en Gebruikswaardenonderzoek (CGO) nieuwe rassen van voedergrassen en witte klaver beoordeeld op hun landbouwkundige waarde. De rassen worden beoordeeld op aspecten die van belang zijn om goed grasland te verkrijgen en te behouden. De belangrijkste eigenschappen zijn:

- Jaaropbrengst;
- Standvastigheid (persistentie);
- Wintervastheid; en
- Ziekteresistentie.

De jaaropbrengst is een zeer belangrijk aspect. Goed standvastige rassen behouden gedurende langere tijd een goed gesloten grasmat. Ook wintervastheid is een belangrijk aspect voor het behoud van opbrengst en zodekwaliteit. Daarnaast is er veel aandacht voor ziekteresistentie, vooral de resistentie tegen kroonroest. Ook verteerbaarheid is een belangrijk kwaliteitsaspect van ruwvoer. Binnen Engels raaigras zijn de verschillen in verteerbaarheid echter gering. De verschillen tussen grassoorten zijn veel groter. In een vergelijkingsproef waarbij de verteerbaarheid van Engels raaigras op 100% was gesteld hadden kropaar en veldbeemdgras een matige verteerbaarheid, respectievelijk 91 en 90%. Timothee

(98%), beemdlangbloem (99%) en rietzwenkgras (96%) namen een tussenpositie in (Visscher, 1996).

Stikstofbenutting

Vellinga & Van Loo (1994) berekenden in een studie dat grasland met een 10% hoger stikstofrendement (verkregen door rassen met een 10% hogere N-efficiëntie) met circa 30% minder N-bemesting toe kan. In de jaren 1991 -1996 zijn een groot aantal rassen van Engels raaigras en een aantal rassen van andere grassoorten onderzocht op stikstofbenutting. Onder N-benutting is hier verstaan: de stikstofopbrengst per ha gedeeld door de N-gift per ha, uitgedrukt in procenten. Met depositie en N-levering door de grond is in dit onderzoek geen rekening gehouden. Een aantal resultaten uit 1991 t/m 1994 zijn gegeven in Tabel 8.2. De gemiddelde N-gift was 445 kg N per ha jaar⁻¹. Het onderzoek heeft betrekking op maaiproeven.

Tabel 8.2. Gemiddelde N-benutting, droge stofopbrengst en N-gehalte van een aantal grassoorten over de jaren 1991 t/m 1994 (Visscher, 1996).

Grassoort/type	Aantal rassen	N-benutting In %	Opbrengst ton ds per ha	N-gehalte g kg ⁻¹ ds
Engels raaigras				
- laat	17	87	15,4	26
- middentijds	12	89	15,5	27
- vroeg	7	87	15,2	27
Timothee	3	109	16,1	31
Beemdlangbloem	2	101	15,0	31
Veldbeemdgras	2	97	14,6	30
Kropaar	1	106	16,7	29
Rietzwenkgras	1	109	19,1	26

Engels raaigras valt in vergelijking met de overige onderzochte grassoorten nogal tegen in N-benutting. De oorzaak ligt vooral in het relatief lage N-gehalte bij een gemiddelde opbrengst in vergelijking met de andere soorten. Ook rietzwenkgras heeft een wat lager N-gehalte, maar door de zeer hoge opbrengst een zeer goede N-benutting. Timothee, kropaar en rietzwenkgras nemen 25 – 40 kg N meer op dan met de bemesting is gegeven. Dit betekent dat deze grassen, mede door een diepere beworteling, meer N uit de bodem kunnen benutten.

Het onderzoek in 1991 t/m 1994 is uitgevoerd bij een hoge N-bemesting. In 1995 en 1996 zijn twee N-bemestingsniveaus meegenomen: 450 en 275 kg N per ha (Visscher, 1996). Er was geen duidelijk verband tussen het N-bemestingsniveau en de N-benutting van grassoorten en grasrassen.

Het gebruikswaarde onderzoek richt zich vooral op Engels raaigras, omdat deze grassoort de hoogste verteerbaarheid en daarmee de hoogste voederwaarde heeft. Uit het bovengenoemde onderzoek blijkt dat de N-opbrengst (N-benutting) vrij goed samenhangt met de droge stofopbrengst ($r = 0,72$).

Veredelen op opbrengst betekent daarmee tevens veredelen op N-benutting (Visscher, 1996).

Dat neemt niet weg dat er tussen rassen wezenlijke verschillen in N-gehalte bestaan, die in alle jaren van onderzoek aanwezig waren. Lintzen (2010) van Eurogras geeft aan dat er rassen zijn met een hoger eiwitgehalte. Maar mogelijk geef je bij deze rassen wat toe op andere eigenschappen die belangrijk zijn als criteria voor opname in de rassenlijst. Ook Van der Heiden (Barenbrug, 2010) geeft aan dat er wel rassen zijn met een hoger eiwitgehalte, maar dat je snel toegeeft aan andere belangrijke

eigenschappen. Er zijn zeker goede mogelijkheden om te selecteren op bijvoorbeeld de bestendigheid van eiwit en op een hoger gehalte aan onverzadigde vetzuren, maar dan geeft je, zeker op de korte termijn, toe op opbrengst en andere belangrijke eigenschappen.

Andere grassoorten

Als tendens, die je nu al in de praktijk waar kunt nemen op bedrijven met veel snijmaïs in het rantsoen, noemt Van der Heiden het inzaaien van grasmengsels met een gedeelte (tot 30%) rietzwenkgras in het mengsel. Rietzwenkgras heeft een hogere opbrengst en N-benutting dan Engels raaigras en is door de diepere beworteling minder droogtegevoelig. Voordeel van dit rietzwenkgras is tevens dat het meer pensprik geeft. Op bedrijfsniveau zorgt deze maatregel voor een hogere N-benutting.

Grasland samengevat

- Engels raaigras heeft in vergelijking met een aantal andere grasrassen onder maaioomstandigheden een matige N-benutting. Engels raaigras is en blijft de meest gebruikte grassoort, want het heeft de hoogste verteerbaarheid en voederwaarde.
- Tussen rassen Engels raaigras bestaan ook grote verschillen in N-benutting. Deze hangen vooral samen met de opbrengst. Het onderzoek richt zich daarom vooral op de opbrengst, hoewel er ook consequente verschillen in N-gehalte tussen rassen bestaan.
- Er is geen interactie tussen het niveau van N-bemesting en de N-benutting van grassoorten of -rassen.
- Door bijvoorbeeld rietzwenkgras in een grasmengsel op te nemen kan de N-benutting op bedrijfsniveau worden verbeterd.

8.3 *Snijmaïs*

De rassenkeuze en de veredeling van snijmaïs zijn de laatste 25 jaar in Nederland meer gericht op voederwaarde dan op opbrengst (Groten & Van Schooten, 2010). Hierdoor is het rassenassortiment op de Aanbevelende Rassenlijst dusdanig vroeg dat de rassenproeven in het zuiden vaak reeds in de 1^e helft van september geoogst worden.

Tussen rassen zijn er verschillen in N-opname. Deze verschillen hangen vooral samen met verschillen in opbrengst en deels ook door verschillen in N-gehalte. De drogestof opbrengst is in grote lijnen gerelateerd aan de vroegheid van een ras en dus aan de lengte van het groeiseizoen. Het N-gehalte is gerelateerd aan het bemestingsniveau. Voor een duurzame maïsteelt zijn, bij de huidige gebruiksnormen, rassen die de meeste stikstof opnemen (N-opname) en per kg onttrokken stikstof de meeste drogestof produceren het meest interessant.

Het huidige beleid van EL&I om aan de nitraatrichtlijn te voldoen, is gericht op de verplichte teelt van een vanggewas na maïs. De huidige teeltwijze lijkt nog onvoldoende effect te hebben op de N-uitspoeling op zandgrond. Overwogen wordt om een nog vroegere inzaai van het vanggewas en daarmee een nog vroegere oogst van de maïs verplicht te stellen. Een zeer vroeg oogsttijdstip heeft echter tot gevolg dat er maïs geoogst zal worden met een lager zetmeelgehalte. In rantsoenen met veel gras heeft dit maïszetmeel juist een positief effect op de stikstofbenutting in de koe. Een lager zetmeelgehalte betekent ook een hogere methaanproductie door de koeien en het aanvoeren van meer energierijk krachtvoer. Groten & Van Schooten (2010) geven aan dat de nadruk veel meer moet liggen op het zo snel mogelijk inzaaien van het vanggewas na de maïs oogst, bijvoorbeeld binnen 3 dagen na de oogst en verplicht inzaaien vóór 1 oktober. Om een goed geslaagd vanggewas te realiseren is inzaaien voor 1

oktober noodzakelijk. Dit is ook belangrijk voor een voldoende aanvoer van organische stof naar de bodem. Een goed os-gehalte is voorwaarde voor goede N-benutting (zie Hoofdstuk 9).

De veredeling zou zich dan kunnen richten op rassen die geoogst kunnen worden rond half september

In Tabel 8.3 is een overzicht gegeven van de extra N-opname bij maïsteelt met een verschillende groeiduur en de N-opname door het vanggewas (bovengronds + ondergronds).

Tabel 8.3 Gemiddelde extra N-opname (maïs + vanggewas) bij maïsteelt op verschillende oogsttijdstippen (Groten & Van Schooten, 2010)

Datum oogst maïs en zaaien vanggewas	Extra N-opname door maïs tov oogst 1-15 sept	N-opname vanggewas gemiddeld (range)	Totaal Extra N- opname
15 aug – 1 sept	-25	90 (80 – 100)	65
1 – 15 sept	0	60 (45 – 75)	60
15 sept – 1 okt	30	30 (20 – 40)	60
1 okt – 15 okt	40	10 (5 – 15)	50
Na 15 okt	40	5 (0 – 10)	45

Veredeling zou kunnen plaatsvinden op maïsrassen die bij de ingestelde gebruiksnormen veel N opnemen en per kg opgenomen N zoveel mogelijk drogestof produceren.

Momenteel vindt onderzoek plaats naar de perspectieven van het telen van maïs onder folie. Dit onderzoek is uitgevoerd in Friesland op 2 percelen op kleigrond en 1 perceel op zandgrond (Bussink et al., 2010). Het telen van maïs onder folie bevordert de opkomst van de maïs, waardoor deze eerder kan worden geoogst. Het vanggewas kan dan ook vroeger worden gezaaid. De hogere bodemtemperatuur onder folie zorgde ook voor een grotere beschikbaarheid van N door een hogere mineralisatie van organisch gebonden N. Het telen van maïs onder folie leidde in dit onderzoek tot een hogere opbrengst aan drogestof en N.

Kemper & Kroone hebben voor snijmaïs een rij-onafhankelijke maïsbeek ontwikkeld. Daardoor is het niet meer nodig de maïs te zaaien op een rij-afstand van 75 cm, maar kan de maïs bijvoorbeeld gezaaid worden op 50 cm afstand. Mogelijk biedt dit perspectieven om de opbrengst en N-benutting van snijmaïs nog te verbeteren.

Snijmaïs samengevat

- De N-opname van maïs hangt sterk samen met de droge stofopbrengst en daarmee met de vroegheid van het maïsras en de lengte van het groeiseizoen.
- Omdat op zandgrond nog niet voldaan kan worden aan de nitraatrichtlijn, kan overwogen worden om het inzaaien van een vanggewas binnen enkele dagen na de maïs oogst en vóór 1 oktober verplicht te stellen.
- De veredeling zou zich dan kunnen richten op rassen die in september afrijpen met een hoge N-opname en droge stofopbrengst per kg opgenomen N.
- Mogelijk biedt het zaaien van maïs op een afstand van minder dan 75 cm perspectieven om de N-benutting nog te verhogen. Een maïsbeek die onafhankelijk is van de rij-afstand is beschikbaar.

9 Voorwaarden voor goede N-benutting

Johnston & Poulton (2009) schrijven: “Het optimaliseren van het gebruik en de benutting van kunstmest-N, gegeven in de aanbevolen hoeveelheid voor de verwachte opbrengst, vereist dat geen factor, waar de boer invloed op heeft, de opbrengst negatief kan beïnvloeden”.

Voor een goede benutting van de gegeven stikstof moeten daarom de bodemkwaliteit en de voorziening met andere nutriënten, die belangrijk zijn voor de gewasgroei, in orde zijn. Dit is een basisvoorwaarde om voldoende profijt te hebben van het gekozen meststoftype, de toedieningsvorm en fysiologische en andere van belang zijnde aspecten. Dit hoofdstuk geeft een samenvatting van de belangrijkste basisvoorwaarden. Hierbij is gebruik gemaakt van de cursus “Gebruiksnormen, hoe red ik dat op mijn bedrijf? Deel II Melkveehouderij” (Cursusmap, 2010) Deze cursusmap is samengesteld door Wageningen UR Livestock Research en Nutriënten Management Instituut NMI. Dit Hoofdstuk is daarom geschreven in de adviesvorm.

9.1 De structuur van de bodem

De structuur van de bodem is belangrijk voor een goede doorworteling en vochtvoorziening van het gewas. Door diepere beworteling kan het gewas meer stikstof, fosfaat en andere nutriënten uit de bodem benutten en zal het minder gevoelig zijn voor droogtestress.

