



Beweiding en nitraatuitspoeling

Praktijkgegevens en experimenten

W.J. Corré





Beweiding en nitraatuitspoeling

Praktijkgegevens en experimenten

W.J. Corré

© 2005 Wageningen, Plant Research International B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Exemplaren van dit rapport kunnen bij de (eerste) auteur worden besteld. Bij toezending wordt een factuur toegevoegd; de kosten (incl. verzend- en administratiekosten) bedragen € 50 per exemplaar.

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : info.plant@wur.nl
Internet : www.plant.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Voorwoord	1
Samenvatting	3
Summary	5
1. Inleiding	7
1.1 Achtergrond	7
1.2 Probleemstelling	8
1.3 Inhoud van het onderzoek	8
2. Materialen en methoden	11
2.1 Data-analyse en aanvullende metingen 'Koeien & Kansen'	11
2.2 Data-analyse urineproef Droevendaal	11
2.3 Experiment 1: gras met kunstmest op zandgrond	12
2.4 Experiment 2: gras met klaver op zandgrond	13
2.5 Experiment 3: gras op kleigrond	14
2.6 Het berekenen van de nitraatuitspoeling bij beweiding	15
3. Resultaten	17
3.1 Koeien & Kansen	17
3.2 Droevendaal	21
3.3 Experiment 1: gras met kunstmest op zandgrond	23
3.4 Experiment 2: gras met klaver op zandgrond	28
3.5 Experiment 3: gras op kleigrond	34
3.6 Het berekenen van de nitraatuitspoeling bij beweiding	38
4. Discussie	43
4.1 Praktijkgegevens	43
4.2 Benutting van urine-N	43
4.3 N-mineraal in de bodem	45
4.4 Nitraatuitspoeling	46
4.5 Onverklaarde verliezen	48
4.6 Het berekenen van de nitraatuitspoeling bij beweiding	49
4.7 Vastlegging van urinestikstof	50
5. Conclusies	51
6. Referenties	53
Bijlage I. Proefschemas	1 p.

Voorwoord

Beweiding staat ter discussie, met name in het kader van de nitraatuitspoeling. Als een belangrijke bron van nitraatuitspoeling worden urineplekken gezien. In urineplekken wordt op een klein oppervlak een grote hoeveelheid stikstof gedeponerd, zeker later in het seizoen te veel om door het gewas benut te kunnen worden, met een hoog risico op een verhoogde nitraatuitspoeling als gevolg. Directe metingen van nitraatuitspoeling uit urineplekken zijn in Nederland echter nooit uitgevoerd. Wel zijn in veel proeven met urineplekken tekorten op de stikstofbalans gevonden die niet door nitraatuitspoeling verklaard kunnen worden.

Voor een goede beoordeling van de milieueffecten van beweiding is het dus nodig meer inzicht te krijgen in de stikstofstromen onder urineplekken, met name in de nitraatuitspoeling. Dit is te meer belangrijk omdat bij het alternatief voor beweiding, stalvoeding, een verhoogde ammoniakemissie plaatsvindt. Dit rapport doet verslag van onderzoek aan databases en van metingen in proeven met kunsturineplekken en in de praktijk.

Het onderzoek was onderdeel van het LNV programma 398-I.

Samenvatting

Het voldoen aan de Europese nitraatrichtlijn (maximaal 50 mg NO₃ per liter in het bovenste grondwater) is een lastige opgave voor de Nederlandse melkveehouderij, in het bijzonder op uitspoelingsgevoelige gronden. Eén van de ter discussie staande maatregelen voor het beperken van de nitraatuitspoeling onder grasland, bij behoud van productieniveau, is beperking van de beweiding. De argumentatie voor de effectiviteit van deze maatregel is eenvoudig: bij beweiding wordt in urineplekken een grote hoeveelheid stikstof op een beperkt oppervlak gedeponeerd. Deze stikstof kan maar beperkt door het gras benut worden, zeker uit plekken die later in het seizoen zijn ontstaan, en onder deze plekken kan in het najaar dan ook een hoog gehalte aan N-mineraal gevonden worden, met als gevolg een groot risico op een verhoogde nitraatuitspoeling.

De mate waarin beweiding onder de huidige bedrijfsvoering leidt tot een verhoogde nitraatuitspoeling is voor Nederland echter niet goed onderbouwd. In een enkel experiment op kleigrond is een klein verschil in het nitraatgehalte in het drainwater gevonden, voor zandgrond zijn vrijwel alleen metingen gedaan in experimenten met hoge stikstofniveaus en onbeperkte beweiding. Bij metingen in de praktijk kon geen verband tussen beweidingsdruk en nitraatuitspoeling gevonden worden.

Het hier gerapporteerde onderzoek bestond uit de analyse van bestaande datasets, metingen in de praktijk en experimenten. Door middel van metingen in de praktijk is op perceelsniveau gezocht naar een verband tussen beweidingsdruk en nitraatgehalte in het grondwater. In experimenten zijn kunstmatige urineplekken (400 kg N ha⁻¹) aangebracht op verschillende tijdstippen in het seizoen en zijn metingen verricht aan de benutting door het gewas, het verloop van de hoeveelheid N-mineraal in de bodem en de nitraatuitspoeling. In twee experimenten op zandgrond zijn directe meting van het nitraatgehalte in het grondwater gedaan: in gangbaar grasland met kunstmest en in grasland met klaver. Ter vergelijking is een experiment op kleigrond aangelegd waarin de nitraatuitspoeling niet direct gemeten kon worden. Het effect van beweiding op de nitraatuitspoeling op zandgrond is berekend door middel van opschaling van de resultaten van individuele urineplekken naar perceelsniveau.

Bestaande datasets voor praktijkbedrijven op zandgrond in Nederland laten geen verhoogde nitraatuitspoeling als gevolg van beweiden zien. Ook bij metingen op twee praktijkbedrijven kon bij een gerichte intensieve bemonstering geen effect van verschil in beweidingsdruk (aantal koe-weidedagen) op het nitraatgehalte in het grondwater gevonden worden. Mogelijke oorzaken van deze discrepantie zijn de grote kleinschalige variatie in uitspoeling, waardoor toch al kleine verschillen moeilijk aantoonbaar worden, en een hoger drijfmestgebruik bij maaien. Deze factoren worden momenteel onderzocht in een experiment van Praktijkonderzoek-ASG op het proefbedrijf Cranendonck.

In experiment 1 op grasland met kunstmest op zandgrond werd in urineplekken een lage benutting gevonden, maximaal tussen 30 en 35% van de toegediende urinestikstof, afhankelijk van de datum van toediening. Tevens werd een lage nitraatuitspoeling gevonden, variërend van ongeveer 4 tot 11% van de toegediende urinestikstof, ook weer afhankelijk van de datum van toediening. De oorzaak hiervan was een zeer groot balanstekort ten gevolge van vooralsnog 'onverklaard verlies' van stikstof in urineplekken, ontstaan in korte tijd na toediening in een periode waarin nitraatuitspoeling en denitrificatie kwantitatief veelal van weinig belang geweest kunnen zijn.

In experiment 2 op grasland met klaver op zandgrond was de benutting van urinestikstof maximaal slechts 20% van de toegediende urinestikstof, terwijl door de sterke vermindering van de stikstofbinding door klaver in urineplekken en het ontbreken van bemesting met N een betere benutting verwacht werd. Door een langdurige verdringing van klaver door gras werd de verhoging van de droge-stofproductie kort na toediening van de urine later gecompenseerd door een lagere droge-stofproductie. De nitraatuitspoeling kon in dit experiment niet betrouwbaar gemeten worden door het optreden van lateraal watertransport. Gezien de wat kleinere hoeveelheid minerale stikstof in de bodem in het najaar mag een wat lagere nitraatuitspoeling verwacht worden in vergelijking met experiment 1.

In experiment 3 op grasland op kleigrond was de benutting beter, maximaal 45% van de toegediende urinstikstof, en mag op grond van vergelijking met literatuurgegevens een aanzienlijke meeruitspoeling van nitraat onder urineplekken verwacht worden. Het balanstekort was aanzienlijk kleiner dan in de proeven op zandgrond en dit tekort kwam in dit experiment hoofdzakelijk tot stand in perioden waarin een aanzienlijke denitrificatie zeer wel mogelijk was.

Berekeningen van de nitraatuitspoeling op perceelsniveau op jaarbasis door middel van opschaling van individuele urineplekken gaven een vergelijkbaar resultaat als berekeningen met het model 'NURP' voor vergelijkbare omstandigheden. Wel werd een aanzienlijk minder groot effect van de datum van urinetoediening op de uitspoeling gevonden. Gemeten is een uitspoeling van 4 tot 11% van de urine-N voor toediening van mei tot oktober terwijl berekeningen voor vergelijkbare omstandigheden een uitspoeling van 1 tot 28% van de toegediende urine-N opleverden. De in NURP gebruikte berekeningswijze van de nitraatuitspoeling uit urineplekken op basis van een exponentiële toename met de datum van toediening lijkt niet houdbaar.

Het tijdelijk vastleggen van urinstikstof door toediening van een koolstofbron aan urineplekken is mogelijk, maar lijkt weinig effectief te zijn. Alleen bij beschikbaarheid van een goedkope, nauwkeurige toedieningstechniek en een goedkope koolstofbron lijkt verder onderzoek naar deze mogelijkheid zinvol.

Het meest opvallende fenomeen van stikstof in urineplekken op zandgrond was het grote balanstekort, ontstaan in een periode waarin nitraatuitspoeling en denitrificatie kwantitatief veelal niet van betekenis geweest kunnen zijn. Doordat geen indicator aangewezen kan worden welke de grootte van dit balanstekort kan voorspellen blijft een inschatting van de nitraatuitspoeling als gevolg van beweiding zeer onzeker. Vervolgonderzoek aan nitraatuitspoeling uit urineplekken en mogelijke oorzaken van het ontstaan van balanstekorten wordt momenteel uitgevoerd door Plant Research International en Alterra door middel van toediening van met ¹⁵N gelabelde urine aan kolommen en proefveldjes.

Vooralsnog lijkt het effect van beweiding op de nitraatuitspoeling bij de huidige praktijk beperkt te zijn en lijkt er geen reden te zijn algemene beperkingen van de beweiding aan te bevelen.

Summary

Meeting the EU Nitrate Directive of a maximum of 50 mg nitrate per litre in the upper groundwater is hard to achieve in dairy farming in the Netherlands, especially on soils vulnerable to leaching. Restricted grazing is seen as a possible measure to reduce nitrate leaching under grassland while maintaining production levels. The reasoning for the effectiveness of restricted grazing is simple: during grazing large amounts of nitrogen are left on limited areas of land in urine patches. This restricts nitrogen utilisation by the grass, especially in urine patches deposited later in the season, and under these patches large amounts of mineral nitrogen will be found in autumn, resulting in a high risk of nitrate leaching in winter.

However, the extent to which grazing might increase nitrate leaching is not well known for the Netherlands. A single experiment on a clay soil showed a small difference in the nitrate concentration of the drain water; for sandy soils measurements in experiments are virtually always restricted to high nitrogen fertiliser levels and day and night grazing. On-farm measurements showed no relation between grazing intensity and nitrate leaching.

The research reported here included the analysis of existing datasets, on-farm measurements and experiments. On-farm measurements were used to search for a relation between grazing intensity and nitrate leaching at field level. In experiments artificial urine spots were applied (400 kg N ha^{-1}) at different dates during the growing season and utilisation by the grass, the development of the amount of mineral nitrogen in the soil, and nitrate leaching were measured. Groundwater nitrate concentrations were directly measured in two experiments on a sandy soil, in grassland with chemical fertiliser nitrogen and in grassland with clover. For comparison an experiment was conducted on clay soil, without the possibility of direct nitrate leaching measurements. The effect of grazing on nitrate leaching on the sandy soil was calculated by scaling up the results of individual urine spots to field level.

Existing datasets of commercial farms on sandy soils in the Netherlands showed no increased nitrate leaching caused by grazing. Intensive sampling in fields on two farms neither showed effects of difference in grazing intensity on groundwater nitrate content. Possible causes of these unexpected results might be the large small-scale variation in leaching, which makes differences hardly demonstrable, and more manure application on frequently cut fields.

Experiment 1 on grassland with chemical fertiliser nitrogen on a sandy soil showed a low level of utilisation by the grass in urine spots, maximum 30 to 35% of the urine-N, depending on the date of deposition. The level of nitrate leaching was also low, between 4 and 11% of the urine-N applied, also depending on the date of deposition. The reason for the low utilisation and leaching was a very large balance deficit as a result of as yet 'unaccounted losses' of nitrogen in urine spots, occurring shortly after deposition in a period in which nitrate leaching and denitrification could not be of quantitative importance.

In experiment 2, on grassland with clover on a sandy soil, maximum urine-N utilization was only 20% of the urine-N applied, whereas a higher utilisation was expected due to a strong decrease of nitrogen fixation by clover in urine spots. Due to a long term suppression of clover by grass, the initial increase in dry matter production shortly after deposition of the urine later was compensated by a lower dry matter production. Nitrate leaching could not be measured reliably in this experiment due to lateral transport of water in the soil. In view of the slightly smaller amount of mineral nitrogen in the soil in autumn, a slightly lower nitrate leaching may be expected than in experiment 1.

Utilisation was better in experiment 3, on grassland on a clay soil; maximum 45% of the urine-N applied, and on the basis of comparison with data from literature a considerably increased nitrate leaching under urine spots may be expected. In this experiment the balance deficit was clearly smaller than on the sandy soil and the deficit occurred mainly in periods in which considerable denitrification was quite well possible.

Calculations of the annual nitrate leaching at field level by scaling up individual urine spots gave comparable results as calculations with the model 'NURP' for comparable conditions. The effect of the date of urine deposition, however, was considerably smaller. An increase in nitrate leaching of 4 to 11% of the urine-N applied was measured after deposition from May to October, while calculations for similar conditions resulted in an increased leaching of 1 to 28% of the urine-N applied. NURP calculates nitrate leaching from urine spots on the basis of an exponential increase with the date of deposition. This type of calculation seems to be not tenable.

Temporary immobilisation of urine-N by deposition of a source of carbon on urine spots is possible but probably not very effective. Only the availability of a cheap and accurate technique for application of carbon to urine spots and a cheap source of carbon could make further research into this topic feasible.

The most striking phenomenon of nitrogen in urine spots on sandy soil was the large balance deficit originating in a period in which nitrate leaching and denitrification could not have been of quantitative importance. Since no indicator is available to predict the size of this balance deficit, estimates of nitrate leaching as a result of grazing remain very uncertain. Further research into nitrate leaching from urine spots and possible reasons for the origin of balance deficits is currently performed by adding ^{15}N labelled urine to lysimeters and field plots.

For now, under current grassland management the effect of grazing on nitrate leaching seems to be limited and there seem to be no reasons to recommend general restrictions on grazing.