Aandachtspunten:

Zorg voor een goede ontwatering

Bij een goede ontwatering zijn binnen een dag de plassen van het land.

Een slechte ontwatering kan, naast natuurlijke oorzaken (ligging), ook veroorzaakt worden door storende lagen in de bodem. Het doorbreken van deze lagen is dan nodig om de waterafvoer te herstellen.

Storende lagen kunnen worden opgeheven door grondbewerking bij herinzaai. Een ploegzool kan relatief eenvoudig worden doorbroken door kouters te monteren.

Het ‘rondploegen’ van een perceel kan tegen lage kosten de ontwatering al flink verbeteren. Een ander alternatief is het graven van greppels.

Bestaande drainagebuizen moeten jaarlijks gecontroleerd worden op doorlopen. Drainage heeft weinig zin als de buizen verstopt zijn.

De voordelen zijn: kleinere kans op N-verliezen door denitrificatie en uitspoeling, minder structuurschade, betere beworteling, betere nutriëntenlevering en daardoor een hogere opbrengst en betere kwaliteit van het gewas.

Bekalk regelmatig

Het is verstandig om minimaal eens per vier jaar de bodem te analyseren, onder andere op de zuurgraad (pH). Als de pH lager is dan het gewenste niveau, is bekalking nodig. De streefwaarde voor de pH is tussen de 4,8 en 5,6 voor grasland en tussen de 5,3 en 5,9 voor maïsland. Op grasland kan een pH-daling van 5,6 tot 4,3 een opbrengstdaling van 10% geven. Bij snijmaïs kan een daling van de pH van 5,3 tot 4,4 al 6% opbrengst kosten. Bij een verdere daling tot 4,2 is dit 15% en bij een pH van 4 zelfs 25% (Cursusmap, 2010). Daarmee is bekalking al snel een winstgevende maatregel. Zie verder § 9.2.

Pas vruchtwisseling toe in plaats van continueelt

Bij continueelt wordt snijmaïs meerdere jaren achtereen op hetzelfde perceel geteeld. Hierdoor kunnen ziekten ontstaan en kan het organische stofgehalte snel dalen. Bij vruchtwisseling wordt continueelt snijmaïs en continueelt grasland op afzonderlijke percelen vervangen door een afwisseling van deze teelten op één perceel. In plaats van gras kan bij continueelt van snijmaïs ook af en toe een graangewas voor silage of krachtvoer geteeld worden. Evenals gras hebben granen door hun intensieve en diepe beworteling een gunstig effect op bodemstructuur, het gehalte aan organische stof en het bodemleven.

Door de betere bodemstructuur, de diepere beworteling en verminderde ziektegevoeligheid is de snijmaïsofbrengst bij vruchtwisseling zo'n 1,5 ton drogestof per ha hoger en op grasland de grasopbrengst 0,5 ton drogestof per ha (Cursusmap, 2010).

Bij vruchtwisseling moet grasland vaker gescheurd worden, waardoor het gehalte organische stof op deze percelen daalt. Beperk de vruchtwisseling daarom tot die percelen grasland waar graslandvernieuwing noodzakelijk is.

Geef voldoende organische mest

Bij lage drijfmestgiften kan het gehalte aan organischestof dalen, ook op grasland (Cursusmap, 2010). Een totaalgift van 50 tot 60 kuub organische mest (drijfmest en weidemest) is nodig om het gehalte op een gebruikelijk niveau te handhaven. Bij snijmaïs is een gift van minimaal 35 kuub aan te bevelen. Bemesting met organische mest houdt de pH op peil. In onderzoek op grasland daalde de pH bij bemesting met alleen kunstmest gedurende zes jaar van 6,1 tot 5,2. Bij drijfmest bleef de pH op 6,1 gehandhaafd. Door dit effect hoeft minder vaak bekalkt te worden.

Bij snijmaïs in continueelt kan voldoende aanvoer van organische mest de negatieve effecten van continueelt op organische stof en het NLV afremmen.

Teel een groenbemester na snijmaïs

Als groenbemesters worden na de snijmaïs vaak bladrogge, Italiaans raaigras of een mengsel van beide ingezaaid. De groenbemester wordt vervolgens in het voorjaar klein gemaakt en ondergewerkt. De groenbemester verhoogt de benutting van de gegeven stikstof door opname van stikstof aan het eind van het groeiseizoen, waardoor minder stikstof uitspoelt naar het grondwater. Door mineralisatie van vastgelegde stikstof uit de groenbemester in het volgende voorjaar hoeft dit minder op het volggewas bemest te worden (10-40 kg N per ha).

De groenbemester verbetert de structuur van de grond door een betere doorworteling. De groenbemester zorgt ook voor aanvoer van jonge organische stof. Onderzoek op Aver Heino geeft aan dat et jaarlijks telen van een groenbemester op termijn leidt tot een 10-15% hogere opbrengst (Cursusmap, 2010).

Dit wordt bevestigd door onderzoek van Johnston & Poulton (2009) met aardappelen en suikerbieten op veldjes met een verschillend gehalte aan bodem organische stof. In Tabel 9.1 zijn de opbrengsten gegeven bij een uiteenlopende N-bemesting.

Tabel 9.1 Gemiddelde opbrengst aan aardappelen en suikerbieten (ton per ha) bij twee niveaus aan organische stof in de bodem en 4 N-bemestingsniveaus (uit Johnston & Poulton, 2009).

Gewas	% os in de bodem	Toegediende kunstmest-N in kg per ha			
		0	72	144	216
Aardappelen	4,32	24,2	38,4	44	44
	1,73	11,6	21,5	29,9	36,2
Suikerbieten	4,32	27,4	43,5	48,6	49,6
	1,73	15,8	27,0	39,0	45,6

De onderzoekers geven aan dat het belang van een goed gehalte aan bodem organische stof toeneemt naarmate de opbrengstpotentie van de gewassen hoger is. Een hoger gehalte aan organische stof geeft een hogere N-efficiëntie. De tabel laat zien dat het opbrengstverschil groter is naarmate de N-bemesting lager is. In het verleden zijn veel opbrengstverschillen weggepoetst door extra N-bemesting. Door de gebruiksnormen is dit niet meer mogelijk.

Streef naar ontlasten van de bodem en voorkomen van vertrapping

Het doel van bodemontlasting is om de bodemstructuur zoveel mogelijk te sparen door aanpassingen in het bedrijfsmanagement en aan machines.

Wees in het voorjaar geduldig en berijd de grond alleen als de omstandigheden het toelaten.

Kies voor een lage bandenspanning (0,8 bar in het voorjaar en 1,0 in de zomer) en gebruik wanneer nodig brede banden of dubbellucht.

Dien op kwetsbare bodems drijfmest toe met sleepslangen.

Houdt de koeien binnen als een weideperceel te nat is, of zet ze op een perceel dat minder gevoelig is voor vertrapping.

Beperk herinzaai van blijvend grasland

Bij het ploegen voor herinzaai komt veel van de organische stof uit de toplaag onder in de bouwvoor terecht en wordt de aanwezige organische stof versneld afgebroken. Hierdoor neemt het stikstofleverend vermogen van een perceel af. Intensieve grondbewerking heeft verder een negatief effect op het bodemleven, en dan vooral op regenwormen.

Advies: Beoordeel, als graslandvernieuwing nodig is, eerst de bodemstructuur. Is deze slecht, kies dan voor herinzaai met grondbewerking. Is deze goed, kies dan voor doorzaai van grasland.

9.2 De zuurgraad of pH van de bodem

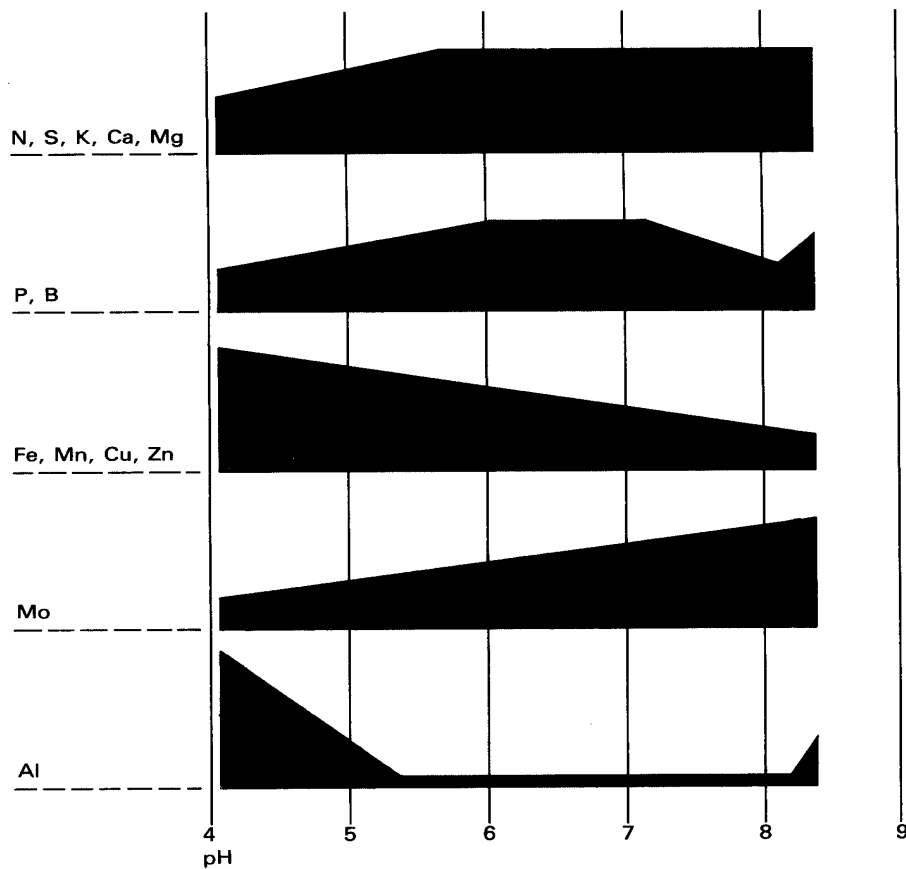
Een belangrijke parameter is de zuurgraad of pH van de bodem.

Een goede pH is belangrijk voor:

- De opbrengst van gras- en maïslaan (zie § 9.1.);
- De botanische samenstelling van het grasland. Goede grassen als Engels raaigras gedijen beter bij een goede pH en slechte grassen doen het beter bij een lagere pH;
- De minerale samenstelling van het gras. Bij een goede pH neemt de beschikbaarheid en de opname van fosfaat uit de bodem toe. Ook de opname van stikstof, zwavel, kali, calcium en magnesium is hoger bij een goede pH (Figuur 9.1);
- De mineralisatie van de organische stof. Bij een goede pH is er meer mineralisatie van de

organische stof. Er komt dan meer stikstof uit de bodem beschikbaar;

- Structuur. Een goede pH heeft een positief effect op de structuur van de bodem; en
- De biologische activiteit. Ook het bodemleven is gebaat bij een goede pH.



Figuur 9.1. De opname van verschillende nutriënten door gras in afhankelijkheid van de pH van de bodem.

Figuur 9.1 geeft een beeld van de opname van nutriënten uit de bodem van grasland onder invloed van de pH. De Figuur laat zien dat de opname van de vier macro-elementen N, P, K en S, die direct van invloed zijn op de grasopbrengst, toeneemt tot een pH van 5,6.

De pH van maïsland

De database van het BLGG AgroXpertus Oosterbeek geeft aan dat de pH van de onderzochte snijmaïspcelen gemiddeld 5,0 is. De gewenste pH is afhankelijk van de grondsoort, het percentage organische stof en het percentage lutum. Het streeftraject voor de pH ligt tussen 5,3 en 5,9. Op de percelen met snijmaïs in continuïteit had 24 procent van de percelen een lage en 48 procent een vrij lage pH. Dit is zeker een aandachtspunt voor een goede benutting van de gegeven stikstofmeststof en van het fosfaat.

9.3 Fosfaat

Zoals vermeld zijn fosfaat, kali en zwavel naast stikstof direct van invloed op de grasopbrengst. Als deze nutriënten in onvoldoende mate aanwezig zijn neemt de benutting van de gegeven stikstofmeststof af.

Fosfaat is belangrijk voor;

- In de plant is fosfor (P) nodig voor de vorming van bepaalde kerneiwitten en speelt het een rol bij verschillende processen als fotosynthese en ademhaling;
- Gebrek aan fosfaat kost opbrengst, remt de groei van gewassen en leidt tot een slechtere benutting van stikstof en andere voedingsstoffen. Fosfaat is weinig mobiel in de bodem en moet daarom dichtbij de wortels aanwezig zijn;
- Bovengronds geeft het een sterkere uitstoeling en daardoor een dichtere grasmat;
- Het heeft een positief effect op de kwaliteit van de grasmat. Fosfaat bevordert de ontwikkeling van goede grassen als Engels raaigras en beemdlangbloem en van witte klaver. Slechte grassen worden bij een goede fosfaattoestand sterk teruggedrongen; en
- Het is van belang voor de korrelproductie van granen en maïs en bevordert de afrijping van het gewas.