1. Inleiding

1.1 Achtergrond

Het voldoen aan de Europese nitraatrichtlijn (maximaal 50 mg NO₃ per liter in het bovenste grondwater) is een lastige opgave voor de Nederlandse melkveehouderij, in het bijzonder op uitspoelingsgevoelige gronden. Eén van de ter discussie staande maatregelen voor het beperken van de nitraatuitspoeling onder grasland, bij behoud van productieniveau, is beperking van de beweiding (o.a. Vellinga *et al.*, 1996). De argumentatie voor de effectiviteit van deze maatregel is eenvoudig: bij beweiding wordt in urineplekken een grote hoeveelheid stikstof op een beperkt oppervlak gedeponereerd. Dit is weliswaar stikstof in organische vorm, meest ureum, maar deze wordt snel omgezet in anorganische stikstof (N-mineraal). De stikstof in een urineplek kan maar beperkt door het gras benut worden, zeker uit plekken die later in het seizoen zijn ontstaan, en onder deze plekken kan in het najaar dan ook een hoog gehalte aan N-mineraal gevonden worden (o.a. Garwood & Ryden, 1986), met als gevolg een groot risico op een verhoogde nitraatuitspoeling.

Metingen van de nitraatuitspoeling bij beweiden en maaien in de jaren '80 gaven een duidelijk verhoogde uitspoeling onder beweiding te zien (Garwood & Ryden, 1986; Steenvoorden *et al.*, 1986; Van Drecht *et al.*, 1991). Deze metingen zijn echter overwegend gedaan bij een hoog, in die tijd gebruikelijk, stikstofniveau en bij onbeperkte beweiding zonder bijvoeding. Uit berekeningen van Van der Meer & Meeuwissen (1989) bleek de verhoging van de nitraatuitspoeling door beweiding ten opzichte van maaien sterk af te hangen van het stikstofniveau. Dit wordt veroorzaakt door een lagere productie en vooral een lager stikstofgehalte in het gras bij een lagere stikstofbemesting. Hierdoor wordt de depositie van urine-N per ha veel minder en bovendien kan gras bij een lager stikstofniveau een groter deel van de urine-N opnemen. Uit berekeningen van Van de Ven (1996) bleek ook een beperking van de beweiding tot 8 uur per dag met bijvoeding van stikstofarm ruwvoer de meeruitspoeling als gevolg van beweiding ten opzichte van onbeperkt weiden sterk te verminderen.

Er zijn weinig gegevens over de bijdrage van beweiding aan de nitraatuitspoeling bij lagere stikstofniveaus. Schils (1994) vond bij metingen van het nitraatgehalte in drainwater uit kleigrond een verband met de beweidingsintensiteit van graslandpercelen in een veldproef. Bij een verhoging van het beweidingsaandeel in de droge-stofproductie van 40 naar 60% werd de nitraatuitspoeling via het drainwater gemiddeld met 4 kg N ha⁻¹ verhoogd, zowel in gras met kunstmest (N-niveau 200 tot 350 kg ha⁻¹) als in gras met klaver. Wachendorf *et al.* (2004) vonden een verhoogde uitspoeling als gevolg van beweiding bij stikstofbemestingen tot 370 kg N ha⁻¹; bij een bemestingsniveau tussen 200 en 300 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ was het nitraatgehalte van het bodemvocht op 60 cm diepte gemiddeld ruim drie keer zo hoog (140 tegen 40 mg l⁻¹) bij 100% onbeperkt weiden als bij 100% maaien

Hack-Ten Broeke *et al.* (1996) vonden dat de kleinschalige variabiliteit in nitraatuitspoeling onder grasland goed verklaard kon worden door de aanwezigheid van urineplekken, waarvan de locatie en de precieze stikstofbelasting echter niet bekend waren. Op basis van dit verband kon een duidelijke verhoging van de nitraatuitspoeling berekend worden als gevolg van beweiding. Ook in berekeningen met het model NURP (Vellinga *et al.*, 2001) heeft beweiding een duidelijke verhoging van de nitraatuitspoeling tot gevolg. Deze berekeningen zijn echter niet gebaseerd op metingen van de nitraatuitspoeling uit urineplekken of uit beweid grasland, maar op metingen van de hoeveelheid N-mineraal in de bodem in het najaar in de proeven van Van der Putten in 1993, uitgevoerd op Proefbedrijf Droevendaal.

Bovenstaande gegevens gelden op perceelsniveau. Percelen in bedrijfsverband kunnen een ander beeld geven, omdat beweiden binnen een bedrijf meer consequenties heeft. Zo betekent beperking van de beweiding bijvoorbeeld dat relatief meer organische mest gebruikt moet worden, wat ook gevolgen voor de nitraatuitspoeling zou kunnen hebben. In Nederland is de gangbare opinie dat vervanging van kunstmeststikstof door een even grote hoeveelheid werkzame stikstof uit organische mest bij optimaal gebruik van die mest slechts een klein of geen effect heeft op de nitraatuitspoeling uit grasland; dit in overeenstemming met Jarvis *et al.* (1987) en Ten Berge *et al.* (2002). Buitenlands onderzoek suggereert echter een grotere uitspoeling bij vervanging van kunstmest door dierlijke mest.

Korsaeth *et al.* (2003) vonden een verdubbeling van de nitraatuitspoeling in grasland van 8 tot 16 kg ha⁻¹ jr⁻¹ bij vervanging van 200 kg kunstmeststikstof door een gelijke hoeveelheid totaal N in runderdrijfmest, toegediend in voorjaar en vroege zomer. Wachendorf *et al.* (2004) vonden een gelijke nitraatuitspoeling bij vervanging van kunstmeststikstof door een gelijke hoeveelheid totaal N in runderdrijfmest, bij een stikstofniveau van 200 kg ha⁻¹ jr⁻¹, een nitraatconcentratie in het bodemvocht op 1 meter diepte van 40 mg l⁻¹ nitraat bij 100% maaien tot 140 mg l⁻¹ bij 100% onbeperkt weiden.

Een andere consequentie van vergroting van de hoeveelheid in de stal opgevangen mest is een verhoging van de emissie van ammoniak. Voor in de zomer in de stal opgevangen mest wordt een emissie van 18% van de totaal in urine en feces uitgescheiden stikstof uit stal en opslag aangehouden tegen 8% voor bij beweiding uitgescheiden stikstof (Oenema *et al.*, 2000). De emissie bij uitrijden (afhankelijk van de toedieningsmethode) moet hier nog bij opgeteld worden. Met deze afwenteling dient bij het bepalen van de milieuwinst door een verlaagde nitraatuitspoeling bij een beperking van de beweiding rekening gehouden te worden.

1.2 Probleemstelling

Dat beweiding via de geconcentreerde depositie van N in urineplekken kan leiden tot een verhoogde nitraatuitspoeling is waarschijnlijk, maar voor Nederland bij de huidige niveaus van bemesting en bijvoeding zeker niet eenduidig vastgesteld. Berekeningen van nitraatuitspoeling onder urineplekken zijn in de regel gebaseerd op bepaling van de hoeveelheid N-mineraal onder urineplekken in het najaar en niet op metingen van die uitspoeling. Verder heeft vrijwel alle onderzoek aan urineplekken plaatsgevonden op Proefbedrijf Droevendaal (Vertregt & Rutgers, 1988; Van der Putten, niet gepubliceerde gegevens). In dit onderzoek werd binnen korte tijd na toediening van urine een groot tekort op de stikstofbalans gevonden, gemiddeld 30% van de toegediende stikstof binnen tien dagen (Vertregt & Rutgers, 1988).

In het licht van de wens beweiding in Nederland te behouden (Van den Pol-Van Dasselaar *et al.*, 2002) zal, alvorens maatregelen met betrekking tot beperking van de beweiding aan te kunnen bevelen, het effect van dergelijke maatregelen goed onderbouwd moeten zijn. Hiervoor is een beter inzicht nodig in de nitraatuitspoeling uit urineplekken, waarbij de nitraatuitspoeling gemeten dient te worden en waarbij duidelijk moet worden of de gevonden balans-tekorten ook onder andere omstandigheden op andere locaties gevonden worden.

1.3 Inhoud van het onderzoek

Het onderzoek heeft bestaan uit analyse van bestaande gegevens uit de praktijk en uit experimenten en nieuwe waarnemingen, eveneens gedaan in de praktijk en in experimenten.

Praktijkgegevens zijn verkregen uit de database van het project 'Koeien & Kansen'. Hier zijn voor de bedrijven op zandgrond op perceelsniveau de nitraatgehalten van het bovenste grondwater met de beweidingsintensiteit gekoppeld. Op grond van de resultaten van de analyse is in het voorjaar van 2003 op twee bedrijven het bovenste grondwater intensief bemonsterd in een aantal percelen met in 2002 duidelijk verschillende beweidingsintensiteiten.

Experimentele gegevens waren beschikbaar van proeven met urineplekken, uitgevoerd in 1993/1994 bij AB-DLO door Van der Putten. Deze gegevens zijn niet integraal gepubliceerd, maar wel gebruikt voor berekeningen van de stikstofbenutting en -verliezen bij beweiding (o.a. Van der Putten & Vellinga, 1996; Vellinga *et al.*, 2001).

Om tot een betere onderbouwing van de berekening van de uitspoeling onder urineplekken te kunnen komen zijn nieuwe proeven opgezet; op zandgrond in gras met kunstmest, op zandgrond in gras met klaver en op kleigrond in gras met kunstmest. Belangrijke aanvullingen op de oudere proeven waren het aanpassen van het bemestingsniveau aan de huidige praktijk, direct meten van de nitraatuitspoeling en meten onder andere condities (grasland met klaver en grasland op kleigrond), waarbij het effect van de datum van depositie steeds centraal stond. Door middel van aggregatie van de uitspoeling uit urineplekken van verschillende datum en niet behandelde plekken is de nitraat-

uitspoeling uit beweid grasland berekend. Dit is gedaan voor verschillende varianten van beweiding: onbeperkt weiden tegenover beperkt weiden, al dan niet vervroegd opstallen en combinaties van weiden en maaien.

Verwacht mag worden dat in grasland met klaver urine-N beter benut kan worden dan in grasland zonder klaver. In urineplekken in gras met klaver staat meestal N-behoefstig gras met een grote opnamecapaciteit, wordt klaver door gras verdrongen waardoor de N-binding vermindert, en wordt urine-N ook door klaver opgenomen. De stikstofbinding door klaver loopt hierdoor in urineplekken langdurig sterk terug (Vinther, 1998; Menneer *et al.*, 2003). Door de verlaging van de stikstofbinding en het ontbreken van kunstmeststikstof ontstaat meer ruimte voor opname van urine-N.

Op kleigrond is door de veelal aanwezige drainage de nitraatuitspoeling op kleinere schaal niet eenvoudig te meten. Daarom lag de focus in de proef op kleigrond op de benutting van urine-N door het gewas en op het verloop van de hoeveelheid N-mineraal in de bodem, teneinde in de eerste plaats een vergelijking te kunnen maken met de situatie op zandgrond.

2. Materialen en methoden

2.1 Data-analyse en aanvullende metingen 'Koeien & Kansen'

Analyse van de bestaande gegevens heeft plaatsgevonden op basis van het rapport van Oenema *et al.* (2002). Dit rapport bevat voor alle deelnemende bedrijven per perceel gegevens over de beweidingsintensiteit (aanvoer N in weidemest) en het nitraatgehalte van het bovenste grondwater. Combinatie van deze gegevens bleek geen betrouwbaar verband te geven omdat de bepaling van het nitraatgehalte in het grondwater hiervoor niet nauwkeurig genoeg was. Deze bepaling was bedoeld om een bedrijfsgemiddelde te kunnen bepalen en hiervoor is een kleiner aantal monsters per perceel voldoende.

Na selectie op percelen met gelijksoortige bodem en verschillen in beweidingsintensiteit in 2002 is op twee bedrijven op respectievelijk vier en drie percelen het nitraatgehalte van het bovenste grondwater intensief bemonsterd met 32 monsters per perceel. De grondwatermonsters bestonden uit een representatief monster van de bovenste 80 cm van het grondwater, conform het in het project 'Sturen op Nitraat' gevolgde protocol (Smit *et al.*, 2003). In het veld zijn gaten geboord tot 80 cm beneden de grondwaterspiegel. In de gaten werd een monsternameling geplaatst en na doorspoelen is een representatief watermonster genomen. Op één van de bedrijven was de grondwaterstand zo diep dat het nitraatgehalte in het grondwater niet representatief kon zijn voor de nitraatuitspoeling in de afgelopen winter en zijn bodemonsters genomen van de laag tussen 120 en 180 cm beneden maaiveld, eveneens conform het in het project 'Sturen op Nitraat' gevolgde protocol voor een alternatieve bepaling van de grondwaterkwaliteit. In deze monsters is het nitraatgehalte van het aanwezige bodemvocht bepaald door middel van extractie met gedemineraliseerd water. Voor de bemonstering zijn de percelen in 32 vierkanten verdeeld, 4 in de breedte van het perceel en 8 in de lengte van het perceel. De monsters van de vier naast elkaar gelegen vierkanten zijn samengevoegd voor analyse. Op deze wijze was het mogelijk tegen acceptabele analysekosten toch een beeld van een eventuele gradiënt in nitraatgehalte van het grondwater over de lengte van het perceel te krijgen. Een dergelijke gradiënt zou veroorzaakt kunnen worden door ongelijke verdeling van de urinedepositie over de lengte van een perceel.

2.2 Data-analyse urineproef Droevendaal

Geanalyseerd zijn data van een proef met kunstmatige urineplekken, uitgevoerd in 1993 en 1994 op proefbedrijf 'Droevendaal' door Van der Putten. De proef is uitgevoerd in een perceel met overwegend engels raaigras op een droge zandgrond met een pH-waarde van 5 en een gehalte aan organische stof van 5,7% in de bovenste 20 cm. De grondwaterstand stond vrijwel continu op 120 cm beneden maaiveld, op deze diepte liggen drains die in de eerste plaats dienen voor afvoer van kwelwater. Onderzocht is de productie, de benutting van stikstof en het verloop van de hoeveelheid N-mineraal in de bodem in urineplekken, aangebracht in verschillende concentraties en op verschillende tijdstippen in grasland met verschillende stikstofbemestingsniveaus.

De proef is uitgevoerd in een grasland met twee N-trappen, 240 (40 kg per snede) en 420 (70 kg per snede) kg N ha⁻¹ jr⁻¹, 100% in de vorm van kunstmest en met urinegiften van 365, 485 en 605 kg N ha⁻¹ bij het N-niveau 240 kg ha⁻¹ jr⁻¹ en van 500, 665 en 830 kg N ha⁻¹ bij het N-niveau 420 kg ha⁻¹ jr⁻¹. De urinesamenstelling was conform Whitehead *et al.* (1989), een samenstelling die grotendeels overeenkomt met Tabel 2.1 met een belangrijk verschil in het aandeel ureum-N in de totale stikstofinhoud: 89 tegen 75% in de nieuwe experimenten. De proef werd geoogst op 13 mei, 4 juni, 29 juni, 9 augustus, 7 september en 12 oktober 1993 en op 9 mei, 6 juni en 13 juli 1994. Urine werd toegediend in 1993 na de eerste, tweede, derde, vijfde en zesde snede.