Aandachtspunten

- Het geven van gemakkelijk voor de plant opneembaar fosfaat is vooral van belang in het voorjaar. De grond is dan nog koud en nat. Er is nog weinig fosfaat uit de bodemvoorraad gemineraliseerd. Het gras heeft dan behoefte aan gemakkelijk opneembaar fosfaat. Fosfaat uit dierlijke mest en fosfaat uit kunstmeststoffen zijn beide gemakkelijk opneembaar. Het advies is dan ook om alle graslandpercelen in het voorjaar te bemesten met dierlijke mest;
- Geef op nieuw ingezaaide percelen, waar bij het inzaaien en daarna geen mest kan worden gegeven, een gift met kunstmestfosfaat. Dit heeft een positief effect op de opbrengst en bevordert de dichtheid van de graszode;
- Geef percelen met een lage of vrij lage fosfaattoestand een keer extra dierlijke mest. Deze percelen kunnen het extra fosfaat goed gebruiken. Het advies op deze percelen is er ook opgericht dat de fosfaattoestand verbetert richting voldoende; en
- Geef percelen met een ruim voldoende of hoge fosfaattoestand een keer minder dierlijke mest. Deze bodem levert voldoende fosfaat. Op deze percelen zal de fosfaattoestand dan wat gaan dalen richting voldoende.

9.4 *Kalium*

Kalium vervult een onmisbare functie bij de stofwisselingsprocessen in de plant:

- K is het begeleidende ion bij het transport van NO_3^- en aminozuren vanuit de wortels naar de bovengrondse delen. Bij een tekort aan K wordt de opname van N geremd, wat leidt tot groeireductie;
- K bevordert de productie van koolhydraten. Een hogere productie aan koolhydraten zorgt voor een snellere grasgroei en een hogere opbrengst;
- K vermindert de gevoeligheid van gewassen voor droogte. Kalium bevordert namelijk de vochtopname door de wortels en gaat de afgifte van water door het blad tegen;
- K vermindert de gevoeligheid van het gewas voor vorst en nachtvorst;
- K kan de schade door sommige ziekten (enigszins) beperken. Bij een voldoende K-voorziening is gras minder gevoelig voor roest en meeldauw en is maïs minder gevoelig voor legering; en
- K heeft een gunstige invloed op de kwaliteit van het grasbestand. Vooral Engels raaigras en witte klaver vragen om een goede kalivoorziening.

Aandachtspunten

- Bemest in het voorjaar al het grasland met dunne rundveemest. Van in het voorjaar gegeven mest is de stikstofwerking hoog. Het fosfaat uit de mest is gemakkelijk beschikbaar. Kali spoelt gemakkelijk uit. Een aanvulling met kali is dan op zijn plaats;
- Geef niet meer dan 25 -30 m³ op maaipercelen en op te beweiden percelen liefst minder. Met 25 -30 m³ geeft u 155 - 185 kg K₂O per ha. Dit is voldoende voor een maaisnede bij een lage K-toestand. Bij een hogere kalibemesting wordt het K-gehalte in deze kuilsnede onnodig hoog. Voor een weidesnede is het advies in het voorjaar 80 - 100 kg K₂O per ha. Een gift van 15 - 20 m³ mest per ha is dan voldoende; en
- Snijmaïs is heel gevoelig voor een K-tekort. Met 35 m³ mest wordt 210 à 220 kg K₂O per ha toegediend. Bij een voldoende of lage K-toestand is het advies 300 kg K₂O per ha. Aandacht voor de K-voorziening bij snijmaïs is gewenst om de gegeven N-meststof goed te kunnen benutten.

9.5 Zwavel

De depositie van zwavel is sterk afgenomen tot 10 à 12 kg S per ha jaar⁻¹. De onttrekking door een grasgewas is zo'n 30 – 40 kg S per ha jaar⁻¹. Er is dus kans op een S-tekort.

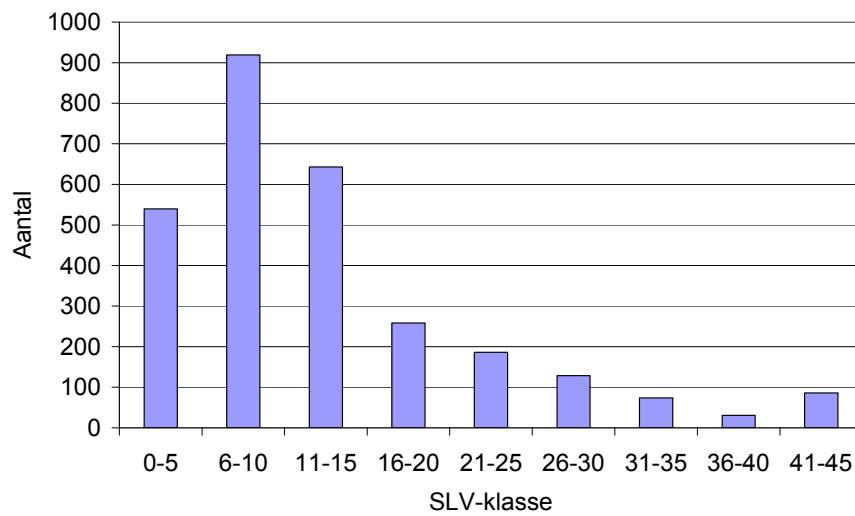
Belang van zwavel:

- Zwavel is essentieel voor de groei van het gras. Het vervult een functie bij de fotosynthese en de eiwitvorming;
- Zwavel is een bestanddeel van de aminozuren methionine en cysteïne. Dit zijn voor het vee essentiële aminozuren;
- Zwaveltekort leidt tot een lagere eiwitopbrengst en -kwaliteit; en
- Zwavel verhoogt de weerstand van planten tegen stress en tegen aantasting door ziekten.

Zwavel is uitspoelingsgevoelig. Een tekort zal zich het eerst voordoen op een humusarme zandgrond. Metingen op proefvelden op zandgrasland lieten opbrengstreacties zien van 400 – 2000 kg droge stof per ha per jaar (Bussink & Postma; 2002). S in dierlijke mest is organisch gebonden en komt vooral in de eerste sneden maar beperkt beschikbaar. Het S-bemestingsadvies is dan ook gericht op de S-voorziening uit kunstmeststoffen in de eerste twee sneden.

Ook op snijmaïspercelen is er een risico van een S-tekort, Onlangs is een studie uitgevoerd om na te gaan of bij een sterk afgenomen depositie en een afnemende bemesting met dierlijke mest de S-voorziening van de maïs voldoende blijft voor een optimale gewasproductie en samenstelling (Den Boer et al., 2007). Deze studie geeft aan dat voor een hoge maïsopbrengst op zand en löss bij een SLV van 10 of lager er niet voldoende S beschikbaar is voor een optimale groei. Figuur 9.2 laat zien dat dit op 50 – 60% van de maïspercelen het geval is. Een lager S-gehalte in de maïs gaat ook gepaard met een lager eiwitgehalte.

Een S-bemestingsadvies voor snijmaïs wordt momenteel ontwikkeld. Op basis van bovenstaande studie is het voorshands aan te bevelen op zandgrond en löss met een SLV ≤ 10 een beperkte bemesting van circa 10 kg S per ha toe te passen voor een goede N-benutting.



Figuur 9.2. Aantal monsters per SLV-klasse bij continu teelt op zand, gemiddeld over 2003-2007.

Aandachtspunten

- Zorg voor een voldoende S-bemesting in de eerste en/of de tweede snede. Doordat S uitspoelingsgevoelig is en de mineralisatie uit de bodem in het voorjaar nog beperkt is, is het risico van S-tekort dan het hoogst; en
- Bemest snijmaïs met 10 kg S per ha jaar⁻¹.

10 Timing en teeltaspecten

In het voorgaande is aangegeven dat type en toedieningsvorm van de N-meststoffen van invloed zijn op de benutting van de gegeven meststoffen en de mate waarin verliezen optreden. In Hoofdstuk 9 is aangegeven dat voor een optimale N-benutting de bodemstructuur en de voorziening met andere nutriënten, die van belang zijn voor de groei van gras en maïs, in orde moeten zijn. Daarnaast zijn er managementfactoren die van invloed zijn. In dit hoofdstuk passeren een aantal van belang zijnde managementaspecten de revue.

10.1 Bemesting in het voorjaar

10.1.1 Alle percelen mest

In het voorjaar is het van belang dat, zoveel mogelijk, alle graslandpercelen dierlijke mest krijgen. De benutting van de gegeven N uit mest is dan het hoogst. Het gras kan dan ook de andere nutriënten uit mest goed gebruiken. In het voorjaar, als de grond nog koud en nat is, heeft het gras behoefte aan het gemakkelijk beschikbare fosfaat uit de mest. Kali is gevoelig voor uitspoeling. Vooral op de zandgronden kan het gras de kali uit mest in het voorjaar goed gebruiken. De zwavel in de mest is organisch gebonden. Van de gegeven S komt in het voorjaar niet meer dan 20% tot werking.

De te geven hoeveelheid mest is afhankelijk van het gebruik van de eerste snede: maaïen of weiden. Voor een te maaïen perceel kan 25 -30 m³ mest per ha gegeven worden. Met de mest wordt dan zo'n 150-180 kg kali gegeven. Dit is voldoende voor percelen met een lage kalitoestand.

Kali wordt, evenals stikstof, gemakkelijk opgenomen door het gewas. Hoge kaligiften leiden tot hoge kaligehalten in het gras. Deze hoge gehalten zijn nadelig voor de gezondheid van het vee.

Voor te beweiden percelen is het advies bij een lage kalitoestand 100 en bij een voldoende toestand 60 kg kali per ha. Daarom is het advies te beweiden percelen in het voorjaar niet meer dan 15-20 m³ mest per ha te geven. Overwogen kan worden aan de mest een nitrificatieremmer (Piadin) toe te voegen. De omzetting van ammonium wordt dan vertraagd en het risico van verliezen door uitspoeling en denitrificatie neemt af.

10.1.2 N-gift afstemmen op gebruik: maaïen of weiden

Van belang is de hoeveelheid aanvullende kunstmest-N af te stemmen op het gebruik van de percelen. De bemesting van een maaïsnede van circa 3000 kg drogestof per ha is gericht op een ruw eiwitgehalte in het gras van 180 – 190 gram RE per kg drogestof. Wanneer te beweiden percelen deze hoeveelheid N krijgen en vervolgens ingeschaard worden bij 1700 kg ds, dan is het RE-gehalte en het OEB-gehalte in het gras aanzienlijk verhoogd. Dit leidt tot hoge ureumgehalten in de melk. Een melkveehouder heeft dan een dubbel nadeel: een verhoogd ureumgehalte kan leiden tot meer mestafvoer en de gegeven N had bespaard kunnen worden of later in het seizoen beter benut.

10.1.3 Voorjaarsmeststoffen

Bij het gebruik van voorjaarsmeststoffen kan met 80% van de hoeveelheid N per ha worden volstaan in vergelijking met KAS. Het gebruik van voorjaarsmeststoffen leidt tot minder verliezen door uitspoeling en/of denitrificatie. Ook de verliezen aan het broeikasgas N₂O (lachgas) kunnen aanzienlijk lager zijn. Veehouders kunnen dan met een lagere N-gift volstaan of de bespaarde stikstof later in het seizoen nuttig gebruiken.

Aandachtspunten

- De nitrificatieremmer uit de voorjaarsmeststof Entec en de nitrificatieremmer toegevoegd aan mest (Piadin) inactiveren beide de Nitrosomonas bacterie in de grond, die de nitrificatie bevordert. Onderzoek gaf aan dat het toevoegen van de nitrificatieremmer aan beide, de voorjaarsmeststof en de mest, niet leidde tot een meeropbrengst in vergelijking met toevoegen alleen aan de voorjaarsmeststof of alleen aan de mest;
- Door geen stikstofkunstmest te strooien als in de komende week veel neerslag wordt verwacht kan een veehouder het risico van uitspoeling en/of denitrificatie aanzienlijk verminderen; en
- De benutting van de gegeven stikstof verbetert aanzienlijk door het gebruik van een goed afgestelde kunstmeststrooier en het gebruik van kantstrooiapparatuur.

10.1.4 Sturen op RE-gehalte in het gras

Door gebruik te maken van het programma: 'Regras: stuur de stikstofgift op Nmin en het ruw eiwitgehalte van het gras' (www.nmi-agro.nl) kan een veehouder de benutting van de gegeven N-meststof nog verhogen. Het programma bestaat uit drie onderdelen:

- Deel 1 geeft in het voorjaar een advies voor het beste strooimoment van de stikstofkunstmest. Het houdt hierbij rekening met het opgegeven gewenste RE-gehalte, de gewenste grasopbrengst en N-benutting. Het programma berekent het RE-gehalte op basis van de gemiddelde weersgegevens van 25 jaar en houdt voor het strooimoment rekening met de actuele weerssituatie en de opgegeven bodemvruchtbaarheid;
- Deel 2 geeft in april op basis van de gerealiseerde bemesting een indicatie wanneer de streefopbrengst met het gewenste RE-gehalte wordt gehaald. Eerder weiden of maaien betekent dan een hoger RE-gehalte en weiden of maaien bij een hogere opbrengst een lager RE-gehalte; en
- Deel 3 geeft in de zomerperiode van mei tot augustus inzicht in de variaties in de N-mineralisatie door gunstige of ongunstige weersomstandigheden in de gekozen/aangeklikte regio. Een veehouder kan de N-bemesting hierop aanpassen.