Voor de analyse zijn de gegevens geselecteerd van de op dit moment meest relevante combinaties van stikstofbemestingsniveau en urinegift, 240 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ met urinegiften van 365 en 485 kg N ha⁻¹ en 420 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ met een urinegift van 500 kg N ha⁻¹

2.3 Experiment 1: gras met kunstmest op zandgrond

In 2002 is een proef uitgevoerd op proefbedrijf 'Cranendonck' op een droge zandgrond met een gehalte aan organische stof van 3,1% en een pH-waarde van 5,4 in bovenste 10 cm. De gemiddelde hoogste grondwaterstand varieerde tussen 80 en 100 cm diepte, in de zomer stond het grondwater meestal meer dan 150 cm diep. De zode van het proefperceel bestond hoofdzakelijk uit engels raaigras en bevatte geen klaver. Het perceel werd volvelds bemest met ongeveer 250 kg ha⁻¹ jr⁻¹ N-werkzaam uit drijfmest en kunstmest samen, dus ook op de urineplekken. Het perceel is in 2002 zeven keer gemaaid, begin mei in maaistadium, daarna nog zes keer in 'weidestadium' om beweiding te simuleren. Na deze zes sneden is steeds in drievoud kunsturine toegediend aan veldjes van 10 m² (lengte 5 m, bruto breedte 2,75 m, netto breedte 2 m). Naast deze zes objecten was een referentie aanwezig zonder urinetoediening en een object met toediening van snel afbreekbare organische stof na de zevende snede voor het inventariseren van de mogelijkheid urinestikstof tijdelijk vast te leggen. Op het object met toevoeging van goed afbreekbare organische stof werd direct na de urine per m² 1 kg glucose toegediend. Een object (nr. 6) bedoeld voor de toediening van goed afbreekbare organische stof in de zomer heeft alleen de reguliere toediening van urine gekregen, waardoor de waarnemingen van object 5 gedupliceerd zijn. De objecten 2 en 3 (bedoeld voor afwijkende urinegiften) zijn vervallen.

Voor de samenstelling van de kunsturine is in eerste instantie uitgegaan van de gehalten die door Van der Putten zijn gebruikt (conform Whitehead *et al.*, 1989). In overleg met Valk (2002) zijn de gehalten van de stikstofhoudende componenten zo goed mogelijk aangepast aan de momenteel in Nederland gangbare stikstofniveaus van voerrantsoenen. De kunsturine bevatte 8 gram N per liter, waarvan 75% in de vorm van ureum, en werd toegediend in een dosis van 5 liter per vierkante meter, ofwel 400 kg N ha⁻¹. De volledige samenstelling is weergegeven in Tabel 2.1. Vanaf de snede na toediening zijn voor alle urineplekken bij iedere snede de opbrengst en het stikstofgehalte van het gewas bepaald en is de bodem bemonsterd op N-mineraal in de lagen 0-30 en 30-60 cm diepte (mengmonsters van tien steken per veldje). De bodembemonstering is voor alle objecten periodiek voortgezet tot in het voorjaar van 2003. In het voorjaar van 2003 is de eerste snede geoogst. De verschillen tussen de objecten waren niet meer systematisch en de proef is dan ook niet verder voortgezet. Als maat voor de nitraatuitspoeling is het nitraatgehalte in de bovenste laag (80 cm) van het grondwater bepaald op 15 januari 2003 volgens het protocol zoals beschreven in Smit *et al.* (2003), zie ook paragraaf 2.1. De grondwaterstand was op dat moment tussen 90 en 100 cm diep en het neerslagoverschot sinds de laatste urinetoediening bedroeg ruim 250 mm. Na 15 januari is beduidend minder dan gemiddeld neerslag gevallen, waardoor verdergaande uitspoeling na die datum niet van grote betekenis geweest kan zijn.

Tabel 2.1. Samenstelling kunsturine.

Organische stoffen	Gram liter ⁻¹	N, gram liter ⁻¹	Zouten	Gram liter ⁻¹
Ureum	12,85	6	KCl	10,5
Allantoïne	2,4	0,85	KHCO ₃	14
Creatinine	1,1	0,41	CaCl ₂ ·2H ₂ O	0,4
Hippuurzuur	8	0,62	MgCl ₂ ·5H ₂ O	1,2
Urinezuur	0,35	0,12	Na ₂ SO ₄	3,7
Totaal N		8		

Op basis van de opbrengsten aan droge stof en de N-gehalten hierin van de urineplekken en de controleplekken is de meeropbrengst aan stikstof in het gewas in de urineplekken berekend. Deze meeropbrengst aan N, de 'apparent recovery' van de urine-N, is gebruikt als maat voor de benutting. Daarnaast is op basis van de gehalten aan N-mineraal van de bodemlagen 0-30 cm en 30-60 cm van de urineplekken en de controleplekken de verhoging van de hoeveelheid N-mineraal in de urineplekken berekend als maat voor de nog in de bodem aanwezige extra N-mineraal als gevolg van de depositie van urine-N. Op basis van de nitraatgehalten van de bovenste meter van het grondwater

onder urineplekken en controleplekken is de verhoging van de nitraatuitspoeling als gevolg van de depositie van urine-N berekend. Deze maten geven niet aan wat er met de urine-N zelf gebeurt ('recovery'), maar wel wat de gevolgen van toediening van urine-N op de hoeveelheden N in gewas, bodem en grondwater zijn ('apparent recovery').

De gegevens over de belangrijkste activiteiten en de kenmerken van de objecten zijn weergegeven in Tabel 2.2 en het proefschaam is weergegeven in Bijlage I.

Tabel 2.2. *Belangrijkste activiteiten in experiment 1.*

Datum	Snedes nr.	Urine toegediend in object	Bemonstering N-mineraal	N-gift (kg ha ⁻¹)
19-02-2002				50 (drijfmest, N-werkzaam)
12-03				70 (kunstmest)
20-05	1			
22-05				51 (kunstmest)
				50 (drijfmest, N-werkzaam)
31-05	2	1	+	
24-06	3	4	+	
25-06				25 (kunstmest)
22-07	4	5	+	
23-07				25 (kunstmest)
22-08	5	7	+	
19-09	6	8	+	
22-10	7	9	+	
		10 + glucose, 1 kg m ²		
07-11			objecten 9+10	
01-12			+	
17-12			objecten 9+10	
15-01-2003			+	
06-02				50 (drijfmest, N-werkzaam)
11-03			+	

2.4 Experiment 2: gras met klaver op zandgrond

In 2002 is op proefbedrijf 'Cranendonck' tevens een vergelijkbare proef uitgevoerd in een perceel engels raaigras met witte klaver. Dit perceel was wat betreft bodemcondities en opbrengstniveau goed vergelijkbaar met het perceel waarin proef 1 werd uitgevoerd, alleen het gehalte aan organische stof lag met 3,7% wat hoger en de pH-waarde lag met 4,9 wat lager. Op het perceel met klaver is alleen stikstofbemesting toegediend voor de eerste en tweede snede en is verder geen stikstofbemesting gegeven. Hierdoor bevatte de zode vroeg in het seizoen slechts enkele procenten witte klaver in de oogstbare productie en liep dit later in het seizoen op naar 30 tot 40%. In het voorjaar van 2003 was het klaveraandeel in de eerste snede al veel hoger, 39%. De proefopzet was dezelfde als van 'experiment 1', met als verschil dat de objecten met toevoeging van glucose (objecten 6 en 10) niet aanwezig waren en bij elke snede in alle veldjes het percentage klaver in de droge-stofproductie is bepaald. De opbrengst (gras en klaver apart) en het stikstofgehalte van het gewas (gras en klaver gemengd) zijn bepaald voor de tweede tot en met de zevende snede (geoogst in 'weidestadium') van 2002 en de eerste drie sneden van 2003. N-mineraal in de bodem in de lagen 0-30 en 30-60 cm diepte is bepaald op de data van urinetoediening en op 1 december 2002 en op 15 januari, 11 maart en 1 juli 2003 in mengmonsters van tien stekken per veldje. Het nitraatgehalte van het bovenste

grondwater is, evenals in experiment 1, bepaald op 15 januari 2003. De grondwaterstand was op dat moment ook in dit perceel tussen 90 en 100 cm diep.

Berekeningen van de gevolgen van de toediening van urine-N op de meeropbrengst aan droge stof en van stikstof in het gewas en op de hoeveelheid N-mineraal in de bodem en de nitraatuitspoeling zijn gemaakt analoog aan de berekeningen in experiment 1.

De gegevens over de belangrijkste activiteiten en de kenmerken van de objecten zijn weergegeven in Tabel 2.3 en het proefschema is weergegeven in Bijlage I.

Tabel 2.3. *Belangrijkste activiteiten in experiment 2.*

Datum	Snedes nr.	Urine toegediend in object	Bemonstering N-mineraal	N-gift (kg ha ⁻¹)
21-03-2002				116 (kunstmest)
25-03				50 (drijfmest,
15-05	1			N-werkzaam)
17-05				54 (kunstmest)
31-05	2	1	+	
24-06	3	4	+	
22-07	4	5	+	
22-08	5	7	+	
19-09	6	8	+	
22-10	7	9	+	
01-12			+	
15-01-2003			+	
28-02				50 (drijfmest,
11-03			+	N-werkzaam)
02-05	1			
22-05	2			
01-07	3		+	

2.5 Experiment 3: gras op kleigrond

In 2003 is een proef uitgevoerd op proefbedrijf 'Waiboerhoeve' in Lelystad op een kleigrond, gedraineerd op een diepte van ongeveer 100 cm. De bodem bevatte 21% lutum en 5% organische stof en had een pH-waarde van 7,6 in de bovenste 10 cm. De zode van het proefperceel bestond hoofdzakelijk uit engels raaigras en bevatte geen klaver. Het perceel werd volvelds bemest met ongeveer 250 kg ha⁻¹ jr⁻¹ N-werkzaam uit drijfmest en kunstmest samen, dus ook op de urineplekken. Het perceel is in 2003 zes keer gemaaid, half mei in maaistadium, daarna nog vijf keer in 'weidestadium' om beweiding te simuleren. Na alle sneden is steeds in drievoud kunsturine toegediend aan veldjes van 10 m² (lengte 5 m, bruto breedte 2,75 m, netto breedte 2 m).

De kunsturine bevatte 8 gram N per liter, waarvan 75% in de vorm van ureum en werd toegediend in een dosis van 5 liter per vierkante meter, ofwel 400 kg N ha⁻¹. Vanaf de snede na toediening zijn voor alle urineplekken iedere snede de opbrengst en het stikstofgehalte van het gewas bepaald en is de bodem bemonsterd op N-mineraal in de lagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm diepte in mengmonsters van tien stekken per veldje. De bodembemonstering is voor alle objecten periodiek voortgezet tot in juni 2004. In het voorjaar van 2004 zijn nog twee sneden geoogst om de resterende benutting in het seizoen na toediening te kunnen bepalen.

Berekeningen van de gevolgen van de toediening van urine-N op de meeropbrengst aan droge stof en van stikstof in het gewas en op de hoeveelheid in N-mineraal in de bodem zijn gemaakt analoog aan de berekeningen in experiment 1.

De gegevens over de belangrijkste activiteiten en de kenmerken van de objecten zijn weergegeven in Tabel 2.4 en het proefschaam is weergegeven in Bijlage I.

Tabel 2.4. *Belangrijkste activiteiten in experiment 3.*

Datum	Snede nr.	Urine toegediend in object	Bemonstering N-mineraal	N-gift (kg ha ⁻¹)
15-03-2003				33 (drijfmest, N-werkzaam)
24-04				72 (kunstmest)
13-05	1	1	+	
15-05				45 (kunstmest)
06-06	2	2	+	
10-06				37 (kunstmest)
03-07	3	3	+	
04-07				49 (kunstmest)
31-07	4	4	+	
01-08				30 (kunstmest)
16-09	5	5	+	
23-10	6	6	+	
16-12			+	
20-01-2004			+	
24-02			+	65 (kunstmest)
18-03				
25-04	1		+	75 (kunstmest)
11-05				
08-06	2		+	

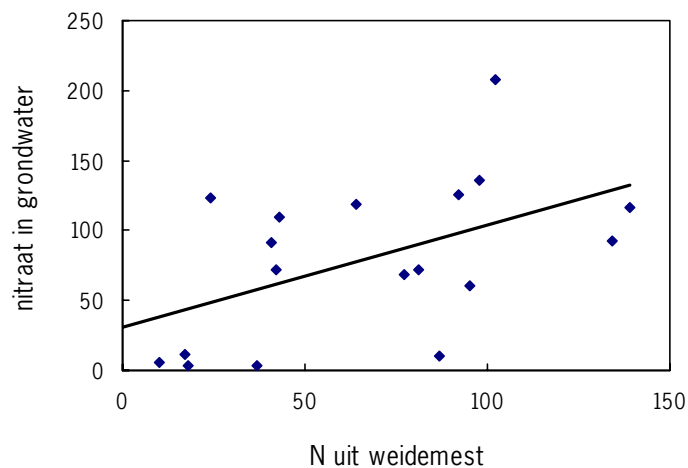
2.6 Het berekenen van de nitraatuitspoeling bij beweiding

Beweid grasland bestaat uit een mozaïek van 'onbehandeld' grasland met urineplekken van verschillende datum. Door de productie om te zetten in consumptie kan een veebezetting worden berekend en deze kan aan de hand van het productieverloop gedurende het groeiseizoen vertaald worden naar de oppervlakte aan urineplekken van verschillende datum. Deze berekening is gemaakt voor de situatie van experiment 1, grasland op zandgrond bij een bemestingsniveau van 250 kg N ha⁻¹ jr⁻¹. De productie van gras en de daaraan gekoppelde urineplekken zijn verdeeld over perioden van een maand, perioden waarvoor globaal ook gegevens over de nitraatuitspoeling beschikbaar waren. De berekening is uitgevoerd voor verschillende varianten van beweidingsmanagement (beperkt weiden en onbeperkt weiden; alleen weiden of maaien en weiden; al dan niet weiden na 1 september) en is vergeleken met berekeningen op basis van de rekenregels uit het model NURP (Vellinga *et al.*, 2001) voor dezelfde situatie en dezelfde managementvarianten. Details over de berekeningswijze en de gebruikte uitgangspunten en veronderstellingen zijn vermeld in paragraaf 3.6.

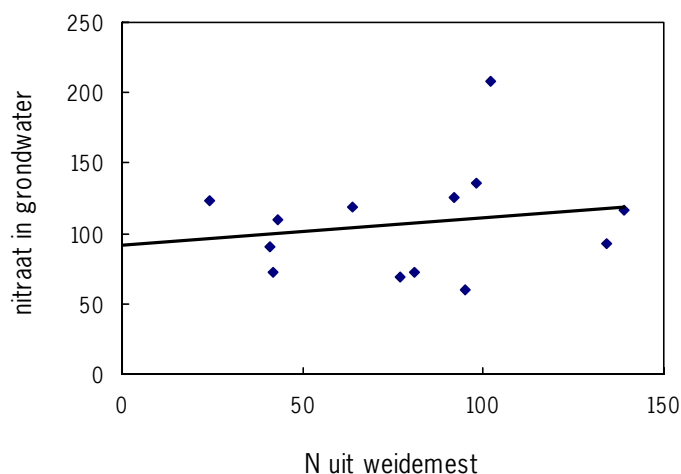
3. Resultaten

3.1 Koeien & Kansen

Uit analyse van de gegevens uit Oenema *et al.* (2002) is voor een viertal bedrijven op zandgrond een positief verband tussen beweidingsdruk en nitraatgehalte in het grondwater op perceelsniveau af te leiden, voor de overige vijf bedrijven werd geen of soms een negatief verband gevonden. In drie gevallen werd een verhoging van de nitraatconcentratie met 0,2 tot 0,3 mg l⁻¹ NO₃ gevonden voor iedere kilogram N ha⁻¹jr⁻¹ in weidemest. Dit komt neer op een verhoging van de uitspoeling met 10 tot 20% van de stikstof uit de weidemest. De gevonden verbanden waren echter zwak en zeker niet significant met een correlatiecoëfficiënt (r^2) onder 0,1. In één geval werd een sterker verband gevonden met een verhoging van de uitspoeling met ongeveer de helft van stikstof in de weidemest en een correlatiecoëfficiënt (r^2) van 0,26; dit verband is geïllustreerd in Figuur 3.1. Dit verband bleek echter te worden veroorzaakt door de aanwezigheid van een aantal natte en daardoor minder uitspoelingsgevoelige percelen waar gemiddeld veel minder geweid werd. Zonder deze percelen was ook bij dit bedrijf slechts een zeer zwak verband tussen beweidingintensiteit en nitraatuitspoeling waarneembaar, zoals geïllustreerd in Figuur 3.2. Mede-oorzaak van de zwakte van de gevonden verbanden was de lage bemonsteringsintensiteit. Deze was afgestemd op het berekenen van een gemiddelde concentratie op bedrijfsniveau, waardoor het aantal monsters per perceel te laag was om een betrouwbaar gemiddelde op perceelsniveau te kunnen berekenen.