10.2 Verdeling over het seizoen

Het landbouwkundige bemestingsadvies voor grasland geeft de stikstofjaargift die nodig is voor een optimale graslandopbrengst. De stikstofjaargift is de hoeveelheid werkzame N uit mest en kunstmest. Deze geadviseerde stikstofjaargift is afhankelijk van het Stikstof Leverend Vermogen (NLV) van de grond. Een NLV van 140 komt op zandgrond veel voor. De geadviseerde stikstofjaargift is dan 340 kg N per ha. In het navolgende is daarmee verder gewerkt. Een uitgebreid overzicht van stikstofjaargiften en de geadviseerde verdeling over de sneden bij een uiteenlopend gebruik is te raadplegen op www.bemestingsadvies.nl.

10.2.1 Verdeling over de sneden

Voor een goede opbrengst en N-benutting is het belangrijk een juiste keuze te maken voor de verdeling van de stikstof over de sneden. In Tabel 10.1 is de stikstofbemesting per snede gegeven voor grasland met een NLV van 140 bij drie bemestingsregimes (Koe & Wij, 2007):

- Bemesten volgens advies (340 N);
- Bemesten bij advies – 100N (240 N); en
- Bemesten bij advies – 100N (240 N) met andere N-verdeling over het seizoen.

Gekozen is voor een systeem waarin de eerste en vierde snede worden gemaaid en de overige sneden beweiden.

Tabel 10.1 . N-bemesting per snede bij drie bemestingsregimes.

Snede	1	2	3	4	5	6
Gebruik	M	W	W	M	W	W
Advies	135	48	49	64	24	21
Advies – 100 N	96	34	35	38	15	19
Advies – 100 N aangepast	108	34	35	30	15	10

Door de gebruiksnormen is het in veel gevallen niet meer mogelijk volgens het advies te bemesten. Daarom is ervoor gekozen het bemestingsadvies ook weer te geven voor een bemesting bij 240 kg N per ha (advies – 100N). In deze situatie zijn alle sneden procentueel gekort. Dit advies is gericht op een bij benadering constant RE –gehalte in het gras. Het RE-gehalte varieert hierbij van 175 -190 gr RE per kg ds (Tabel 10.2).

Tevens is een aangepast advies opgenomen (advies -100N aangepast). Hierbij is N-gift in het voorjaar verhoogd ten koste van de vierde en laatste snede. Het voordeel hiervan is dat meer geprofiteerd kan worden van potentie van het grasland in het voorjaar. In het voorjaar is de zodedichtheid over het algemeen hoog en door de hoge lichtintensiteit kan graskuil gewonnen worden met meer suikers en een goede kwaliteit. De eerste snede is de basis voor de voeding in de volgende winterperiode.

De laatste 10N per ha voor de zesde snede is in veel gevallen nog beschikbaar uit de nawerking van eerder gegeven mest. Er hoeft dan geen aanvulling met kunstmest plaats te vinden. Dit komt later nog aan de orde.

In Tabel 10.2, Tabel 10.3 en Tabel 10.4 zijn het ruw eiwitgehalte (RE), het darm verteerbaar eiwit (DVE) en de onverteerbaar eiwit balans (OEB) gegeven voor de drie bemestingsregimes.

Tabel 10.2. Het ruw eiwitgehalte per snede bij drie bemestingsregimes.

Snede	1	2	3	4	5	6
Gebruik	M	W	W	M	W	W
Advies	197	189	205	205	205	205
Advies – 100 N	175	176	188	183	182	190
Advies – 100 N aangepast	183	175	187	174	182	172

Bij het aangepaste regime is het ruw eiwitgehalte in de eerste snede hoger en in de laatste snede lager dan bij Advies – 100N.

Tabel 10.3. Darm verteerbaar eiwit (DVE; volgens DVE-systeem 2007) bij drie bemestingsregimes.

Snede	1	2	3	4	5	6
Gebruik	M	W	W	M	W	W
Advies	91	88	88	86	87	87
Advies – 100 N	87	86	85	82	83	84
Advies – 100 N aangepast	88	85	85	80	83	80

Bij het lagere N-regime is de hoeveelheid DVE vier gram per kg ds lager ten opzichte van het advies. Bij het aangepaste regime is het DVE in de eerste snede wat hoger en in de vierde en laatste snede licht lager dan bij Advies -100N, maar blijft op een heel acceptabel niveau.

Tabel 10.4. Onverteerbaar eiwit balans (OEB) bij drie bemestingsregimes.

Snede	1	2	3	4	5	6
Gebruik	M	W	W	M	W	W
Advies	28	22	36	36	33	31
Advies – 100 N	10	11	21	17	13	18
Advies – 100 N aangepast	17	11	21	10	13	4

Het lagere N-regime heeft vooral invloed op het OEB-gehalte. Bij verlagen van de N-bemesting daalt eerst het OEB- en het RE-gehalte. Als ook het DVE-gehalte sterk daalt, dan is de kans groot dat er groeivertraging en daarmee opbrengstderving is opgetreden.

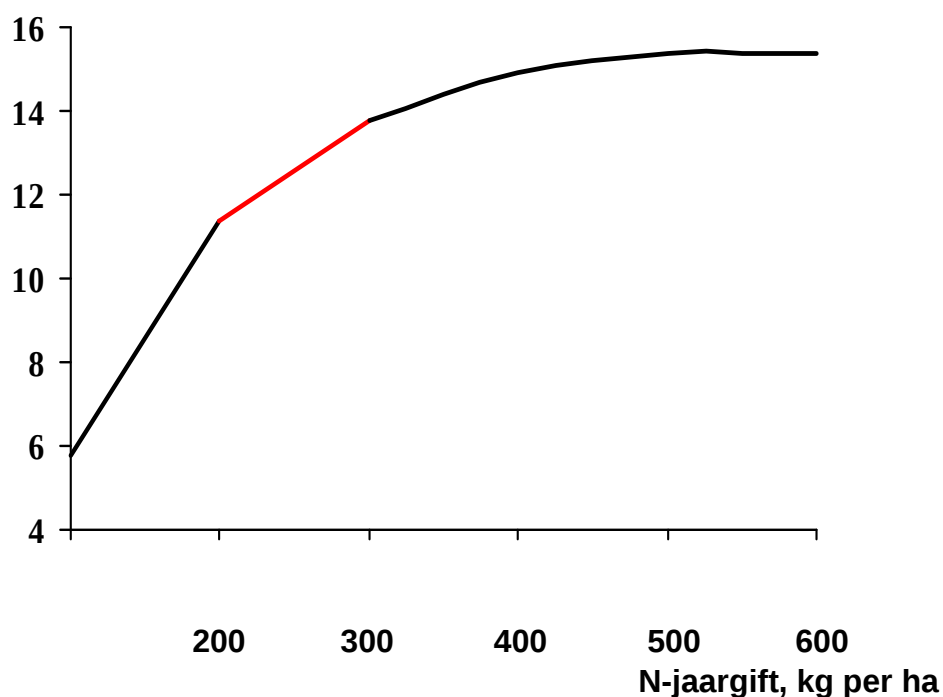
Bij een lager OEB is het eenvoudiger een lager ureumgetal in de melk te realiseren. Bij het aangepaste advies is het OEB vooral in de laatste snede verlaagd. Bij een hoge mineralisatie uit de bodem na een warme periode is het dan mogelijk het verhogend effect hiervan op het ureumgetal in de melk te beperken.

10.2.2 Alle percelen even ver beneden advies

Voor een optimale graslandproductie en N-benutting is het gewenst om alle graslandpercelen procentueel even ver beneden het landbouwkundig advies te bemesten. Dit geeft het minste opbrengstverlies.

Figuur 10.1 laat zien dat de opbrengst sterker daalt naarmate de bemesting verder beneden het landbouwkundig advies komt. Daarom is het verstandig een perceel met een NLV van 100 en een advies van 360 kg N per ha per jaar procentueel evenveel te korten als een perceel met een NLV van 200 en een advies van 300 kg N per ha per jaar.

Ds-opbrengst, t per ha



Figuur 10.1. Relatie tussen de N-jaargift en de opbrengst

10.2.3 Benutten werking en nawerking van N uit mest

In dunne rundveemest met 4,4 kg N per m³ is ongeveer 2,2 kg N aanwezig als minerale N (N-min) en 2,2 kg N als organisch gebonden N (N-org). Van deze mest komt gemiddeld 50 procent in het jaar van toedienen beschikbaar voor het gras

Hoeveel van de mest tot werking komt in de snede na toedienen is afhankelijk van de weersomstandigheden. Als vuistregel kan worden aangehouden:

- Vuistregel-
 - 30 % van N in snede van toedienen;
 - 10 % in snede na toedienen; en
 - 10% in volgende snede.

In Tabel 10.5 is als voorbeeld de werking en nawerking gegeven van op verschillende tijden gegeven mest.

Tabel 10.5. Werking en nawerking (kg N per ha) uit rundveemest met 4,4 kg N per m³ op grasland.

Werking in snede	1	2	3	4	5	6	
25 m³ mest in voorjaar		33	11	11			
15 m³ mest voor derde snede				20	7	7	
15 m³ mest voor vierde snede in juli				20	7	7	
Totaal		33	11	31	27	14	7

De werkzame N uit de 55 m³ is 123 kg N per ha. Deze hoeveelheid werkzame N kan op de kunstmest stikstofgift bij de gekozen strategie advies – 100N of het aangepaste advies – 100N in mindering worden gebracht. Een goede verdeling van de N over de sneden zorgt voor een goede benutting van de gegeven stikstof en een redelijk constant RE- en DVE-gehalte. Tabel 10.5 laat ook zien dat de laatste N in snede 6 niet afkomstig is uit kunstmest maar uit de nawerking van de gegeven mest.

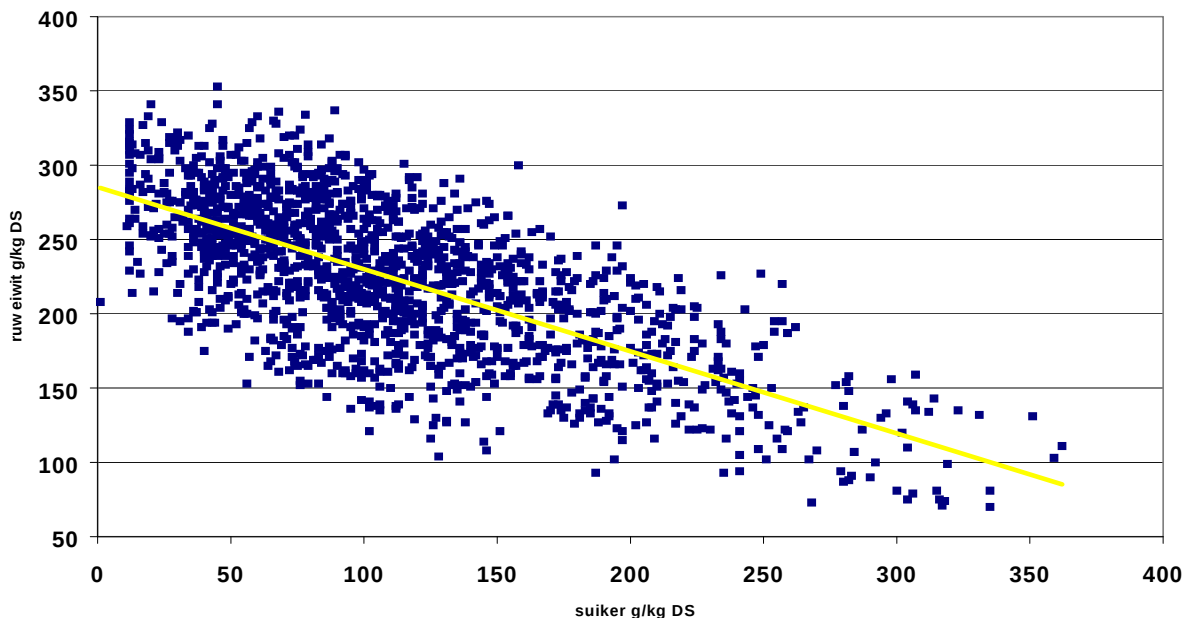
10.2.4 Snedezwaarte

Niet alleen bij de eerste snede in het voorjaar maar ook bij latere sneden is het belangrijk de stikstofgift af te stemmen op het gebruik weiden of maaïen. Hierbij is het ook belangrijk om na het oogsten van een zwaardere snede dan gepland wat extra N te geven en na het oogsten van een lichtere snede juist wat minder.

10.2.5 Tijdig afbouwen stikstofbemesting

In § 10.1.1 is geadviseerd om in het voorjaar niet meer dan 25 – 30 m³ mest te geven op maaipercelen en een lagere gift op te beweiden percelen. Dit advies is erop gericht om te hoge kaligehalten in weidegras en voorjaarskuilen te voorkomen. Deze mest komt in juli/augustus goed van pas. Het grasland op zandgrond en löss kan de kali dan goed gebruiken. In de nazomer is de grond warm en de mineralisatie hoog. Samen met de nawerking van de N uit mest (zie § 10.2.3) krijgt het gras dan voldoende stikstof en ook kali. Het is dan minder gevoelig voor roest en meeldauw. Een aanvullende bemesting met kunstmest is dan meestal niet meer nodig.