Figuur 3.1. Verband tussen beweidingintensiteit (in kg ha⁻¹ jr⁻¹ N in weidemest) en nitraatconcentratie in het bovenste grondwater op perceelsniveau voor een melkveebedrijf in 'Koeien & Kansen'.



Figuur 3.2. Verband tussen beweidingsintensiteit (in kg ha⁻¹ jr⁻¹ N in weidemest) en nitraatconcentratie in het bovenste grondwater op perceelsniveau voor een melkveebedrijf in 'Koeien & Kansen' met weglaten van niet uitspoelingsgevoelige percelen.

Geconcludeerd is dat voor het voldoende betrouwbaar aantonen van een verband tussen beweidingsintensiteit en nitraatuitspoeling geselecteerd moet worden op percelen met vergelijkbare bodemeigenschappen en grote verschillen in beweidingsintensiteit, en dat een intensieve bemonstering nodig is.

In de winter van 2002/2003 is gezocht naar bedrijven met een aantal percelen met gelijk bodemtype en verschil in beweidingsdruk. Uiteindelijk bleken slechts twee bedrijven voor verder onderzoek geschikte percelen te hebben. In het voorjaar van 2003 is op deze bedrijven op respectievelijk vier en drie percelen het nitraatgehalte van het grondwater bepaald. Op bedrijf 2 is de bovenste meter van het grondwater bemonsterd en op bedrijf 1 zijn in verband met de zeer diepe grondwaterstand bodemonsters van de laag tussen 120 en 180 cm diepte gestoken.

De resultaten zijn samengevat in Tabel 3.1. De beweidingsintensiteit is weergegeven als de input van N in weidemest (gebaseerd op het aantal dierweidedagen en de beweidingsduur in uren per dag); tevens zijn de inputs aan kunstmest-N, drijfmest-N en totaal-N opgenomen.

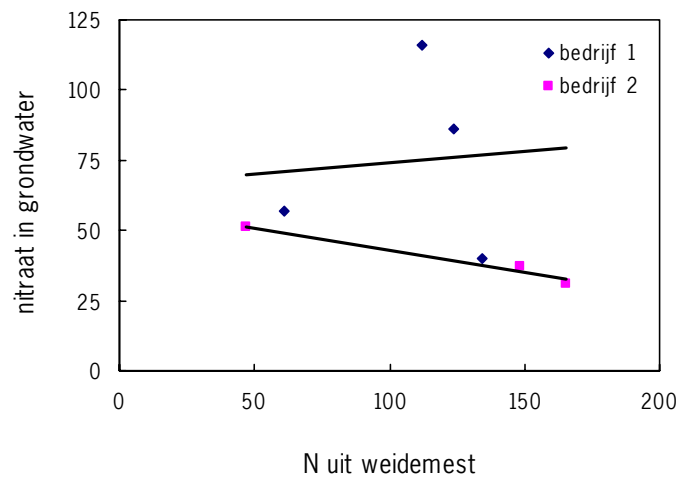
Op bedrijf 1, met relatief kleine verschillen in beweidingsintensiteit, werd geen verband tussen beweidingsdruk en nitraatgehalte gevonden ($r^2 = 0,007$), op bedrijf 2 werd een negatief verband gevonden ($r^2 = 0,97$), zie Figuur 3.3. Naast verschil in totale beweidingsdruk kan ook verschil in tijdstip van beweiding een effect op de nitraatuitspoeling hebben. Met name urinstikstof die later in het seizoen op de bodem komt kan minder benut worden en geeft een groter risico op uitspoeling. In Figuur 3.4 is het verband weergegeven tussen de aanvoer van N in weidemest na 1 september en de nitraatconcentratie in het grondwater. Ook hier werd voor bedrijf 1 geen verband gevonden ($r^2 = 0,18$), voor bedrijf 2 werd echter een (zwak) positief verband gevonden ($r^2 = 0,56$), waarbij iedere kg N in weidemest, gedeponeed na 1 september leidde tot een verhoging van het nitraatgehalte in het grondwater met 0,5 mg, overeenkomend met een uitspoeling van ongeveer 35% van de betreffende N in weidemest. De verschillen in hoeveelheid N in weidemest in deze periode zijn echter zo klein dat het gevonden verband nauwelijks waarde gehecht kan worden.

Verder is ook de overige aanvoer van stikstof bepalend voor de nitraatuitspoeling. In Tabel 3.1 is voor de verschillende percelen van de twee bedrijven de totale stikstofaanvoer voor het jaar 2002 weergegeven, bestaande uit weidemest, kunstmest, drijfmest en overige organische mest. Op het bedrijf (1) waar geen verband gevonden werd tussen beweidingsdruk en nitraatuitspoeling was de bemesting niet gecorreleerd met de beweidingsdruk en werd ook geen verband tussen de totale aanvoer van N en het nitraatgehalte in het grondwater gevonden ($r^2 = 0,12$, zie ook Figuur 3.5). Op het bedrijf (2), waar een negatief verband gevonden werd tussen beweidingsdruk en nitraatuitspoeling, bleek het gebruik van organische mest op het perceel met zeer lage beweidingsdruk sterk verhoogd te

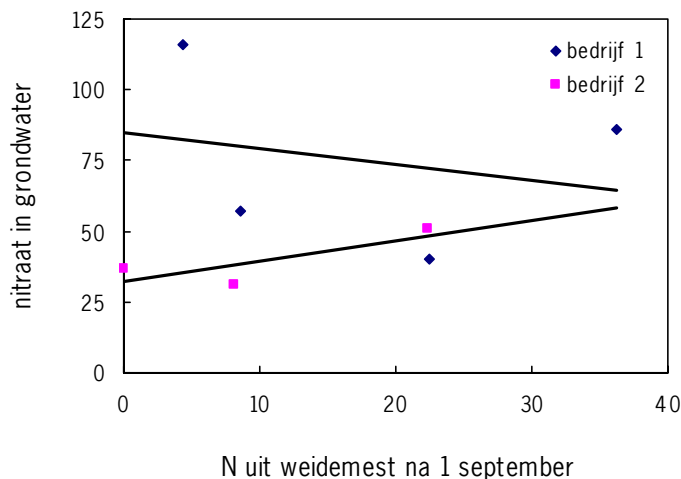
zijn. Hier werd een sterk positief verband ($r^2 = 0,99$) gevonden tussen de totale aanvoer van N en het nitraatgehalte in het grondwater (zie Figuur 3.5).

Tabel 3.1. *Beweidingsintensiteit (uitgedrukt als depositie van weidemest), bemesting en nitraatconcentratie in het bovenste grondwater voor percelen van twee bedrijven in 'Koeien & Kansen'. N in $\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ N, nitraatgehalte in $\text{mg l}^{-1} \text{NO}_3$.*

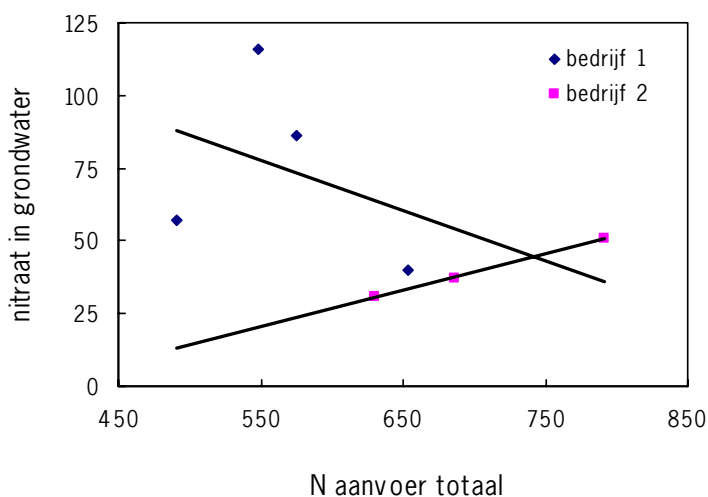
Bedrijf	Perceel	N weidemest totaal	N weidemest na 1 sept.	N kunstmest	N drijfmest	N totaal	Nitraat in grondwater
1	1	106	4	154	288	548	116 \pm 13
	2	61	9	86	344	491	57 \pm 7
	3	117	36	143	325	575	86 \pm 11
	4	127	22	149	378	654	40 \pm 6
2	1	47	22	49	696	792	51 \pm 6
	2	166	8	157	297	630	31 \pm 10
	3	148	0	143	395	686	37 \pm 6



Figuur 3.3. *Beweidingsintensiteit in 2002 (uitgedrukt als input uit weidemest in $\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ N) en nitraatuitspoeling (uitgedrukt als nitraatgehalte van de bovenste meter grondwater in $\text{mg l}^{-1} \text{NO}_3$) voor percelen van twee bedrijven in 'Koeien & Kansen'.*



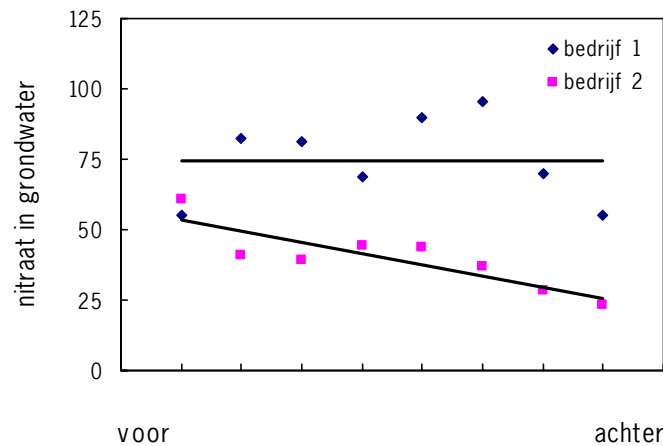
Figuur 3.4. Beweidingsintensiteit vanaf 1 september 2002 (uitgedrukt als input uit weidemest in kg ha⁻¹ yr⁻¹ N) en nitraatuitspoeling (uitgedrukt als nitraatgehalte van de bovenste meter grondwater in mg l⁻¹ NO₃) voor percelen van twee bedrijven in 'Koeien & Kansen'.



Figuur 3.5. N-aanvoer in 2002 (uitgedrukt in kg ha⁻¹ yr⁻¹ N) en nitraatuitspoeling (uitgedrukt als nitraatgehalte van de bovenste meter grondwater in mg l⁻¹ NO₃) voor percelen van twee bedrijven in 'Koeien & Kansen'.

Een andere indicatie van een verhoogde nitraatuitspoeling bij beweiding kan zijn een verhoogde uitspoeling voor op de percelen. Koeien bevinden zich normaal meer in het voorste deel van een perceel door de aanwezigheid van drinkwater en de ingang van het perceel. Op bedrijf 1 waren de percelen bovendien zodanig verdeeld dat de koeien per beweiding drie dagen toegang hadden tot het voorste deel van het perceel, twee dagen tot het middelste deel en slechts één dag tot het achterste deel van het perceel. Er werd een aanzienlijke variatie gevonden in de nitraatconcentraties voor de binnen de percelen bemonsterde stroken, met variatiecoëfficiënten van 30 tot 40% voor bedrijf 1 en 30 tot 90% voor bedrijf 2. Voor bedrijf 1 was deze variatie in alle percelen willekeurig en niet gekoppeld aan de plaats binnen het perceel, voor bedrijf 2 was de variatie in twee percelen wel gekoppeld aan de plaats binnen het perceel. In Figuur 3.6 is voor beide bedrijven het gemiddelde verloop van de nitraatconcentratie in het grondwater van voor naar achter op de percelen weergegeven. Voor bedrijf 1 is er geen verband gevonden ($r^2 < 0,01$), voor bedrijf 2 is wel een significant verband gevonden ($r^2 = 0,74$). Dit verband kan echter ook veroorzaakt zijn door verschil in waterhuishouding binnen de percelen; deze percelen liggen op de overgang van grondwatertrap V (voor

naar IV (achter). De veel hogere nitraatconcentratie in de voorste strook van de percelen van bedrijf 2 (punt 1 ten opzichte van punt 2) zou wel kunnen wijzen op een effect van verschil in depositie van weidemest. Dat juist geen verband werd gevonden op het bedrijf waar als gevolg van het gehanteerde beweidingssysteem het verschil in beweidingintensiteit tussen het voorste en achterste deel van de percelen duidelijk aanwezig moet zijn geweest suggereert ook een andere reden voor verschil in nitraatuitspoeling voor en achter op de percelen van bedrijf 2 dan verschil in beweidingintensiteit.



Figuur 3.6. Nitraatuitspoeling in 2002/2003 (uitgedrukt als nitraatgehalte van de bovenste meter grondwater in mg l⁻¹ NO₃) als functie van de locatie binnen percelen voor twee bedrijven in 'Koeien & Kansen'.

De resultaten van dit deelonderzoek wijzen niet op een consistent verband tussen beweidingintensiteit en nitraatuitspoeling. Op bedrijf 1 werd geen enkel verband gevonden, ook niet tussen totale N aanvoer en nitraatuitspoeling. Kennelijk heeft de gevonden aanzienlijke variatie in nitraatuitspoeling hier andere oorzaken. Op bedrijf 2 werd zelfs een negatief verband gevonden tussen beweidingintensiteit gedurende het hele seizoen en nitraatuitspoeling. Wel werd een (zwak) verband gevonden tussen beweidingintensiteit na 1 september en nitraatuitspoeling, maar de totale N aanvoer was hier sterk gecorreleerd met de beweidingintensiteit na 1 september en de totale N-aanvoer was weer sterk gecorreleerd met de nitraatuitspoeling. Ook de op dit bedrijf gevonden lagere nitraatuitspoeling achter op de percelen kan wijzen op een effect van beweiding, maar verschil in grondwatertrap ligt meer voor de hand als oorzaak van dit verschil. Mogelijk was het verschil in beweidingintensiteit op deze bedrijven nog te klein om een effect aan te tonen, mogelijk waren de bemonsterde percelen hiervoor niet geschikt. Op bedrijf 1 werd een grote onverklaarde variatie binnen en tussen percelen gevonden; op bedrijf 2 konden de verschillen in uitspoeling goed verklaard worden door verschillen in stikstofbemesting. Geconcludeerd kan worden dat voor het aantonen van een effect van beweiding op de nitraatuitspoeling grote verschillen in beweidingintensiteit onder overigens zeer goed vergelijkbare omstandigheden nodig zijn. Praktijkgegevens lijken hier niet aan te kunnen voldoen; in de geselecteerde meest geschikte gegevens was bij één bedrijf het verschil in beweidingintensiteit nog relatief klein en werd het verschil bij het andere bedrijf overschaduwed door een verschil in bemesting.

Vooralsnog wordt de hypothese dat beweiding bijdraagt aan de nitraatuitspoeling door deze resultaten niet ondersteund, de hypothese kan echter ook niet worden verworpen.

3.2 Droevendaal

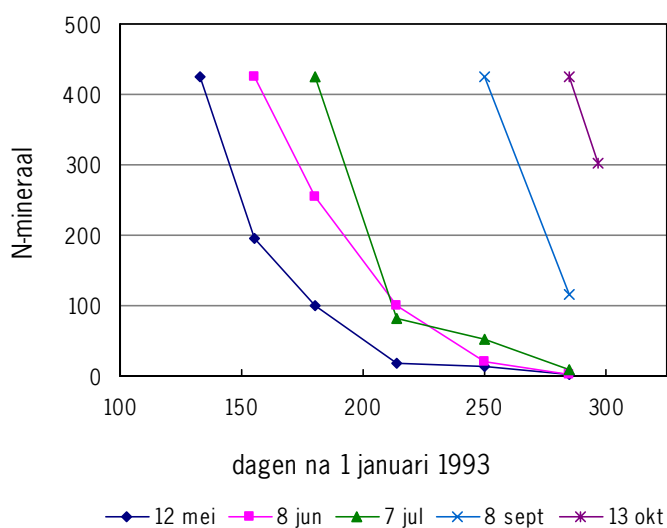
De resultaten van de in 1993 en 1994 door Van der Putten uitgevoerde experimenten zijn niet integraal gepubliceerd. Wel zijn de resultaten gebruikt voor een overzichtsartikel (Van der Putten & Vellinga, 1996) en vooral voor modellering (Hack-Ten Broeke & Van der Putten, 1997; Vellinga *et al.*, 2001). In dit rapport worden de belangrijkste resultaten van het in 1993 gestarte experiment samengevat.

De stikstofbenutting bij de meest relevante combinaties van stikstofgift en urinegift is samengevat in Tabel 3.2. Hierin zijn de resultaten weergegeven van de objecten met een stikstofbemesting van $240 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1} \text{ N}$ en urinegift van 360 en $485 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ en met een stikstofbemesting van $420 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1} \text{ N}$ en een urinegift van $500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$.

In deze proef was de benutting van urinestikstof beter bij een lagere stikstofbemesting ($240 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1} \text{ N}$ tegenover 420 kg) en bij toediening vroeger in het seizoen. Deze effecten komen overeen met de verwachting. Wat wel opvalt, is dat benutting bij toediening voor medio juni niet afhankelijk was van de datum van toediening. Dat ging samen met een opvallend snelle daling van N-mineraal; bij toediening in voorjaar of zomer was na twee tot drie maanden geen duidelijke verhoging van het gehalte aan N-mineraal in de bodem meer meetbaar (Figuur 3.7) en kon dus ook geen verdere benutting meer plaatsvinden.

Tabel 3.2. Benutting van urine-N in het jaar van toediening (tot de laatste oogst op 12 oktober) en in de eerste drie sneden in het jaar na toediening (gegevens van Van der Putten).

Datum urinegift (1993)	N gift 240 kg ha^{-1} , 360 kg urine-N		N gift 240 kg ha^{-1} , 485 kg urine-N		Datum urinegift (1993)	N gift 420 kg ha^{-1} , 500 kg urine-N	
	1993	1994	1993	1994		1993	1994
12 mei	199	24	239	22	12 mei	196	4
8 juni	209	0	231	-24	6 juni	217	3
7 juli	179	10	200	9	27 juni	142	23
8 september	66	43	61	41	25 augustus	-15	13
13 oktober	0	53	0	57	6 oktober	0	14



Figuur 3.7. Verloop van de hoeveelheid N-mineraal onder urineplekken na toediening op verschillende data. N-mineraal in kg N ha^{-1} in de laag $0\text{-}60 \text{ cm}$, uitgedrukt als verschil in N-mineraal tussen urineplekken en onbehandelde plekken (5 tot 30 kg N ha^{-1} , afhankelijk van tijdstip). Gemiddelde waarden voor urinegift van 360 en 485 kg N ha^{-1} bij een stikstofniveau van 240 kg N ha^{-1} . De beginwaarde van 420 kg N ha^{-1} is de totaal gegeven hoeveelheid urine-N en niet een gemeten waarde. Gegevens van Van der Putten.

Combinatie van benutting door het gewas en overgebleven N-mineraal in de bodem leidt tot een aanzienlijk balansstekort van urinestikstof. In voorjaar en zomer was op deze wijze binnen enkele weken nog maar gemiddeld 60% van de urinestikstof te traceren. Uitgaande van een schatting van de ammoniakemissie van gemiddeld 10% van de urine-N was er in een maand een balansstekort van gemiddeld ongeveer 30% ontstaan. De snelheid waarmee het balansstekort tot stand kwam was globaal hoger in voorjaar en voorzomer en lager in nazomer en najaar maar lijkt niet gecorreleerd te zijn met het vochtgehalte van de grond of met de neerslag in de periode kort na toediening van de urine. Ook was de grootte van het percentuele balansstekort niet afhankelijk van de hoeveelheid stikstof in de urine of van de basisstikstofgift van het grasland. De over de eerste tien dagen na toediening gemeten verliezen waren veel sterker variabel dan de verliezen gemeten over de eerste snede na toediening. Dit kan mogelijk veroorzaakt zijn door een ongelijke indringing van urine in de grond, die vooral kort na toediening zorgt voor grote concentratieverschillen binnen de urineplekken en daarmee voor variatie in de gemeten N-mineraalgehalten. Slechts in enkele gevallen werd een hoog aandeel nitraat-N in de N-mineraal gevonden bij een hoog N-mineraalgehalte, voor het balansstekort ontstond. Dit wijst op verliezen die optreden voor of tijdens nitrificatie.

Het balansstekort ontstond onder omstandigheden waarbij nitraatuitspoeling nog niet aan de orde was en die ook niet gunstig voor een snel verlopende denitrificatie waren. Ook vastlegging van een dergelijke hoeveelheid stikstof in stoppels, wortels, microbiële biomassa of organische stof op een zo korte termijn lijkt niet waarschijnlijk (Whitehead & Bristow, 1990; Lovell & Jarvis, 1996). Enige vastlegging moet wel plaatsgevonden hebben; in het volgende jaar werd nog wel urinestikstof benut door het gewas, maar deze hoeveelheid was zeer klein voor in het voorjaar of de zomer toegediende urine en werd pas groter voor laat in de zomer of in het najaar toegediende urine (zie Tabel 3.2). Deze stikstof moet in het begin van het groeiseizoen vrijgekomen zijn; vlak voor het groeiseizoen was geen sprake van een verhoogde hoeveelheid N-mineraal onder urineplekken. Ook Cuttle & Bourne (1993) vonden een verdere benutting van urine-N in het jaar na toediening terwijl ook hier geen sprake was van grotere voorraden N-mineraal of 'potentieel mineraliseerbaar N' in het voorjaar.

Dergelijke balansstekorten zijn vaak ook aanwezig in andere experimenten. Vertregt & Rutgers (1988) vonden aanzienlijke balansstekorten binnen tien dagen, ook in klei en veen, maar niet bij toevoegen van een nitrificatierepmer. Op basis hiervan is de hypothese opgesteld dat de verliezen tijdens nitrificatie zouden ontstaan. Ook Cuttle & Bourne (1993) constateerden dat het balansstekort ontstaan tussen toediening in september en bepaling van de benutting in het gewas en de voorraad N-mineraal in de bodem in november te groot was om dit te kunnen verklaren met realistische schattingen van ammoniakvervluchtiging, denitrificatie en uitspoeling. Verdere discussie over het ontstaan van deze verliezen is te vinden in paragraaf 4.5.

Het grote balansstekort, ontstaan in een periode dat uitspoeling nog niet aan de orde is en waarin de omstandigheden voor denitrificatie in de droge zandgrond van Droevendaal zeker niet optimaal zijn, vormden samen met het ontbreken van metingen van de directe uitspoeling onder urineplekken de aanleiding tot het starten van de experimenten waarvan de resultaten beschreven zijn in de volgende paragrafen.

3.3 Experiment 1: gras met kunstmest op zandgrond

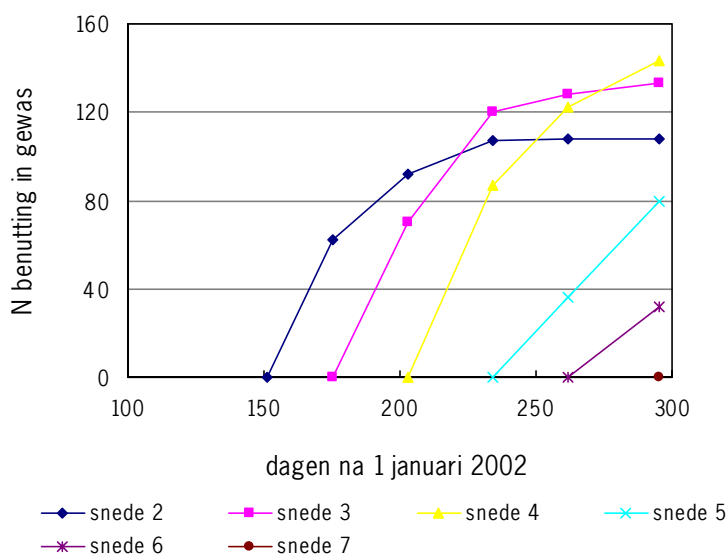
In experiment 1 zijn urineplekken aangebracht na de tweede, derde, vierde, vijfde, zesde en zevende snede, tussen 31 mei en 22 oktober 2002. De opbrengsten en meeropbrengsten in urineplekken aan droge stof en aan stikstof zijn weergegeven in Tabel 3.3, het verloop van de benutting van de urine-N in de loop van het groeiseizoen is weergegeven in Figuur 3.8.

De totale opbrengst aan droge stof was, inclusief ruim vier ton voor de eerste en de tweede snede, met ongeveer 10 ton redelijk voor het stikstofniveau van $250 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ totaal werkzame N. De N-opbrengst was voor weidesneden met een gemiddelde droge-stofopbrengst van bijna $1,2 \text{ ton ha}^{-1}$ laag met een laag N-gehalte van slechts 2,5% in de droge stof.

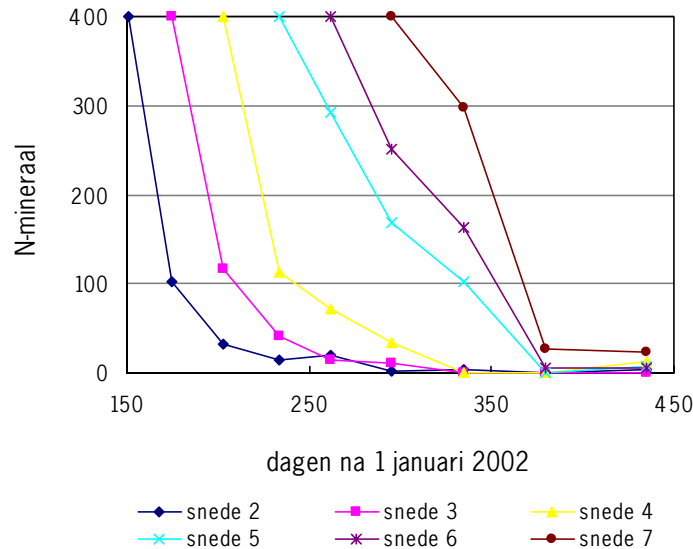
Evenals in de proef op Droevendaal (zie 3.2) was ook hier geen effect zichtbaar van de datum van toediening vroeger in het groeiseizoen; bij toediening eind mei was de benutting zelfs lager, terwijl bij toediening na eind juli de benutting snel afnam. De benutting was lager, maximaal niet meer dan ongeveer 140 kg ha^{-1} , dan de ongeveer 200 kg ha^{-1} op Droevendaal. Wel duurde de periode met een maximale benutting langer, tot medio juli in experiment 1 in plaats van tot medio juni op Droevendaal. In experiment 1 werd geen residuele benutting in het voorjaar gevonden, ondanks een verhoogd gehalte aan N-mineraal in de bodem na toediening in oktober. Mogelijk werd dit veroorzaakt door de grote heterogeniteit van het veld na de winter.

Tabel 3.3. Droge-stofopbrengst en meeropbrengst (in ton d.s. ha^{-1}) en N-opbrengst en benutting van urine-N (in kg N ha^{-1}) in urineplekken van verschillende datum in experiment 1.

Datum urinegift	Droge-stofopbrengst na 31 mei	Droge stof meeropbrengst	N-opbrengst na 31 mei	Benutting urine-N
Geen	5,75	-	146	-
31-05-2002	8,30	2,55	254	108
24-06-2002	8,77	3,02	279	133
22-07-2002	8,59	2,84	289	143
22-08-2002	7,20	1,45	226	80
19-09-2002	6,33	0,50	178	32
22-10-2002	5,75	-	146	-



Figuur 3.8. Cumulatieve benutting van urine-N in gewas in experiment 1. Benutting in kg N ha^{-1} , uitgedrukt als verschil in stikstofopbrengst tussen urineplekken en onbehandelde plekken.



Figuur 3.9. Verloop van de hoeveelheid N-mineraal in urineplekken in experiment 1. N-mineraal in kg N ha^{-1} in de laag 0-60 cm, uitgedrukt als verschil in N-mineraal tussen urineplekken en onbehandelde plekken (10 tot 30 kg N ha^{-1} , afhankelijk van tijdstip). De beginwaarde van 420 kg N ha^{-1} is de totaal gegeven hoeveelheid urine-N en niet een gemeten waarde.

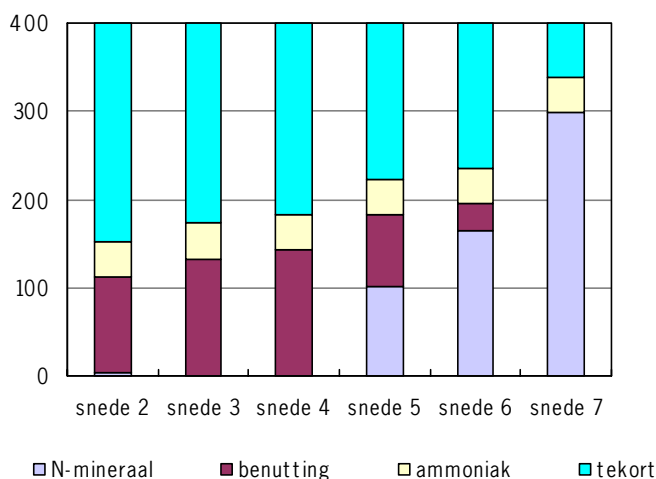
Het verloop van de hoeveelheid N-mineraal in de bodem (tussen 0 en 60 cm diepte) onder de urineplekken van experiment 1 is weergegeven in Figuur 3.9. Dit gehalte liep snel terug. Vroeg in het seizoen zeer snel, binnen ongeveer één maand werd nog maar ongeveer 30% van de urine-N als N-mineraal teruggevonden. Later in het seizoen ging dit langzamer en was na één maand nog ongeveer 70% van de urine-N in deze vorm terug te vinden. Hierdoor was pas bij toediening in augustus een verhoging van de hoeveelheid N-mineraal zichtbaar aan het eind van het groeiseizoen. Na de winter was alleen na toediening in oktober de hoeveelheid N-mineraal nog verhoogd, de verhoging was echter maar gering met ongeveer 5% van de toegediende urine-N. Enige verhoging kan ook nog aanwezig zijn geweest in de laag van 60 tot 90 cm diepte. Deze bodemlaag kan door verkitting nauwelijks bemonsterd worden en de hoogste grondwaterstand is nooit minder dan 80 cm diepte.