Figuur 10.2 geeft de relatie tussen het RE-gehalte in het gras en de hoeveelheid suikers in een groot aantal analyses van BLGG AgroXpertus. Het suikergehalte is lager bij een hoger RE-gehalte.



Figuur 10.2. Verband tussen het RE-gehalte en het suikergehalte in het gras (Bron BLGG AgroXpertus).

In het najaar is de lichtintensiteit lager, waardoor er minder suikers gevormd worden. Deze suikers worden gebruikt voor de vorming van koolhydraten en van ruw eiwit. Door te zorgen dat de stikstofvoorziening van het gras niet te hoog is blijven er meer suikers over in het gras. De smakelijkheid van het gras neemt dan toe.

Door de stikstofbemesting tijdig af te bouwen:

- voorkomt men een hoog RE-gehalte in het gras en daardoor een verhoogd ureumgetal in de melk;
- is er geen overdadige hoeveelheid herfstgras; en
- is het herfstgras smakelijker met een hoger suikergehalte.

10.3 Smakelijkheid weidegras

Een ander aspect van de benutting van stikstof is het beperken van de verliezen bij beweiden. Veel weideresten leiden tot een lagere N-benutting en voor de veehouder tot een hogere aanvulling van het rantsoen met krachtvoer om de melkproductie op peil te houden.

10.3.1 Etgroen

Het advies is zoveel mogelijk alle percelen na een maaisnede (etgroen) te beweiden. De grasopname uit etgroen is 1 – 1,5 kg drogestof per dier per dag hoger (Koe & Wij, 2007). Om alle maaipercelen na de eerste snede te kunnen beweiden is het gewenst niet het gehele maaiblok in één keer te oogsten, maar groeitrappen aan te leggen.

Veehouders die het hele maaiblok wel in één keer oogsten kiezen er soms voor om de eerste maaipercelen in een heel kort stadium af te laten weiden. Het advies is dan om op percelen waar nog aanzienlijk minder dan een weidesnede staat de bemesting met kunstmeststikstof uit te stellen tot na deze beweiding. Daarmee wordt opnemen van weidegras met een hoog RE-gehalte en een lagere N-benutting voorkomen.

10.3.2 Bevorderen smakelijkheid

Mest op te beweiden percelen

Geef na de eerste snede geen mest op te beweiden percelen:

De smakelijkheid van het gras en de opname ervan is na bemesting aanzienlijk lager.

De kali uit de mest leidt tot hoge kaliumgehalten in het gras. Dit is nadelig voor de gezondheid van het vee.

De kali uit de mest drukt het natriumgehalte. Natrium heeft een positief effect op de grasopname.

Kroonroest

Engels raaigras is gevoelig voor kroonroest. Kroonroest is een schimmel die meer optreedt bij stress (tekort aan vocht of nutriënten)

Door het gebruik van roestresistente rassen en het toedienen van 10 – 15 m³ mest per ha in juli/augustus kan de aantasting door roest worden beperkt.

Natrium

Door het natriumgehalte in gras te verhogen (Phillips et. al., 1999) neemt de smakelijkheid en de grasopname toe. Bij beweiden is het daarom aan te bevelen in juli een extra bemesting met 100 kg landbouwsout per ha (50 kg Na₂O per ha) uit te voeren.

Bossen maaien

Wanneer een perceel meer dan twee keer wordt beweid is het aan te bevelen de weideresten weg te maaien. Deze resten worden in de volgende snede niet opgenomen. De opname van een schoon perceel is weer hoger. In de nazomer kan ook een stinkende zode oorzaak zijn van een slechte grasopname. Door het perceel na beweiden goed schoon te maaien en vervolgens in te scharen bij een lichte weidesnede (1300 – 1500 kg ds per ha) verbetert de grasopname.

Suikers

Suikers zijn van invloed op de smakelijkheid van gras. Vooral in de nazomer kan de smakelijkheid worden verhoogd door de N-bemesting tijdig af te bouwen (§ 10.2.5).

Gras/klavers

Het telen van een mengsel van gras/klaver bevordert de smakelijkheid van het gewas. De opname van gras/klaver is 1 – 1,5 kg drogestof per dier per dag hoger dan van alleen gras (Koe & Wij, 2007). Daarnaast zorgt klaver voor een continue stikstofaanvoer. Het gras blijft aan de groei, is minder gevoelig voor kroonroest en daardoor smakelijker.

10.4 *Herinzaaien grasland en inzaaien bouwland*

- Bij herinzaaien van grasland komt in het jaar na het scheuren zo'n 100 kg N per ha beschikbaar voor het gewas. Deze kan op de N-gift in mindering worden gebracht en goed worden gebruikt op andere percelen.
- Bij het inzaaien van gras na bouwland (bijvoorbeeld land dat een jaar in gebruik is geweest voor de teelt van maïs) moet opnieuw een zode worden gevormd. In de zode wordt stikstof vastgelegd. Daarom is het advies om in het jaar van inzaaien 50 kg N per ha extra te geven ten opzichte van het advies of ten opzichte van de gift op andere graslandpercelen. In het tweede jaar na inzaaien is dan nog 25 kg N per ha extra nodig.

11 N-bemesting in de praktijk

Over de werkelijke N gift per snede op praktijkbedrijven is weinig informatie beschikbaar. Om een beeld te krijgen van de bemesting in de praktijk is informatie verzameld van het project Koeien & Kansen. Op de bedrijven in dit project wordt veel geregistreerd. Er is informatie beschikbaar over:

- De inzet van dierlijke mest en de verdeling ervan over de sneden;
- De N-bemesting in het seizoen; en
- De verdeling van de beschikbare mest over grasland en bouwland.

11.1 N bemesting op de Koeien & Kansen bedrijven

Rapport 26: 'Aanvoer en overschot van stikstof als indicatoren voor nitraatuitspoeling. Resultaten uit de Koeien & Kansen periode 1997-2002' (Oenema & Ten Berge, 2004) geeft een overzicht van de N aanvoer en het N gebruik op de Koeien & Kansen bedrijven in genoemde periode. Al in deze periode bleek dat de N aanvoer op deze (voorloper)bedrijven in het MINAS tijdperk daalde en de N-benutting omhoog ging. De verdeling van N over de sneden werd in deze periode geregistreerd met behulp van het BemestingsAdvies Programma BAP (Rapport 13: 'Minder verliezen door betere benutting', Den Boer et al., 2002). Omdat later bleek dat het programma door veel veehouders alleen voor de registratie werd gebruikt en niet voor de adviezen is het gebruik van BAP in de periode van de gebruiksnormen beëindigd.

Onder invloed van de gebruiksnormen voor dierlijke mest is de hoeveelheid beschikbare drijfmest afgenomen. Rapport 46: 'De verdeling en benutting van mest binnen de bemestingsruimte' (Oenema et al., 2008) geeft aan dat de hoeveelheid toegediende dierlijke mest op Koeien & Kansen bedrijven in de periode 2001-2006 op grasland op zandgrond is afgenomen van 60-70 m³ per ha naar 55 m³. Op snijmais is de gift met 40-45 m³ per ha redelijk constant gebleven. Zolang de fosfaatruimte het toelaat wordt nog fosfaatkunstmest in de rij toegepast. Op de andere grondsoorten (klei, veen en löss) is de drijfmestgift op grasland in genoemde periode redelijk constant gebleven en met 65 m³ per ha hoger dan op de zandbedrijven. De spreiding op maïsland is er met 16-47 m³ per ha veel groter. De mate van beschikbaarheid van mest hangt af van het aantal uren weidegang op de bedrijven.

De totale N-aanvoer op de graslandpercelen varieerde van minder dan 150 kg N per ha tot meer dan 600 kg N per ha. Op de maïspcelen was de variatie in N-aanvoer minder groot: tussen 150 en 350 kg N per ha. De berekende benutting (N-aanvoer minus/afvoer) was op het maïsland (inclusief het vanggewas) gemiddeld 75% en die op grasland 61%. De lagere N-benutting van grasland hangt samen met de hogere N-gift en is mede het gevolg het investeren van grasland in de bodem (organische stof) en het toepassen van beweiding. Er zijn geen noemenswaardige verschillen geconstateerd in de verdeling en benutting van de bemestingsruimte op de bedrijven in de MINAS-periode en daarna met de gebruiksnormen.

Tijd bemesting voorjaar

Het moment van mest uitrijden in het voorjaar werd op 20% van de Koeien & Kansen bedrijven bepaald door de capaciteit van de mestopslag. Door de beperkte opslag werd op deze bedrijven vrij snel na 1 februari mest uitgereden. Één bedrijf wacht bewust met uitrijden tot na 1 april. De overige bedrijven reed de mest uit tussen half februari en half maart, waarbij de berijdbaarheid van het land en het gevoel dat het gras aan de groei was de belangrijkste parameters waren voor het bepalen van het moment van

uitrijden. De kunstmest werd vrij standaard 3 tot 4 weken na de drijfmest gestrooid. De T-som speelde geen rol bij de eerste kunstmestgift.

Verdeling over het seizoen

Volgens Hilhorst (2011) is vooral de verdeling van de dierlijke mest een belangrijk aandachtspunt. De voorjaarsgift aan dierlijke mest is 45% van de totale gift. Daarna wordt nog eens 20% voor de tweede snede toegediend. De rest wordt afgebouwd gedurende het seizoen, waarbij de laatste gift in augustus wordt gegeven. De eerste snede wordt aangevuld met kunstmest N tot een gift die nog wel redelijk bij het advies aansluit. Na de eerste snede wordt veel meer 'op gevoel' gestrooid. Er wordt niet tot nauwelijks gebruik gemaakt van de adviesbasis.

Met de giften van dierlijke mest wordt wel geprobeerd om rekening te houden met het gebruik. Hilhorst heeft de indruk dat ook de gegeven kunstmestgift wat lager is voor weiden. In het najaar wordt nauwelijks door gestrooid, om het gras aan de groei te houden om bijvoorbeeld roestvorming tegen te gaan. De laatste bemesting met kunstmest vindt vaak al begin augustus plaats.

Op kleibedrijven lijkt vaker de totale N-ruimte volledig benut te worden dan op intensieve zandbedrijven, zeker wanneer alleen gemaaid wordt.

Uit persoonlijke gesprekken met veehouders uit Flevoland (Holshof 2011) bleek dat zij vooral richten op de eerste 3 sneden. Twee bedrijven, die geen beweiding toepassen, bleken hun totale stikstof N 'quotum' evenredig over de eerste 3 sneden te verdelen, waarna geen kunstmest N meer werd gegeven aan vervolgsneden.

Voorjaarsmeststoffen en nitrificatieremmers

- Op 3 bedrijven werd in het voorjaar Entec in plaats van KAS gestrooid;
- Drie andere bedrijven pasten bemesting met vloeibare N (Urean en Anasol) toe. Die bedrijven denken een betere benutting te halen met deze meststoffen; en
- Toevoegen van nitrificatieremmers aan de mest wordt niet meer toegepast, omdat de deelnemers het rendement te laag vonden.

Graslandgebruik

Op een aantal bedrijven vindt standweiden op grote blokken plaats, die af en toe worden bij gestrooid. Ook worden de blokken afwisselend geweid en gemaaid waarbij de maaisnede een hoger kunstmestgift krijgt dan de weidesnede.

Op 31% van de deelnemende bedrijven staan de koeien jaarrond op stal en op 19 % van de bedrijven komen de koeien maar een paar dagen buiten. Door afwisselen van grote blokken weiden en maaien wordt nog maar erg weinig gebloot. Standweiden en opstallen wordt populairder.

11.2 Samenvatting

Voor de beeldvorming van de bemesting op praktijkbedrijven is gebruik gemaakt van gegevens van bedrijven die deelnemen aan het project Koeien & Kansen.

Door de gebruiksnormen is de beschikbare hoeveelheid mest om uit te rijden afgenomen. De beschikbare mest wordt grotendeels toegediend in de eerste helft van het groeiseizoen. De laatste mestgift is in augustus. De kunstmest-N in het voorjaar wordt drie tot vier weken na het toedienen van de drijfmest gegeven. Er wordt niet tot nauwelijks gebruik gemaakt van de Adviesbasis voor de bemesting van grasland en voedergewassen. De kunstmestgift in latere sneden vindt plaats op basis gevoel en ervaring. De indruk is dat er bij de bemesting wel rekening gehouden wordt met het gebruik

van de percelen. Het graslandgebruik is heel divers: alleen maaien, omweiden en standweiden. Op circa 20 % van de bedrijven wordt kunstmest met een nitrificatieremmer gestrooid, circa 20% bemest met vloeibare meststoffen. Nitrificatieremmers in dierlijke mest worden niet (meer) toegepast.

12 N-mineralisatie en nieuwe ontwikkelingen

12.1 Achtergrond

Van groot belang is te weten hoeveel en wanneer stikstof beschikbaar komt door mineralisatie van organisch gebonden N gedurende het seizoen. Dat is een voorwaarde om stikstof uit dierlijke mest en kunstmest optimaal te kunnen toewijzen aan percelen voor een optimale productie en eiwitgehalte.

Grasland

Sinds 1998 wordt rekening gehouden met het Stikstof Leverend Vermogen (NLV) van graslandgronden bij het opstellen van het N-bemestingsadvies. Het NLV wordt bepaald via de N-totaal bepaling. Het NLV is gebaseerd op proeven over meerdere jaren. Het verband tussen N-totaal en de N-opname bij geen N-bemesting kent veelal een percentage verklaarde variantie van slechts ongeveer 50 procent (Hassink, 1996). Afwijkingen van 25 procent en meer in de werkelijke N-nalevering zijn dan ook geen uitzondering. Daar is een aantal oorzaken voor (Bussink et al., 2002), zoals:

- Er wordt geen rekening gehouden met de kwaliteit en samenstelling van de organische stof, bijvoorbeeld de C/N-ratio;
- Het NLV is gebaseerd op de gemiddelde weersituatie: temperatuur en vochtvoorziening. De hoeveelheid en de verdeling over het seizoen kan variëren; en
- Er is geen rekening gehouden met het graslandmanagement: weiden of maaien.

Daarnaast zijn de grondwaterstand en de pH van de grond van invloed op de mineralisatie. Het beter voorspellen van en rekening kunnen houden met het N-leverend vermogen wordt belangrijker naarmate de N-bemesting terugloopt.

Al vanaf de introductie van het NLV op grasland komen er vragen van gebruikers (veehouders en adviseurs) of de werkelijke hoeveelheid N die gaat mineraliseren tijdens het groeiseizoen niet beter is te voorspellen.

Maïsland

Op maïsland zijn grote verschillen gemeten in N-levering door de bodem. Deze liepen uiteen van 65 tot 191 kg N per ha. (Bussink & Burema, 2004). Met deze verschillen in N-levering wordt tot dusver slechts beperkt rekening gehouden, daar het N-bemestingsadvies voor maïs slechts twee niveaus kent: 180 of 205 kg N per ha per jaar. Het advies is 180 kg N als jaarlijks veel mest wordt gegeven (40 m³ mest per ha of meer) en 205 kg N als jaarlijks weinig of geen mest wordt gegeven (10 m³ per ha of minder). Bij jaarlijks veel mest wordt dus rekening gehouden met een nalevering van 25 kg N per ha uit in eerdere jaren gegeven mest.

Deze niveaus worden gecorrigeerd voor N_{min} in de bodem en de nalevering van N uit vanggewassen, maar niet voor N-levering door de bodem. Dit verklaart deels waarom de N-benutting door maïs slechts 40 tot 60% bedraagt (Bussink & Burema, 2004). De beschikbare N die niet wordt opgenomen in het gewas, gaat verloren tijdens het groeiseizoen (25-35 procent) of blijft achter als residuele N (20-30 procent) na de oogst (Schröder & Ten Holte, 1992). Het nauwkeurig schatten van het N-leverend vermogen is in principe een belangrijke variabele voor het vaststellen van de optimale N-gift bij snijmaïs.

12.2 Ontwikkelingen

In de wetenschappelijke literatuur wordt aangegeven dat opgeloste organische stikstof in het bodemvocht (dissolved organic nitrogen: DON,) een betrouwbare indicator voor mineralisatie zou kunnen zijn voor zowel gras als maïs (Bregliani et al. 2005, Smit et al. 2004, Murphy et al., 2000, Mengel et al. 1999). DON vertoont een veel sterker verband met N-mineralisatie dan N-totaal, omdat met DON slechts een klein deel van de totale hoeveelheid stikstof wordt gemeten, namelijk N uit de gemakkelijk afbreekbare organische stof. Opgeloste N in bodemvocht is lastig te meten. Daarom worden gronden geëxtraheerd met een extractiemiddel, bijvoorbeeld met 0.01 M CaCl_2 . Men spreekt dan van extraheerbare organische N (EON).

In 2007 is onderzoek gestart om uiteindelijk een bemestingsadvies te ontwikkelen dat gebaseerd is op EON. Dit onderzoek is in de eindfase. De verwachting was dat met EON ook informatie werd verkregen over de mineralisatie uit ondergeploegde gewasresten. Bij het bemestingsadvies voor maïs behoeft dan niet langer te worden geschat hoeveel N uit gewasresten beschikbaar komt. Het onderzoek gaf aan (Ros et al., 2010) dat EON geen informatie geeft over de mineralisatie uit gewasresten. EON is min of meer constant gedurende het seizoen. Dat betekent dus dat het schatten van de N-werking uit een ondergeploegd vanggewas nodig blijft en niet vervangen kan worden door een meting. De andere belangrijke vraag is of EON een betere schatter is van de N-mineralisatie dan N-totaal. Door gegevens uit 127 studies in de literatuur te combineren (Ros et al., 2011) bleek dat EON, gemeten met 0.01 M CaCl_2 , niet beter was als voorspeller van N-mineralisatie dan N-totaal, waarop de huidige NLV is gebaseerd. Wel moet daarbij opgemerkt worden dat de meetomstandigheden in de diverse studies niet altijd goed omschreven zijn. Uit het onderzoek van Ros kwam verder naar voren dat standaardisatie van de meetmethode erg belangrijk is.

Op basis van de proeven die Ros (2011, proefschrift) zelf heeft uitgevoerd kan wel worden geconcludeerd dat EON een significant betere voorspeller is voor N-mineralisatie dan N-totaal. Tegelijkertijd concludeerde Ros opnieuw dat een bodemparameter alleen niet voldoende is voor een nauwkeurige voorspelling van de mineralisatie, maar dat het belangrijk is om de temperatuur en de vochtvoorziening mee te nemen om de mineralisatie onder veldomstandigheden nauwkeurig te voorspellen.

Daartoe is een eenvoudige model ontwikkeld waarbij correcties voor temperatuur en vocht zijn ingebouwd. Dit model wordt in 2011 en 2012 gevalideerd. Daarbij wordt zowel EON als N-totaal meegenomen. Aandachtspunt daarbij is verder hoe de vochtvoorziening goed en eenvoudig in te schatten is. Dit model moet immers in adviesystemen of door de boer zelf gebruikt worden. Het is dan belangrijk dat de benodigde gegevens voor temperatuur en vocht gemakkelijk beschikbaar zijn.

De eerste berekeningen laten zien dat het juist meenemen van temperatuur en vocht op grasland op jaarbasis 25-50 kg N per ha kan uitmaken op de te adviseren N-gift.

12.3 Conclusie

Het meten van extraheerbaar organische stikstof (EON), in combinatie met de juiste gegevens voor temperatuur en bodemvocht biedt mogelijkheden tot een betere schatting van het stikstof leverend vermogen van de bodem dan de N-totaal bepaling. Hierdoor kan mogelijk 25 -50 kg N per ha bespaard worden.

13 Handreiking betere N-benutting en aanbevelingen

13.1 Handreiking betere benutting N-meststoffen

Algemeen

Deze handreiking is gericht op het verbeteren van de N-benutting uit kunstmest. Als aanvulling op dierlijke mest zijn voor de groei van het gras in het voorjaar vaak stikstof (N) en zwavel (S) nodig. Een goede benutting van de N uit kunstmest is mogelijk door:

- Keuze van de juiste N-meststof en toedieningsvorm; en
- Goed management.

Keuze van de N-meststof

Het type N-meststof

Op ammonium en nitraat gebaseerde N-meststoffen, als AN en KAS, geven de hoogste N-benutting.

N-meststoffen kunnen worden gegeven als ammoniumnitraat (AN) of kalkammonsalpeter (KAS) en als Ureum of ureum plus een ureaseremmer. AN en KAS geven de hoogste opbrengst en N-opname. Ureum blijft met een opbrengst en N-opname van 90% duidelijk achter ten opzichte van AN en KAS. Bij ureum plus ureaseremmer is dit 95%.

De toedieningsvorm

Meststoffen in korrelvorm geven de hoogste opbrengst en N-opname.

N-meststoffen kunnen worden toegediend in korrelvorm (vast) en als vloeibare meststof. Bij de huidige stand van de techniek geeft vast een hogere opbrengst en N-benutting dan als vloeistof toegediende meststoffen. Vloeibare meststoffen met ureum blijven daarbij achter ten opzichte van vloeibare AN.

Voorjaarsmeststoffen

Gebruik voor een hoge N-benutting een voorjaarsmeststof.

In het voorjaar is de kans op N-verliezen door uitspoeling of denitrificatie het grootst. Gebruik van voorjaarsmeststoffen (bijvoorbeeld Ammoniumsulfaat, AS en Ammoniumsulfaatsalpeter, ASS) of Entec (voorjaarsmeststof met nitrificatieremmer) vermindert dit risico. Bij het gebruik van een nitrificatieremmer is het risico het kleinst. Voorjaarsmeststoffen met een hoog ammonium aandeel bevatten vaak ook zwavel. Het gebruik hiervan is snel aantrekkelijk op gronden waar een aanvullende S-bemesting nodig is. Met voorjaarsmeststoffen kan, voor het realiseren van een gelijke opbrengst, met 80% van de N, die als KAS wordt gegeven, worden volstaan. De bespaarde N kan later in het seizoen nuttig worden gebruikt. Bij een gemiddelde hoeveelheid neerslag en in een nat voorjaar wordt de gelijke opbrengst met de genoemde 80% zeker gerealiseerd. In een droog voorjaar kan dit effect geringer zijn.

Overwogen kan worden een nitrificatieremmer aan de dierlijke mest toe te voegen. Onderzoek wijst erop dat het niet zinvol is een nitrificatieremmer aan de mest toe te voegen en tevens kunstmest met een nitrificatieremmer te gebruiken. Een van beide is voldoende.

Samengevat

Voor een goede N-benutting geven op ammonium en nitraat gebaseerde meststoffen, toegediend in korrelvorm, de hoogste N-benutting. Gebruik voor een betere N-benutting in het voorjaar een voorjaarsmeststof bij voorkeur met een nitrificatieremmer. Gebruik in latere sneden KAS. Hieraan kunnen andere nutriënten (bijvoorbeeld Mg of Na) zijn toegevoegd.

Managementaspecten

Naast keuze van de meststof is een groot aantal management aspecten belangrijk voor de N-benutting. Hieronder is een samenvatting gegeven van een aantal aspecten waarmee een veehouder de N-benutting kan verbeteren.

- **Bodem:** Zorg voor een goede ontwatering en pH van de bodem
- **Andere nutriënten:** Zorg voor een goede voorziening met de overige nutriënten (P, K en S) die van belang zijn voor een goede gewasopbrengst.
- **Planning:** Maak een plan voor de verdeling van de werkzame N uit mest en kunstmest over de gewassen en over het seizoen.
- **Voorjaar:** Geef in het voorjaar indien mogelijk alle percelen mest
- **Voorjaarsmeststof:** Gebruik op grasland in het voorjaar een voorjaarsmeststof.
- **Kunstmest strooien:** Gebruik een goed afgestelde kunstmeststrooier en kantstrooiapparatuur.
- **Weer:** Ga geen kunstmest strooien als op korte termijn veel neerslag wordt verwacht.
- **Gebruik:** Maak onderscheid in N-gift tussen te maaien en te beweiden percelen.
 - o Maaipercelen 25 m³ en weidepercelen 15-20 m³ mest per ha
 - o Vul aan met kunstmest voor maaien of weiden
- **Bij N-bemesting lager dan landbouwkundig advies:**
 - o Bemest alle percelen (procentueel) even ver beneden het advies.
 - o Benut de lichtintensiteit en groeipotentie in het voorjaar door de eerste snede extra te bemesten en de latere sneden minder.
- **Mest en kunstmest:** Houdt bij de aanvullende kunstmestgift rekening met de werking van de mest en de nawerking van in vorige sneden gegeven mest.
- **Nazomer en herfst:** Bouw de N-bemesting in de nazomer tijdig af en benut de N-mineralisatie uit de bodem. Het herfstgras heeft dan:
 - o Een lager RE-gehalte,
 - o Een hoger suikergehalte
 - o Is smakelijker

Grasland inzaaien of herinzaaien:

- **Ingezaaid bouwland:** Geef ingezaaide bouwlandpercelen in het eerste jaar 50 N en in het tweede jaar 25 N per ha extra voor de opbouw van de nieuwe zode.
- **Heringezaaid grasland:** Geef heringezaaid grasland minder N en benut zo op heringezaaide percelen de 100 N per ha die uit de zode vrijkomt

Smakelijkheid van gras:

- **Bevorder op te beweiden percelen de smakelijkheid van het gras, door:**
 - o Alle etgroen percelen te beweiden
 - o Geen mest op te beweiden percelen
 - o In juli/aug 10-15 m³ mest te geven, om het risico van kroonroest te verminderen
 - o In juli een keer extra te bemesten met 100 kg landbouwsout per ha
 - o Na twee beweidingen de bossen te maaien of het perceel te maaien.

Snijmaïs:

- Zorg bij de teelt van snijmaïs voor voldoende aanvoer van organische stof uit dierlijke mest en door het telen van een goed geslaagde groenbemester.