De matige benutting en de snelle daling van de hoeveelheid N-mineraal in de bodem betekenen ook voor experiment 1 een groot balanstekort, ontstaan in een korte periode na toediening. Weer uitgaande van een gemiddelde ammoniakvervluchtiging van 10% van de urine-N bedroeg het balanstekort op 1 december 60% na toediening in mei, aflopend tot 20% na toediening in oktober. De grootste balanstekorten zijn tot stand gekomen onder omstandigheden waarbij uitspoeling nog niet van betekenis is geweest en de omstandigheden voor denitrificatie in de droge zandgrond verre van optimaal zijn geweest. De balans van urine-N op 1 december is voor de verschillende data van toediening weergegeven in Figuur 3.10.

Ook in dit experiment (en ook in experiment 2) ontstond het balanstekort sneller bij toediening vroeger in het seizoen, maar ook hier was er geen relatie te leggen met het vochtgehalte van de grond of met de regenval na toediening. Hogere gehalten aan N-mineraal zijn alleen gemeten aan het eind van het groeiseizoen omdat het balanstekort hier minder snel ontstond. In een aantal gevallen was de N-mineraal overwegend aanwezig als ammonium-N, in andere gevallen overwegend als nitraat-N. Dit geeft aan dat balanstekorten behalve voor of tijdens nitrificatie ook nog na nitrificatie kunnen ontstaan. In de discussie wordt verder ingegaan op de mogelijke oorzaken van de gevonden balanstekorten.

De nitraatuitspoeling is weergegeven in Tabel 3.4. Door de droge winter is de nitraatuitspoeling niet volledig geweest, onder de in oktober aangebrachte urineplekken was in het voorjaar nog een verhoogde hoeveelheid N-mineraal aanwezig in de laag 0 tot 60 cm. In de eerder aangebrachte urineplekken was dit niet het geval, maar

mogelijk is in de in augustus en september aangebrachte urineplekken na de winter nog wel enige N-mineraal aanwezig geweest in de laag 60 tot 90 cm. In deze plekken was op 1 december nog wel een aanzienlijke hoeveelheid N-mineraal aanwezig in de laag van 0 tot 60 cm.



Figuur 3.10. Balans van urine-N in experiment 1 op 1 december na toediening op verschillende tijdstippen in het groeiseizoen. N-mineraal in de bodem en N-benutting in het gewas zijn gemeten; ammoniak-vervluchtiging is geschat. Alle waarden in kg N ha⁻¹.

Tabel 3.4. Residuele N-mineraal in de bodem op 1 december, nitraatgehalte van het grondwater (bovenste meter) en nitraatuitspoeling van urinstikstof in experiment 1. N-mineraal uitgedrukt in kg ha⁻¹ (0-60 cm); tussen haakjes percentage nitraat-N, nitraatgehalte in het grondwater uitgedrukt in mg l⁻¹ NO₃ en nitraatuitspoeling uitgedrukt in kg ha⁻¹ N.

Datum urinegift	N-mineraal (kg N ha ⁻¹)	Nitraatgehalte (mg NO ₃ l ⁻¹)	Nitraatuitspoeling (kg N ha ⁻¹)	Nitraatuitspoeling urine-N (kg N ha ⁻¹)
Geen	34 (63)	17	11	-
31-05-2002	+ 4	38	26	15
24-06-2002	+ 0	46	31	20
22-07-2002	+ 0	44	30	19
22-08-2002	+ 92 (67)	42	28	17
19-09-2002	+ 164 (85)	70	47	36
22-10-2002	+ 298 (90)	83	56	45

Het verband tussen de aanwezige N-mineraal in de grond en de nitraatuitspoeling was niet eenduidig en zeker niet lineair. In vroeg in het seizoen aangebrachte urineplekken werd geen verhoogde hoeveelheid N-mineraal gevonden maar wel een verhoogde uitspoeling. Mogelijk werd dit veroorzaakt door vastlegging gevolgd door mineralisatie in het uitspoelingsseizoen. Uitspoeling voor 1 december mag uitgesloten geacht worden; in deze objecten is in de zomer nauwelijks nitraat uitgespoeld tot in de laag 30-60 cm. In laat in het seizoen aangebrachte plekken werd een grote verhoging van de hoeveelheid N-mineraal gevonden en een relatief kleine verhoging van de uitspoeling. Dit laatste werd waarschijnlijk veroorzaakt door doorgaande 'onverklaarde' verliezen.

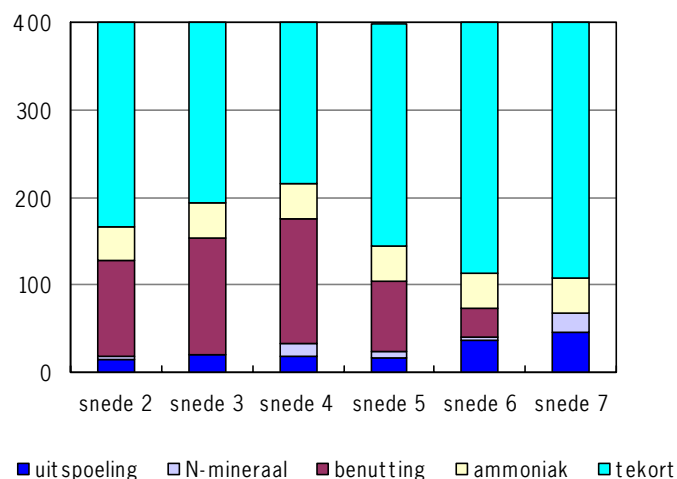
De nitraatuitspoeling was in dit experiment laag, gegeven de hoogste grondwaterstand van ongeveer 80 cm diep. Alleen onder urineplekken aangebracht in september en oktober werd een nitraatgehalte van meer dan 50 mg per liter gevonden, zodat in deze situatie beweiding wel zou leiden tot een verhoging van de nitraatuitspoeling, maar niet tot overschrijding van de grenswaarde van 50 mg NO₃ per liter. Berekeningen van de uitspoeling op perceelsniveau worden gegeven in paragraaf 3.6.

Naar analogie van Figuur 3.10 kan ook een balans opgesteld worden voor het voorjaar. Hiervoor zijn de gegevens over de nitraatuitspoeling en de bepaling van de hoeveelheid N-mineraal op 11 maart 2003 gebruikt; zie Figuur 3.11. Door de toch wat verhoogde uitspoeling is het balanstekort voor snede 2, 3 en 4 wat kleiner geworden ten opzichte van 1 december, voor snede 5, 6 en 7 is het balanstekort echter veel groter geworden. Dit werd veroorzaakt doordat de vermindering van de hoeveelheid N-mineraal in de winter veel groter was dan de gemeten nitraatuitspoeling. Het balanstekort varieerde van 50 tot 70% van de toegediende urine-N. Ook als rekening gehouden wordt met achtergebleven N in de laag van 60 tot 90 cm diepte lijkt een balanstekort in de orde van gemiddeld meer dan 50% van de urine-N in dit experiment realistisch.

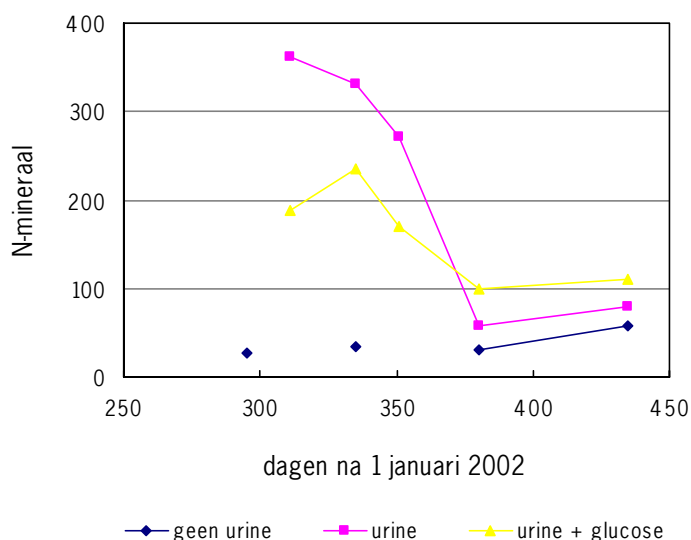
Als middel voor het mogelijk tijdelijk vastleggen van urine-N en daarmee vermindering van de uitspoeling is goed afbreekbare organische stof, glucose, toegediend aan op 22 oktober aangebrachte urineplekken. De gecombineerde toevoeging van stikstof en koolstof moet leiden tot een snelle groei van de microbiële biomassa met immobilisatie van urine-N als gevolg. Wanneer de koolstofbron uitgeput is zal de stikstof door mineralisatie geleidelijk weer beschikbaar komen.

De toevoeging van glucose had een duidelijk effect op het verloop van de hoeveelheid N-mineraal, zoals weergegeven in Figuur 3.12. Twee weken na toediening was de hoeveelheid N-mineraal na toevoeging van glucose maar ruim de helft van de hoeveelheid zonder toevoeging en deze hoeveelheid bleef lager tot januari. In januari en maart was de hoeveelheid N-mineraal na toevoeging van glucose juist iets groter, hoewel de verschillen niet significant waren. Het doel van de proef, tijdelijk vastleggen en later weer beschikbaar komen van stikstof, lijkt daardoor maar zeer beperkt gehaald te zijn. Het verschil in hoeveelheid N-mineraal in de bodem was in maart klein en leidde niet tot een verschil in benutting door het gewas. Het doel stikstof vast te leggen om later te kunnen benutten werd dus niet bereikt. Mogelijk was een verschil in opbrengst niet zichtbaar door de grote heterogeniteit in het gewas in het voorjaar van 2003.

De toevoeging van glucose had wel een effect op de nitraatuitspoeling, de verhoging van de uitspoeling ten opzichte van onbehandelde plekken was 23 kg N ha⁻¹ in plaats van 45 kg zonder toevoeging van glucose.



Figuur 3.11. Balans van urine-N in experiment 1 op 11 maart na toediening op verschillende tijdstippen in het groeiseizoen. Nitraatuitspoeling, N-mineraal in de bodem en N-benutting in het gewas zijn gemeten; ammoniakvervluchtiging is geschat. Alle waarden in kg N ha⁻¹.



Figuur 3.12. Verloop van de hoeveelheid N-mineraal in urineplekken met en zonder toevoeging van glucose, aangebracht op 22 oktober 2002; N-mineraal in kg N ha⁻¹.

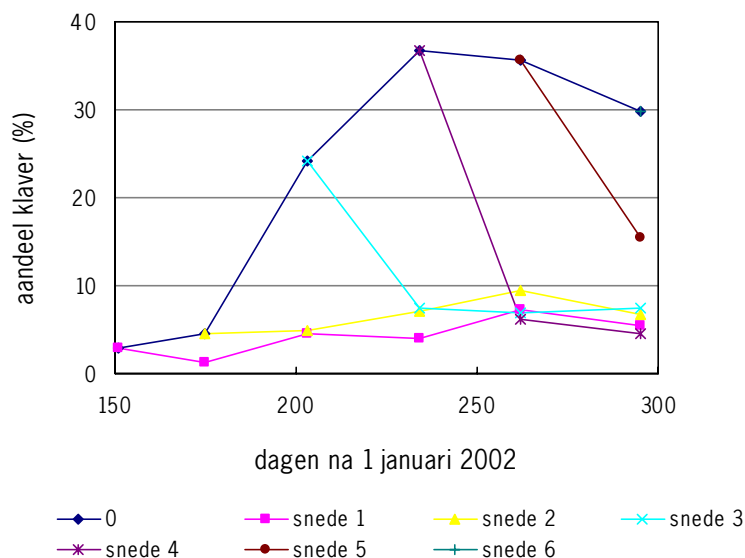
3.4 Experiment 2: gras met klaver op zandgrond

In experiment 2 zijn urineplekken aangebracht na de tweede, derde, vierde, vijfde, zesde en zevende snede, tussen 31 mei en 22 oktober 2002. De opbrengsten aan droge stof en aan stikstof en het percentage klaver in de opbrengst zijn weergegeven in Tabel 3.5. Het verloop van het percentage klaver in het groeiseizoen is weergegeven in Figuur 3.13.

De totale opbrengst aan droge stof was, inclusief bijna 4 ton voor de eerste en de tweede snede, met ruim 9 ton wat lager dan de opbrengst in experiment 1 met een stikstofniveau van 250 kg ha⁻¹ jr⁻¹ totaal werkzame N. De N-opbrengst was voor weidesneden met een gemiddelde droge-stofopbrengst van bijna 1,1 ton ha⁻¹ laag met een laag N-gehalte van slechts ruim 2,5% in de droge stof. Medeoorzaak van de lagere opbrengst en het lage N-gehalte kan het lage aandeel klaver in de zode in het begin van het seizoen zijn; dit gehalte liep op van 5% eind juni tot 35% eind augustus. In de urineplekken werd maar een kleine meeropbrengst gevonden, met een duidelijke achteruitgang van het aandeel klaver. Het verloop van het aandeel klaver in de droge-stofproductie is weergegeven in Figuur 3.13.

Tabel 3.5. Droge-stofopbrengst en meeropbrengst (in ton d.s. ha⁻¹), N-opbrengst (in kg N ha⁻¹) en aandeel van klaver in de droge-stofproductie in urineplekken van verschillende datum in experiment 2.

Datum urinegift	Droge-stofopbrengst na 31 mei	Droge stof meeropbrengst	N-opbrengst na 31 mei	Percentage klaver
Geen	5,43	-	143	21
31-05-2002	6,71	1,28	167	3
24-06-2002	6,73	1,31	184	6
22-07-2002	5,99	0,56	145	8
22-08-2002	5,79	0,36	164	14
19-09-2002	5,79	0,36	166	19
22-10-2002	5,43	-	143	21



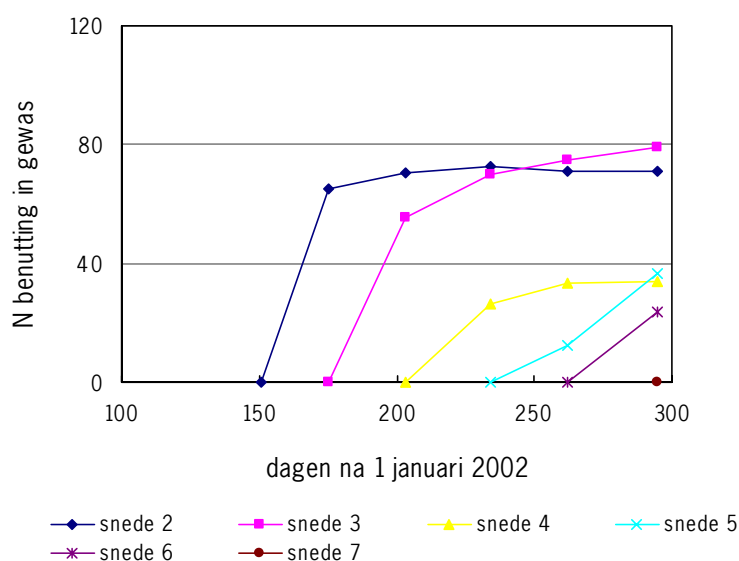
Figuur 3.13. Verloop van het aandeel klaver in de droge-stofproductie in urineplekken in experiment 2.