13.2 Aanbevelingen

1. Aangezien dierlijke mest in de praktijk 3 a`4 weken eerder wordt toegediend dan de kunstmest-N dient het effect van toedienen van een nitrificatieremmer aan de mest beter onderbouwd te worden.
2. Het meten van de uitspoeling bij wel of niet gebruiken van een nitrificatieremmer in het voorjaar kan de verbetering van de N-benutting en het positieve effect van het gebruik van de nitrificatieremmer op de waterkwaliteit nog verder onderbouwen.
3. Door verbeteringen van de techniek van het kunstmeststrooien (nauwkeurigheid strooier, gebruik GPS) kan de N-benutting verder toenemen.
4. Verbetering van de techniek van het toedienen van vloeibare meststoffen is noodzakelijk om met name mineralenconcentraten als kunstmestvervangers kansrijk te maken.
5. Het effect van de pH van de bodem op de opbrengst en kwaliteit van snijmaïs verdient meer onderbouwing.
6. Implementatie van de verbetering van de voorspelling van stikstoflevering van de bodem, door rekening te houden met een nieuwe mineralisatieparameter en de actuele temperatuur en vochtvoorziening van de bodem, dient met prioriteit te worden uitgevoerd.
7. Verbetering van de N-benutting door een beter management op praktijkbedrijven verdient blijvende aandacht in de voorlichting.

14 Referenties

- Anonymus 1981 The Grassland Research Institute annual report , 1980 GRI Hurley, 161 pp.
- Anonymus 1982 The Grassland Research Institute annual report , 1981 GRI Hurley, 150 pp.
- Anonymus 2003 Emission Inventory Guidebook. Cultures with Fertilisers, Activities 100101-100105, European Commission. 42pp.
- Azam F & Farooq S 2003. Nitrification Inhibition in Soil and Ecosystem Functioning – An Overview. Pakistan Journal of Biological Sciences, 6 (6), p528-535.
- Bakker RF & Den Boer DJ 2003. Toevoeging van nitrificatieremmer aan dunne rundermest op grasland 203. Literatuuronderzoek en oriënterend veldonderzoek. NMI Wageningen, rapport 20, pp. 34.
- Bhogal A, Dampney P & Goulding K 2003 Evaluation of Urea-Based Nitrogen Fertilisers. Report for Defra projects NT2601 and NT2602.
- Bhogal A 2004 Leaching of Nitrogen Forms, In: The behaviour of some different fertiliser-N materials. Report for Defra Project NT 2603. Eds: Dampney PMR, Chadwick D, Smith KA & Bhogal A
- Bouwman AF, Boumans LJM & Batjes NH 2002 Estimation of global NH₃ volatilisation loss from synthetic fertilisers and animal manure applied to arable lands and grasslands. *Global Biogeochemical Cycles* **16** (2), 8-1 , 8-15.
- Bregliani MM, Temminghoff EJM, Van Riemsdijk WH & Haggi, ES 2006)'Nitrogen Fractions in Arable Soils in Relation to Nitrogen Mineralization and Plant Uptake', Communications in Soil Science and Plant Analysis, 37:11, 1571 -1586
- Brunold C 1993 Regulatory interactions between sulphate and nitrate assimilation. In: Sulphur nutrition and sulphur assimilation in higher plants: Regulatory, Agricultural and Environmental Aspects. De Kok LJ, Stulen I, Rennenberg H, Brunold C & Rauser W (eds) pp 125 – 138. SPB Academic Publishing, The Hague, ISBN 90-5103-084-3.
- Burema WP & Bussink DW 2004. Maïs, schiet de bemesting haar doel voorbij? Deel 1. Rapport 968.03, 62pp.
- Bussink DW & Oenema O 1996 Differences in rainfall and temperature define the use of different types of nitrogen fertilizer on managed grassland in UK, NL and Eire. Netherlands Journal of Agricultural Science 44 (1996), 317 – 338.
- Bussink DW 1999 Potential of ASS fertilization on grassland, 1999. NMI-rapport 604.99, pp 33.
- Bussink DW 1999A Zwavelbemesting op zandgrasland, veldproef 1998. NMI, Verslag 203.98-II.
- Bussink DW, Holshof G, Vergeer WN, Schils RLM & Bakker RF 2002 Efficiënter stikstofgebruik bij lage bemestingsniveaus op grasland. NMI-rapport O716 van gezamenlijke studie van NMI en ASG
- Bussink DW & Postma R 2002 Achtergronden bij het zwavelbemestingsadvies voor grasland. NMI-rapport 203.99-1.
- Bussink DW, De Boer HC, Boons-Prins ER & Schils RLM 2003 Toetsing van voorjaarsmeststoffen op grasland; 2002. NMI-rapport 807.01, 68 pp.
- Bussink DW, Van Rotterdam-Los D & Van der Draai H 2010 Maïs onder folie, NMI-rapport 1387.10, 23 pp
- Clarckson DT & Warner AJ 1979 Relationships between root temperature and the transport of ammonium and nitrate ions by italian and perennial ryegrass (*Lolium multiflorum* and *Lolium perenne*). Plant Physiology 65, 557-561.
- Clarckson DT, Hopper MJ & Jones LHP 1986 The effect of root temperature on the uptake of nitrogen and the relative size of the root system in *Lolium Perenne*. 1. Solutions containing both NH₄⁺ and NO₃⁻. Plant, Cell and Environment 9: 7, 535-545.

- Cursusmap 2010 Gebruiksnormen, hoe red ik dat op mijn bedrijf? Deel II Melkveehouderij.
 Samengesteld door Wageningen UR en Nutriënten Management Instituut NMI, 78 pp.
- Dampney PMR, Basford W, Goodlass G, Miller P & Richards I (2003) *Production and use of nitrogen fertilisers*. Report for Defra project NT2601.
- Dampney PMR, Chadwick D, Smith KA & Bhogal A 2004 The behaviour of some different fertiliser-N materials. Report for Defra Project NT 2603.
- De Boer HC 2010 Dynamisch precisiebemesten van grasland: test van een concept. Livestock Research Wageningen rapport 321.
- De Boer HC Resultaten veldproeven vloeibare N meststoffen, 2007, 2008 en 2008
<http://library.wur.nl/WebQuery/gkn/lang/1867790>
www.verantwoordeveehouderij.nl/Producten/.../Kunstmestinjectie2007.pdf
www.verantwoordeveehouderij.nl/.../Resultaten_kunstmestinjectie_2008.pdf
www.livestockresearch.wur.nl/.../Resultaten_kunstmestinjectie_2009.pdf
- De Boer HC 2010 Puntinjectie van vloeibare stikstofkunstmest met de spaakwielbemester op blijvend grasland (in voorbereiding).
- De Kok LJ, Castro A, Durenkamp M, Stuiver CE, Westerman S, Yang L & Stulen I 2002 Sulphur in plant physiology. Proceedings International Fertiliser Society Nr. 500, pp 28.
- Den Boer DJ, Van Middelkoop JC & Chardon WJ 2001 Fosfaattoestand en –uitspoeling in afhankelijkheid van gebruik en bodemvruchtbaarheid. Wageningen, NMI-rapport 364, pp 78.
- Den Boer DJ, Bakker RF & Vergeer WN 2002 Minder verliezen door betere benutting; Bemesting 'Koeien & Kansen' 1999 – 2001. Rapport 13, 68 pp.
- Den Boer DJ & Bakker RF 2003 Meer gras met minder stikstof; Voorjaarsmeststoffen op grasland 2001 en 2002. Koeien & Kansen Rapport nr. 15. 26 pp.
- Den Boer DJ, Bussink DW, Bakker RF & Van der Draai H 2007 Zwavelvoorziening van snijmaïs. NMI-rapport 1252.N.07.
- Di HJ & Cameron KC 2004. Effects of temperature and application rate of nitrification inhibitor, dicyandiamide (DCD), on nitrification rate and microbial biomass in a grazed pasture soil. Aust. Journal Soil Res. 42: 927-932.
- Dobbie KE & Smith KA 2003a Nitrous oxide emission factors for agricultural soils in Great Britain: the impact of soil water-filled pore space and other controlling variables. *Global Change Biology*, 9, 204-218.
- Dobbie KE & Smith KA 2003b Impact of different forms of N fertilizer on N₂O emissions from intensive grassland. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 67, 37-46.
- Dolfing, J., Buchkina N & Kuikman PJ 2004. Mogelijkheden tot verminderen van emissie van lachgas uit landbouwgronden bij toepassing van verschillende mestsoorten en nitrificatieremmers. Alterra rapport 890, Wageningen.
- Fisher GEJ & Jewkes EC 2009 Nitrogen fertilisation of established grassland for milk and meat. Proceedings International Fertiliser Society No. 660, pp32.
- Gahoonia TS, Claassen N & Jungk A 1992 Mobilization of phosphate in different soils by ryegrass supplied with ammonium or nitrate. *Plant and Soil* 140: 2, 241-248.
- Geens EL, Davies GP, Maggs JM & Barraclough D 1991 The use of mean pool abundances to interpret ¹⁵N tracer experiments. II. Application. *Plant and Soil* 131: 1, 97-105.
- Geo-Logisch!
<http://precisielandbouw.web-log.nl/precisielandbouw/geologisch/index.html>
<http://www.wiski.nl/geologisch2.pdf>
http://www.livestockresearch.wur.nl/NL/nieuwsagenda/archief/nieuws/2007/Wat_heeft_1_jaar_GEO

[logisch op drie veehouderijbedrijven in Flevoland gebracht.htm](#)

- Granli T & Bøckman OC 1994 Nitrous oxide from agriculture. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, Supplement 12, pp. 1-128.
- Groten J & Van Schooten H 2010 Duurzame maïsteelt – Rol van rassenkeuze en veredeling. Paper bij Themadag Duurzame Maïsteelt, De Marke, 22 april 2010, 4 pp.
- Harrison R & Webb J. 2001 A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. *Advances in Agronomy* 73, 65-108.
- Hassink J 1996 Prediction of the soil nitrogen supply of grassland soils. In: J.W.G.M. Loonen and W.E.M. Bach-De Wit, Editors, *Stikstof in beeld. Onderzoek inzake de Mest- en Ammoniakproblematiek in de Veehouderij* 20. DLO, Wageningen (1996), pp. 15–35 (In Dutch).
- Hilhorst G 2011 Persoonlijke mededeling. Hilhorst is onderzoeker en projectmedewerker van Koeien & Kansen.
- Holshof G 2011 Persoonlijke mededeling.
- Johnston AE & Poulton PR 2009 Nitrogen in Agriculture: An overview and definitions of nitrogen use efficiency. *Proceedings International Fertiliser Society* No. 651, pp 48.
- Keuck A 2011 Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. Persoonlijke mededeling.
- Kirkby EA, Le Bots J, Adamowicz S & Römheld V 2009 Nitrogen in physiology – An agronomic perspective and implications for the use of different nitrogen forms. *Proceedings International Fertiliser Society* Nr. 653 pp48.
- Klep-agro <http://www.klep-agro.nl/uploads/GreenkeeperKlep.pdf>
- Koe & Wij 2007 Handleiding weiden of opstallen.
- Kuikman P, Schils R, Van Beek C& Velthof G 2010 Nitrificatieremmers in de Nederlandse landbouw, Alterra rapport 2016, 2010 Wageningen
- Lintzen J 2010 Eurogras. Persoonlijke mededeling.
- Macduff JH & White RE 1985 Net mineralisation and nitrification rates in a clay soil measured and predicted in permanent grassland from soil temperatures and moisture content. *Plant and Soil* 86; 2, 151 – 172.
- Macduff JH & Jackson SB 1991 Growth and preferences for ammonium or nitrate uptake by barley in relation to root temperature. *Journal of Experimental Botany* 41: 237, 521-530.
- McCormick RA, Nelson DW, Sutton AL & Huber DM 1984 Increased N-efficiency from Nitrapyrin added to liquid swine manure used as fertilisation for Corn (*Zea mays* L.). *Agronomy Journal*, vol 76, pp 1010 – 1014.
- Mengel K, Schneider B&, Kosegarten H 1999. Nitrogen compounds extracted by electro-ultrafiltration (EUF) or CaCl₂ solution and their relationships to nitrogen mineralization in soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 162, 139-148.
- Mikkelsen RL, Williams HM & Behel AD Jr 1994 Nitrogen leaching and plant uptake from controlled-release fertilizers. *Fertilizer Research*, 37, 43-50.
- Mosier AR 2002 Decreasing nitrous oxide (N₂O) emission from arable agriculture. Paper prepared for Proc. 1st Agricultural GHG Mitigation Experts Meeting, Non-CO₂ Network Project on Agricultural GHG Mitigation, Washington DC, December, 2002.
- Murphy DV, MacDonald AJ, Stockdale EA, Goulding KWT, Fortune S, Gaunt JL, Poulton PR, Wakefield JA, Webster CP& Wilmer WS 2000. Soluble organic nitrogen in agricultural soils. *Biol. Fert Soils* 30, 374-387.
- Nemitz E, Flynn M, Williams P.I, Milford C, Theobald M.R, Blatter A, Gallagher MW & Sutton M.A. (2001) A relaxed eddy accumulation system for the automated measurement of atmospheric ammonia fluxes. *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 1, 189-202.