Tabel 3.6. N-meeropbrengst en benutting van urine-N (in kg N ha⁻¹) in urineplekken van verschillende datum in experiment 2.

Datum urinегift	N-meeropbrengst	N-opbrengst klaver	N-meeropbrengst klaver	Benutting urine-N
Geen	-	57	-	-
31-05-2002	25	10	- 47	72
24-06-2002	41	19	- 38	79
22-07-2002	2	24	- 33	35
22-08-2002	21	42	- 15	36
19-09-2002	23	56	- 1	24
22-10-2002	-	57	-	-

De benutting van urine-N mag in dit experiment niet gelijk gesteld worden met de meeropbrengst aan N (de apparent N recovery), omdat de toediening van urine-N de binding van N door klaver beïnvloedt. De meeropbrengst in het gewas moet nog gecorrigeerd worden voor de verandering in de hoeveelheid door klaver gebonden N. De bijdrage van de klaver aan de N-opbrengst van het mengsel is gesteld op 50 kg N per ton droge stof aan geogste klaver. Een deel van deze N wordt niet met de klaver geogst maar komt ter beschikking van het gras en wordt dan alsnog geogst. De opbrengst aan N in klaver was in urineplekken - zoals verwacht - altijd lager en daarom valt de benutting van urine-N hoger uit dan de N-meeropbrengst in het gewas. De benutting bedroeg echter toch niet meer dan maximaal 75 tot 80 kg ha⁻¹ N bij toediening voor juli, onafhankelijk van de datum van toediening. Dat is duidelijk minder dan in experiment 1 en ook bij toediening later in het seizoen was de benutting lager dan in het grasland met kunstmest; bij toediening in juli was de benutting zelfs veel lager. Een verdere verhoging van de benutting van urine-N kan nog plaatsvinden door opname van urine-N door klaver (Vinther, 1998). Door de sterke verdringing van de klaver in urineplekken was de N-opbrengst van klaver na toediening van urine hoogstens 10 kg N ha⁻¹, zodat deze bijdrage niet substantieel geweest kan zijn. De hypothese dat urine-N in grasland met klaver beter benut zou kunnen worden door remming van de stikstofbinding in urineplekken wordt dus niet door deze resultaten ondersteund. De lagere benutting lijkt in dit experiment veroorzaakt te zijn door de grote, snel na toediening optredende verliezen, waardoor vooral in de tweede en latere sneden na toediening vrijwel geen benutting meer werd gevonden. De hypothese dat urine-N in grasland met klaver beter benut zou kunnen worden kan met de gegevens van dit experiment dus ook niet verworpen worden.

Het verloop van de benutting van de urine-N in de loop van het groeiseizoen is weergegeven in Figuur 3.13. Opvallend is dat vooral na de eerste snede na toediening aanzienlijk minder urine-N benut werd dan in experiment 1.



Figuur 3.14. Verloop van de benutting van urine-N in gewas in experiment 2. Benutting in kg N ha⁻¹, uitgedrukt als verschil in stikstofopbrengst tussen urineplekken en onbehandelde plekken, gecorrigeerd voor verschil in stikstofopbrengst in klaver tussen urineplekken en onbehandelde plekken.

De combinatie van een relatief kort durende benutting van urine-N en een veel langduriger verdringing van de klaver leidde op termijn tot een verlaging van de droge-stofproductie in urineplekken, een verlaging die ook in het volgende groeiseizoen nog duidelijk aanwezig was. Deze langdurige verdringing van klaver werd mede door de afmetingen van de urineplekken veroorzaakt. In normale urineplekken met een oppervlak van 0,5 tot 0,7 m² zal klaver door herkolonisatie veel sneller weer een behoorlijk aandeel in de productie in kunnen nemen dan in de hier aangelegde plekken van 10 m². Anderzijds werd in het volgende jaar in later in het seizoen aangebrachte urineplekken nog een verhoging van de droge-stofproductie gevonden, als gevolg van een grotere hoeveelheid achtergebleven N-mineraal in de bodem in het voorjaar (zie Figuur 3.14). De productie en stikstofbenutting in de eerste twee sneden van het jaar na toediening zijn samengevat in Tabel 3.7 en 3.8, het netto-effect over de twee seizoenen is samengevat in Tabel 3.9.

Uit Tabel 3.8 blijkt dat na de eerste drie urinegiften geen benutting van urine-N meer plaatsvond in het jaar na toediening; bij de laatste drie urinegiften werd een toenemende benutting gevonden tot maximaal 10% na toediening in oktober. Tegenover deze benutting stond een doorgaand negatief effect van de verdringing van klaver, zodanig dat alleen na toediening in oktober duidelijk hogere meeropbrengsten aan droge stof en aan N te zien waren. Gemiddeld voor alle urineplekken was de meeropbrengst aan droge stof en N al negatief voor de eerste twee sneden en gezien het nog steeds lagere aandeel klaver zal dit negatieve effect nog toenemen in de volgende sneden van het jaar na toediening. Als eindresultaat mag bij deze proefopzet verwacht worden dat gemiddeld genomen voor verschillende data van toediening urine geen positief effect heeft op de productie aan droge stof en aan N in grasland met klaver. Er werd wel urine-N benut, zij het al minder dan in grasland met kunstmest, maar dit effect werd geheel teniet gedaan door een verminderde stikstofbinding door klaver. In urineplekken van normale afmetingen mag een veel minder langdurige verdringing van klaver verwacht worden en is dan ook gemiddeld wel een positief effect van urine op de productie aan drogestof en N te verwachten. Het te verwachten effect is echter wel kleiner dan dat in grasland zonder klaver.

Tabel 3.7. Droge-stofopbrengst en meeropbrengst (in ton drogestof ha⁻¹), N opbrengst (in kg N ha⁻¹) en aandeel van klaver in de droge-stofproductie in twee sneden in het jaar na toediening in urineplekken van verschillende datum in experiment 2.

Datum urinegift	Droge-stofopbrengst tot 22 mei 2003	Droge stof meeropbrengst	N opbrengst tot 22 mei 2003	Percentage klaver
Geen	2,7	-	80	39
31-05-2002	1,6	- 1,1	35	14
24-06-2002	1,7	- 1,0	41	17
22-07-2002	2,0	- 0,7	52	29
22-08-2002	2,2	- 0,5	52	12
19-09-2002	2,8	0,1	71	20
22-10-2002	3,9	1,2	101	18

Tabel 3.8. N meeropbrengst en benutting van urine-N (in kg N ha⁻¹) in twee sneden in het jaar na toediening in urineplekken van verschillende datum in experiment 2.

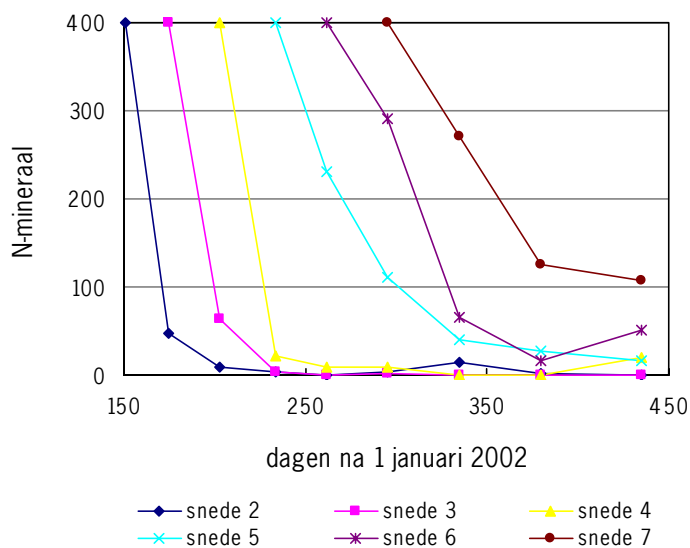
Datum urinegift	N-meeropbrengst	Bijdrage klaver aan N-opbrengst	N-meeropbrengst klaver	Benutting urine-N
Geen	-	53	-	-
31-05-2002	- 45	11	- 42	- 3
24-06-2002	- 39	14	- 39	0
22-07-2002	- 28	29	- 24	- 4
22-08-2002	- 28	13	- 40	12
19-09-2002	- 9	28	- 25	16
22-10-2002	21	35	- 18	39

Tabel 3.9. Droge-stof- en N-meeropbrengsten en benutting van urine-N (in kg N ha⁻¹) in het jaar van toediening en in twee sneden in het jaar na toediening in urineplekken van verschillende datum in experiment 2.

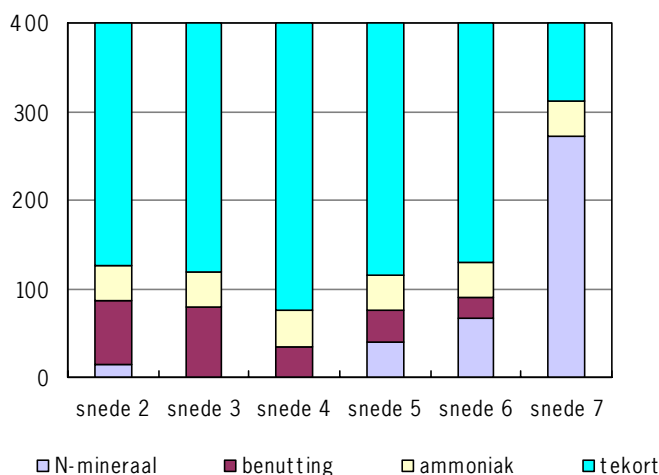
Datum urinegift	Droge stof meeropbrengst	N meeropbrengst	N meeropbrengst klaver	Benutting urine-N
Geen	-	-	-	-
31-05-2002	0,2	- 20	- 89	69
24-06-2002	0,3	2	- 77	75
22-07-2002	- 0,1	- 26	- 56	30
22-08-2002	- 0,1	- 7	- 55	48
19-09-2002	0,3	14	- 26	40
22-10-2002	1,2	21	- 18	39

Het verloop van de hoeveelheid N-mineraal in de urineplekken van experiment 2 is weergegeven in Figuur 3.14. De daling van de hoeveelheid N-mineraal verliep nog sneller dan in het grasland met kunstmest (vergelijk Figuur 3.9) en de op 1 december aanwezige hoeveelheid was ook nog lager dan in het grasland met kunstmest, met name na toediening in augustus en later. De combinatie van sneller dalende hoeveelheid N-mineraal in de bodem en geringere benutting in het gewas betekende een nog groter aandeel van 'onverklaarde' verliezen in de toegediende urine-N,

zoals weergegeven in Figuur 3.15. Op 1 december bedroeg het balanstekort voor alle voor oktober toegediende plekken al minimaal 65%. Door de snellere daling van N-mineraal in de bodem lijkt de geringere benutting door het gewas een gevolg van grotere onverklaarde verliezen, en niet andersom.



Figuur 3.15. Verloop van de hoeveelheid N-mineraal in urineplekken in experiment 2. N-mineraal in kg N ha^{-1} , uitgedrukt als verschil in N-mineraal tussen urineplekken en onbehandelde plekken (15 tot 35 kg N ha^{-1} , afhankelijk van tijdstip). De beginwaarde van 420 kg N ha^{-1} is de totaal gegeven hoeveelheid urine-N en niet een gemeten waarde.



Figuur 3.16. Balans van urine-N in experiment 2 op 1 december na toediening op verschillende tijdstippen in het groeiseizoen. N-mineraal in de bodem en N-benutting in gewas zijn gemeten; ammoniakvervluchtiging is geschat. Alle waarden in kg N ha^{-1} .

Tabel 3.10. Resterende N-mineraal in de bodem op 1 december en nitraatgehate van het grondwater (bovenste meter) in experiment 2. N-mineraal uitgedrukt in kg ha^{-1} (0-60 cm); tussen haakjes het percentage als nitraat aanwezige N, nitraatgehalte in het grondwater uitgedrukt in $\text{mg l}^{-1} \text{NO}_3$.

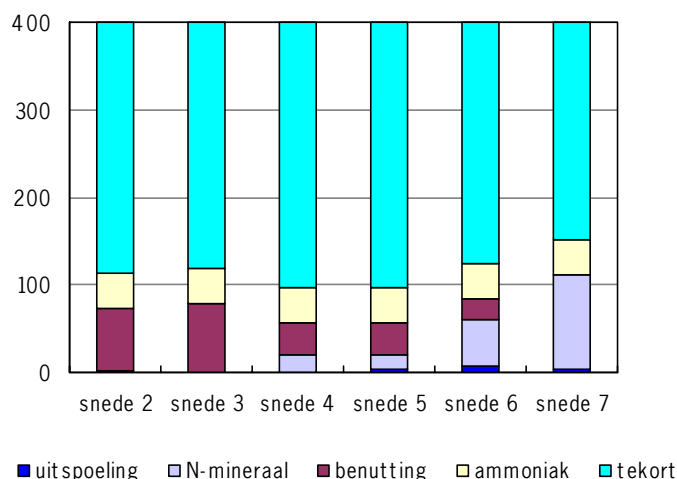
Datum urinegift	N-mineraal (kg N ha^{-1})	Nitraatgehalte ($\text{mg NO}_3 \text{l}^{-1}$)	Nitraatuitspoeling (kg N ha^{-1})	Nitraatuitspoeling urine-N
Geen	10 (82)	1	1	-
31-05-2002	+ 2	2	2	1
24-06-2002	+ 1	0	0	0
22-07-2002	+ 4	1	1	0
22-08-2002	+ 40 (52)	7	5	4
19-09-2002	+ 66 (92)	13	9	8
22-10-2002	+ 272 (35)	7	5	4

In het voorjaar was in laat aangebrachte plekken nog veel N-mineraal in de bodem aanwezig, aanzienlijk meer dan in gras met kunstmest. In de eerste sneden van het volgende jaar was de opbrengst in deze plekken dan ook verhoogd (zie Tabel 3.10).

De gemeten nitraatuitspoeling, weergegeven in Tabel 3.10, was bijzonder klein. In urineplekken aangebracht voor augustus werd geen enkele verhoging van de nitraatuitspoeling gemeten, maar ook in later aangebrachte plekken was de uitspoeling maximaal 2% van de hoeveelheid urine-N. Doordat in het voorjaar in de later in het seizoen aangebrachte plekken nog vrij veel N-mineraal aanwezig was, is het waarschijnlijk dat bij meer neerslag in de winter de uitspoeling groter zou zijn geweest. Verder bleek in dit perceel in de bodem lateraal transport van water plaats te vinden; daardoor is de gemeten uitspoeling niet betrouwbaar en een onderschatting van de werkelijke uitspoeling. Ook de zeer lage uitspoeling onder het controle-object van slechts 10% van de op 1 december in de laag 0 tot 60 cm aanwezige hoeveelheid N-mineraal wijst op een onderschatting van de uitspoeling.