- Novakowski TZ, Byers M 1972 Effect of nitrogen and potassium fertilisers on content of carbohydrates and free amino acids in Italian ryegrass. 2. Changes in the composition of the non-protein nitrogen fraction and the distribution of individual amino acids. *Journal of the science of food and agriculture* 23(11) pp. 1313-1333.
- Nutrinorm <http://www.nutrinorm.nl/nl-nl/Kennisbank/Nieuws/Grasland-Nieuws/Minder-gras-met-vloeibare-meststoffen.aspx>
- Oenema J & Ten Berge HFM 2004 Aanvoer en overschot van stikstof als indicatoren voor nitraatuitspoeling; Resultaten uit 'Koeien & Kansen' 1997 – 2003, Rapport 26, pp46.
- Oenema J, Verloop J, Bakker RF & Aarts HFM 2008 De verdeling en benutting van mest binnen de bemestingsruimte op bedrijven in 'Koeien & Kansen. Rapport 46,38 pp.
- Palgrave DA 2005 The international Fertiliser Society (IFS). Solution fertilizers: The crucial properties. Proceedings 559 of the International Fertiliser Society. Meeting on 27th October 2005, London.
- Pettigrew WT 2007 Potassium: Influence on crop yield and quality. International Fertiliser Society: Proceedings no. 614.
- Phillips CJ, Waita CJC, Arney DR & Chiy PC (1999) The effects of sodium and potassium fertilizers on the grazing behaviour of dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science* 61, 201-213.
- Ros GH, Hoffland E. & Temminghoff EJM 2010 Dynamics of dissolved and extractable organic nitrogen upon soil amendment with crop residues. *Soil Biology & Biochemistry* 42, 2094-2101.
- Ros, GH, Temminghoff EJM & Hoffland E 2011 Nitrogen mineralization; a review and meta-analysis of the predictive value of soil tests. *European Journal of Soil Science* 62, 162-173.
- Ros, GH 2011 Predicting soil Nitrogen supply; Relevance of extractable soil organic matter fractions. Thesis, Wageningen University.
- Schröder JJ & Ten Holte L 1992 Stikstofbenutting en -verliezen in maïsteeltsystemen. In: H.G. van der Meer & Spiertz JHJ (Eds), *Stikstofstromen in agro-ecosystemen*, CABO-DLO, Wageningen, 71-85.
- Sherwood M & Fanning A 1985 Runoff of nitrogen fertiliser. In. *Soil and Grassland Production Research Report*. An Foras Taluntais, Dublin. pp. 10-11.
- Smit A, Radersma S, Van 't Riet S, Hack-ten Broeke M & Conijn S 2004. Zoeken naar een indicator voor mobiel N in de bodem. Wageningen, Alterra, Alterra-report 892. 56 pp.
- Sommer K & Mertz M 1973 Wachstum, Ertrag und Mineralstoffaufnahme von Pflanzen – beeinflusst durch Ammonium oder Nitrat. *Landwirtschaftliche forschung* 27, 8-30.
- Stevens RJ 1988 Some factors influencing the efficiency of fertiliser nitrogen for grass production in spring. In: Jenkinson DS & Smith KA (eds) *Nitrogen efficiency in agricultural soils*. Proceedings Symposium Edinburgh, 16–18 Sept. 1987, Elsevier; Barking, Essex, 177-190.
- Van Burg PFJ, Dilz K & Prins WH 1982 Landbouwkundige waarde van verschillende stikstofmeststoffen. *Stikstof* 100, 518-540.
- Van der Heiden S 2010 Barenbrug. Persoonlijke mededeling.
- Van Diest 1976 Ammonium- en nitraatvoeding van cultuurgewassen. *Stikstof* 83/84. 389-395.
- Vellinga ThV & Van Loo EN 1994 Perspectieven grassenveredeling voor bedrijfsinkomen en mineralenoverschotten. Rapport nr.151, PR, Lelystad.
- Velthof GL, Van Beusichem ML & Oenema O (1998). Nitrous oxide emission from intensively managed grassland. *Meststoffen* 1997/1998:5-12.
- Velthof, G. December 2009. Kunstmestvervangers onderzocht. Tussentijds rapport van het onderzoek in het kader van de pilot Mineralenconcentraten
<http://www.mestverwerken.wur.nl/Info/Bibliotheek/PDF/Tu>
- Visscher J 1996 Cultuur- en gebruikswaardeonderzoek voedergrassen met speciale aandacht voor

- verteerbaarheid en stikstofbenutting. In: Gebundelde Verslagen NVWV nr. 37, 1996, pp 34-42.
- Watson CJ 2000. *Urease Activity and Inhibition – Principles and Practice*. Proceeding No. 454. Publ., The International Fertiliser Society, York, UK. 40pp.
- Weiske A, Benckiser G & Ottow JCG 2001 Effect of the new nitrification inhibitor DMPP in comparison to DCD on nitrous oxide (N₂O) emissions and methane (CH₄) oxidation during 3 years of repeated applications in field experiments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 60, 57-64.
- Weiske A, Benckiser G, Herbert T & Ottow JCG 2001 Influence of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison to dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide emissions, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments.
- Zerulla W, Kummer KF, Wissemeier A & Rädle M 2000 The development and testing of a new nitrification inhibitor. Proceedings International Fertiliser Society No 455, pp 24.

Bijlage 1 Opzet van het Engelse onderzoek in de Defra studie

Meststoffen, locaties en bemesting

De onderzochte meststoffen waren:

- Gepilde ammoniumnitraat (AN) met 34.5% N
- Kalkammonsalpeter (KAS) met 27% N
- Granulaire ureum (U) met 46% N
- Granulaire ureum (46% N) met een ureaseremmer nBTPT of Agrotain (U+Ag)
- Vloeibaar Ureum-ammonium-nitraat (Urean; UAN) met 28,7% N waarvan 14,3 % N als ureum, 7,2% N als nitraat en 7,2% N als ammonium
- Granulair ureumammoniumsulfaat (UAS) met 38 % N waarvan 31,4% als ureum en 6,6% als ammonium en 18,75% SO₃
- Granulair Ammoniumsulfaat (AS) met 21% N en 60% SO₃

Agrotain is de handelsnaam van nBTPT (n-Butyl-thiofosfor-triamide), een ureaseremmer, waarvan de verwachtingen hoog gespannen zijn.

Het onderzoek is uitgevoerd op 21 locaties met verschillende grondsoorten en bodemomstandigheden. Van deze locaties waren er 7 gelegen op grasland, op 7 ervan werd een wintergraan geteeld, op 6 locaties werd zomergerst geteeld en 1 locatie was braakland.

De locaties op grasland en de behandelingen en metingen per locatie zijn gegeven in Tabel 0.1.

Tabel 0.1 Locaties, bodemomstandigheden, behandelingen en metingen per locatie op grasland

Locatie	Bodem	Behandelingen*	Metingen**
1. De Bathe (Devon)	Gemiddeld, nat	0N, AN, KAS, U, U+Ag, UAS	Agro, NH ₃ (N2-N4)
2. Rowden (Devon)	Zwaar, nat	0N, AN, KAS, U, U+Ag, UAS	Agro, NH ₃ (N1-N4), N ₂ O (N1-N3)
3. Auchincruive (Ayr)	Zandig, nat	0N, AN, KAS, U, U+Ag	Agro, N ₂ O (N2-N3)
4. Crichton Royal (Dumfries)	Zwaar, nat	0N, AN, KAS, U, U+Ag	Agro, N ₂ O (N2-N3)
5. Hillsborough (N Ireland)	Zwaar, nat	0N, KAS, U, U+Ag, UAS	Agro, N ₂ O (N2-N3)
6. High Mowthorpe (N Yorks)	Kalkrijk, droog	0N, AN, KAS, U, U+Ag, UAS	Agro, NH ₃ en N ₂ O (N3-N4)
7. Boxworth (Cambs),	Kalkrijke klei, droog	AN, KAS, U, U+Ag, UAN	NH ₃ (N4)

* afkortingen zie bij onderzochte meststoffen

** Agro = landbouwkundig, gewasrespons op opbrengst en N-opname; N1 = feb/maart; N2 = april; N3 = voor de tweede snede; N4 = voor de derde snede.

Voor elke meststof waren er 4 N-niveaus: 0, 200, 300 en 400 kg N per ha. Deze N is verdeeld over 3 maaisneden. Op de locaties 3, 4 en 7 is een gedeelde N-gift toegepast. In deze situaties is half maart op alle objecten 40 kg N per ha gegeven als AN. Dit is begin april met de voor een bepaald object te toetsen meststof aangevuld tot de in Tabel 0.2 vermelde N-gift voor de eerste snede. Tabel 0.2 geeft de verdeling van de N over de sneden en de data van toediening.

Tabel 0.2. Toegepaste N-bemestingsniveaus en verdeling over de sneden.

Totaal N per ha	Snede 1, begin april*	Snede 2, eind mei/begin juni	Snede 3, eind juli
0	0	0	0
200	80	70	50
300	120	100	80
400	160	130	110

- Op de locaties 3,4 en 7 is bij 200, 300 en 400N 40 N half maart gegeven en respectievelijk 40, 80 en 120 N begin april

Opbrengst en N-opname

Op elke locatie is een proefveld aangelegd in drievoud. De opbrengst van elke snede is bepaald met behulp van een Haldrup of een motormaaier. Naast de opbrengst is ook het N-gehalte en daarmee de N-opname bepaald. Er is geen onderzoek gedaan naar de samenstelling van het eiwit.

Ammoniakvervluchtiging

Er zijn twaalf metingen (runs van 3weken) uitgevoerd op grasland en drie op bouwland. De metingen zijn uitgevoerd met windtunnels gedurende drie weken na het strooien van de kunstmest. Na elke meetdag zijn de windtunnels verplaatst naar een 'vers' stukje land dat daarvoor onderhevig was aan de natuurlijke wind en neerslag. De metingen zijn uitgevoerd voor 5 meststoffen.

- Granulaire ureum (U)
- Granulaire ureum (46% N) met een ureaseremmer Agrotain (U+Ag)
- Granulair ureumammoniumsulfaat (UAS) op grasland of vloeibaar Ureum ammonium nitraat (Urean; UAN) op bouwland
- Gepilde ammoniumnitraat (AN)
- Kalkammonsalpeter (KAS)

Lachgas (N₂O) emissie

In het kader van de Defra Studie is ook onderzoek gedaan naar verliezen door lachgas (N₂O). Dit onderzoek naar de N₂O flux is uitgevoerd op 5 locaties met grasland: de locaties 2, 3, 4, 5 en 6 uit Tabel 0.1, en op 1 locatie op bouwland. De metingen zijn uitgevoerd op de plots waarop ook de oogstresponse is bepaald.

Naast een meting op het 0N-veld zijn de metingen op elke locatie uitgevoerd bij tenminste 4 van de volgende 5 meststoffen:

- Granulaire ureum (U)

- Granulaire ureum (46% N) met een ureaseremmer Agrotain (U+Ag)
- Granulair ureumammoniumsulfaat (UAS)
- Gepilde ammoniumnitraat (AN)
- Kalkammonsalpeter (KAS)

Het onderzoek is uitgevoerd met de gesloten kamer methode. De netto-emissie van elke meststof is berekend door de emissie van deze meststof te verminderen met de emissie op het 0N-veld. De metingen zijn uitgevoerd gedurende drie perioden: na het toedienen van de meststof in maart/april tot de eerste snede, na de bemesting in mei/juni tot de tweede snede en na de bemesting in juli tot de oogst van de derde snede.

Uitspoeling

In 2003 is de uitspoeling gemeten op 3 locaties op lemige zandgrond. De gegevens van deze locaties zijn weergegeven in Tabel 0.3. Het jaar 2003 werd in Engeland gekenmerkt door een zeer droog voorjaar. Daarom is een week voor het toedienen van de meststoffen berekend tot bijna veldcapaciteit. Na het toedienen van de meststof is de gangbare hoeveelheid neerslag nagebootst door 3-4 keer per week 5 – 10 mm te beregenen. Gedurende 3 weken na het toedienen van de meststoffen is 3x per week van elk veld het water bemonsterd en geanalyseerd. Op locatie Woburn is dit gedurende 2 perioden van 3 weken gebeurd. De uitspoeling is gemeten met behulp van teflon lysimeters, die geplaatst waren op 30 cm diepte. Er zijn geen metingen verricht op grasland.

Tabel 0.3. Bodemeigenschappen, gewassen, bemesting en vergeleken meststoffen op 3 locaties.

Locatie	% klei	Gewas	Datum zaaien	N-gift (kg per ha)	Datum N-gift	Vergeleken* meststoffen
Gleadthorpe (G)	5	Zomergerst	6-2-03	120	1-4-03	AN, U, U+A
Debathe (D)	18	Zomergerst	23-3-03	120	12-5-03	AN, U, U+A
Woburn (W)	9	Wintertarwe	8=9=02	160	7-4-03,en 22-4-03**	AN, U, U+A, CAN

* AN = ammoniumnitraat, U = ureum, U+A = ureum + Agrotain, CAN = KAS

** Op elk tijdstip 80 N.