Gezien de sterk op experiment 1 gelijkende bodemgesteldheid met een vrijwel gelijke hoogste grondwaterstand, de nog grotere balanstekorten in het najaar en de iets grotere hoeveelheden resterende N-mineraal in de bodem in het voorjaar mag verwacht worden dat de werkelijke nitraatuitspoeling in dit experiment zeker niet hoger geweest zal zijn dan in experiment 1.

De balans voor de toegediende urine-N in het voorjaar is weergegeven in Figuur 3.16. Het tekort varieert van ongeveer 65% voor toediening in oktober tot 70 tot 75% voor toediening in voorjaar of zomer. Als rekening gehouden wordt met meer uitspoeling dan de gemeten waarden en een hoeveelheid resterende N-mineraal in de laag van 60 tot 90 cm diepte wordt het balanstekort kleiner, maar vooral voor de eerder in het seizoen aangebrachte plekken kan dit verschil niet groot zijn gezien het balanstekort in het najaar (zie Figuur 3.15). Een balanstekort van minimaal 50% oplopend tot 70%, afhankelijk van de datum van toediening lijkt dan ook een realistische schatting.



Figuur 3.17. Balans van urine-N in experiment 2 op 11 maart na toediening op verschillende tijdstippen in het groeiseizoen. Nitraatuitspoeling, N-mineraal in de bodem en N-benutting in gewas zijn gemeten; ammoniakvervluchtiging is geschat. Alle waarden in kg N ha^{-1} .

3.5 Experiment 3: gras op kleigrond

In experiment 3 zijn urineplekken aangebracht na de eerste, tweede, derde, vierde, vijfde en zesde snede, tussen 13 mei en 22 oktober 2003. De opbrengsten aan droge stof en aan stikstof zijn weergegeven in Tabel 3.11; het verloop van de benutting van de urine-N in de loop van het groeiseizoen is weergegeven in Figuur 3.16.

De totale opbrengst aan droge stof was, inclusief de eerste snede, met ongeveer 11,5 ton goed voor het stikstofniveau van $250 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ totaal werkzame N, zeker gezien de droogte in augustus. De N-opbrengst was voor weidesneden met een gemiddelde droge-stofopbrengst van ruim $1,3 \text{ ton ha}^{-1}$ vrij laag met een laag N-gehalte van slechts 2,5% in de droge stof.

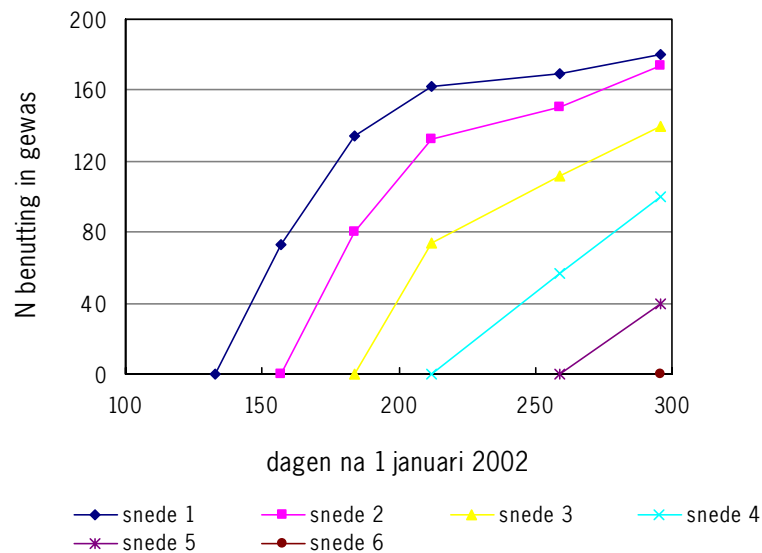
Evenals in de andere experimenten was ook hier geen duidelijk effect zichtbaar van de datum van toediening vroeger in het groeiseizoen, terwijl bij latere toediening de benutting snel afnam. De benutting van urine-N was beter dan in de experimenten op Cranendonck, maar nog altijd iets minder dan in de oudere proef op Droevendaal. De periode met een maximale stikstofbenutting duurde in dit experiment tot half of eind juni, terwijl de periode met een hoge meeropbrengst aan droge stof aanzienlijk langer duurde. Deze lag bij toediening eind juli nog op hetzelfde niveau als bij toediening half mei, terwijl de verhoging in de tussenliggende periode hoger was. In experiment 3 werd een kleine residuele benutting in het voorjaar gevonden (20 tot 40 kg ha^{-1}), resulterend in een meeropbrengst van ongeveer $0,5 \text{ ton droge stof ha}^{-1}$, onafhankelijk van de datum van toediening, mits toegediend na 1 juni. Bij toediening voor 1 juni was er geen residueel effect; de resultaten voor het jaar na toediening zijn weergegeven in Tabel 3.12.

Tabel 3.11. Droge-stofopbrengst en meeropbrengst (in ton d.s. ha⁻¹) en N-productie en benutting van urine-N (in kg N ha⁻¹) in urineplekken van verschillende datum in het jaar van toediening in experiment 3.

Datum urinegift	Droge-stofopbrengst in 2003	Droge stof meeropbrengst	N-opbrengst in 2003	Benutting urine-N
Geen	11,45	-	287	-
13-05-2003	14,06	2,61	467	180
06-06-2003	14,55	3,10	461	174
03-07-2003	14,35	2,90	427	140
31-07-2003	14,03	2,58	387	100
16-09-2003	12,37	0,92	327	40
22-10-2003	11,45	-	287	-

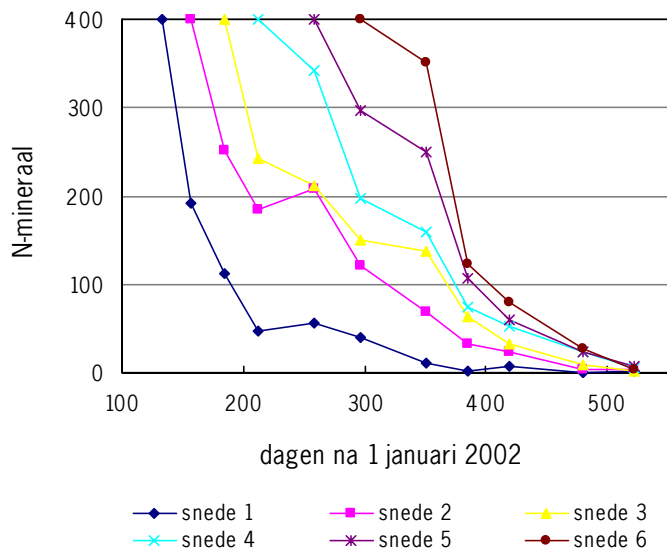
Tabel 3.12. Droge-stofopbrengst en meeropbrengst (in ton d.s. ha⁻¹) en N-productie en benutting van urine-N (in kg N ha⁻¹) in urineplekken van verschillende datum in het jaar na toediening in experiment 3.

Datum urinegift	Droge-stofopbrengst in 2004, tot 8 juni	Droge stof meeropbrengst	N-opbrengst in 2003	Benutting urine-N
Geen	9,4	-	194	-
13-05-2003	9,2	-	181	-
06-06-2003	10,1	0,7	221	27
03-07-2003	9,8	0,4	215	21
31-07-2003	10,2	0,8	214	20
16-09-2003	9,8	0,4	216	22
22-10-2003	10,0	0,6	232	38

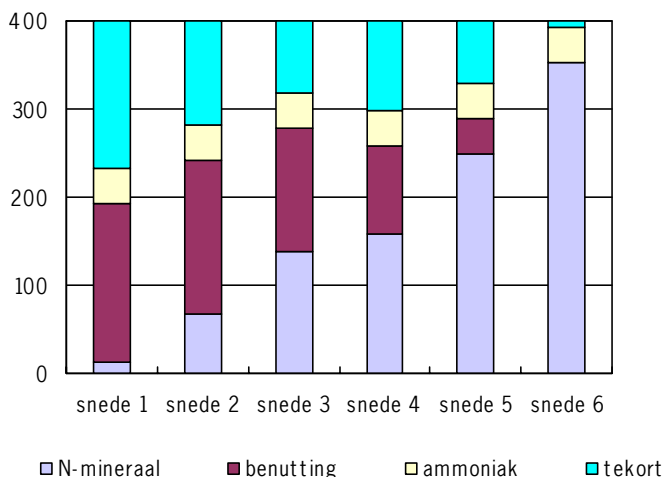


Figuur 3.18. Benutting van urine-N in gewas in experiment 3. Benutting in kg N ha⁻¹, uitgedrukt als verschil in stikstofopbrengst tussen urineplekken en onbehandelde plekken.

Het verloop van de hoeveelheid N-mineraal in de bodem (tussen 0 en 90 cm diepte) onder de urineplekken van experiment 3 is weergegeven in Figuur 3.17. Deze hoeveelheid liep aanzienlijk minder snel terug dan in experiment 1 en 2. Ook bij toediening in mei was een verhoging van de hoeveelheid N-mineraal zichtbaar aan het eind van het groeiseizoen. Eind februari was alleen na toediening in mei geen verhoging van de hoeveelheid N-mineraal meer zichtbaar; de verhoging was maximaal nog 20% van de toegediende urine-N. Dit verklaart dat na toediening in mei geen residueel effect op de benutting werd gevonden, in alle andere objecten wel (zie Tabel 3.12). Begin juni, na de tweede snede, werd in geen enkel object meer een verhoogde hoeveelheid N-mineraal gevonden. Dat betekent dat geen verdere verhoging van de benutting van de urine-N verwacht mocht worden en verdere waarnemingen zijn dan ook niet meer gedaan.



Figuur 3.19. Verloop van de hoeveelheid N-mineraal in urineplekken in experiment 3. N-mineraal in $kg N ha^{-1}$, uitgedrukt als verschil in N-mineraal tussen urineplekken en onbehandelde plekken (10 tot 30 $kg N ha^{-1}$, afhankelijk van tijdstip).



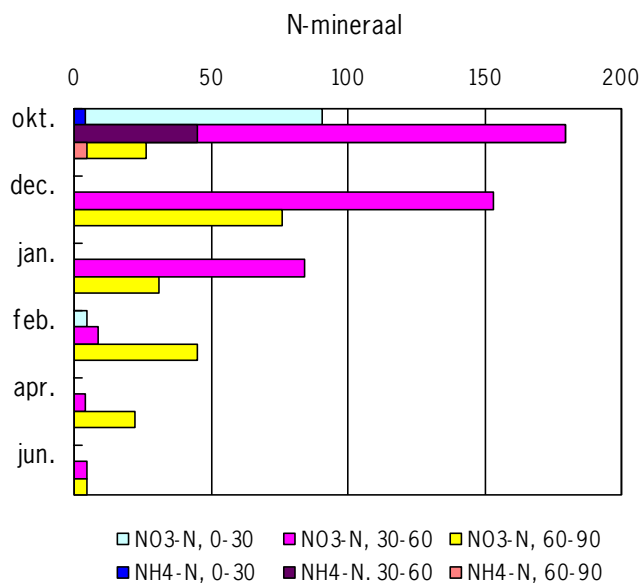
Figuur 3.20. Balans van urine-N in experiment 3 op 17 december na toediening op verschillende tijdstippen in het groeiseizoen. N-mineraal in de bodem en N-benutting in gewas zijn gemeten; ammoniakvervluchtiging is geschat. Alle waarden in $kg N ha^{-1}$.

De betere benutting van urine-N en de minder snelle daling van de hoeveelheid N-mineraal in de bodem betekenden in experiment 3 tot een aanzienlijk minder groot balanstekort in het najaar. De balans van urine-N op 17 december is voor de verschillende data van toediening weergegeven in Figuur 3.20. Weer uitgaande van een gemiddelde ammoniakvervluchtiging van 10% van de urine-N bedroeg het balanstekort op 17 december 40% na toediening in mei, aflopend tot slechts 2% na toediening in oktober. Voor het opmaken van de balans voor 17 december heeft al uitspoeling plaats gevonden. Dit kan echter niet meer geweest zijn dan 20 kg N ha^{-1} , meer N-mineraal was er in oktober niet aanwezig in de laag van 60 tot 90 cm diepte. Het balanstekort in december kan hierdoor dus iets kleiner geweest zijn. Het balanstekort in dit experiment was duidelijk kleiner dan dat in de experimenten 1 en 2 op zandgrond. Bovendien waren de omstandigheden in dit experiment veel minder ongunstig voor denitrificatie. In de periode tussen 31 juli en 16 september zijn de omstandigheden voor denitrificatie door droogte wel zeer ongunstig geweest en heeft ook weinig of geen daling van de hoeveelheid N-mineraal onder de urineplekken plaatsgevonden (zie Figuur 3.19), terwijl nitrificatie in die periode niet geremd werd. Dit wijst erop dat in dit experiment denitrificatie wel een voor de hand liggende factor van belang kan zijn geweest in de gevonden balanstekorten.

Het neerslagoverschot met daarin het uitspoelende nitraat wordt afgevoerd met drains en de nitraatuitspoeling kan dus niet in het grondwater of op een andere eenvoudige wijze bepaald worden. In principe kan alle N-mineraal, aanwezig in het najaar, uitgespoeld zijn. Dat is niet waarschijnlijk, want er zal ook nog denitrificatie plaats hebben gehad. De periodieke bemonstering van de verschillende bodemlagen kan inzicht geven in de verplaatsing van nitraat in de loop van de winter, en zo een idee geven over de uitspoeling. Als illustratie is het verloop gedurende de winter van N-mineraal in drie bodemlagen in urineplekken aangebracht in september weergegeven in Figuur 3.21. In de figuur is $\text{NO}_3\text{-N}$ en $\text{NH}_4\text{-N}$ apart weergegeven, het aandeel ammonium-N in de N-mineraal was allen in oktober nog van enige betekenis.

Gemonsterd is met tussenpozen van ongeveer 100 mm neerslag, de hoeveelheid die in principe alle nitraat in een volledige laag van 30 cm naar de volgende laag van 30 cm kan spoelen. In de eerste twee perioden kan eventueel ook nitraat uit de laag 30-60 cm zijn uitgespoeld tot dieper dan 90 cm, aan het begin van deze perioden was in de laag van 0 tot 60 cm diepte meer N-mineraal aanwezig dan aan het eind van deze perioden in de laag tussen 0 en 90 cm. In de laatste drie perioden zal minder nitraat uitgespoeld zijn dan in de laag tussen 60 en 90 cm aanwezig was; aan het begin van deze perioden was in de laag van 0 tot 60 cm diepte minder N-mineraal aanwezig dan aan het eind van deze perioden in de laag tussen 0 en 90 cm. In totaal is ongeveer 270 kg N ha^{-1} verdwenen, waarvan ongeveer 85 kg direct uit de laag 60-90 cm. Deze N-mineraal zal niet geheel als nitraat uitgespoeld zijn, in de klei-grond zijn de omstandigheden ook 's winters relatief gunstig voor denitrificatie. Er mag echter van uit gegaan worden dat denitrificatie een minder grote rol speelt in de laag tussen 60 en 90 cm diepte en dat de tot in deze laag uitgespoelde nitraat voor een belangrijk deel verder uit zal spoelen tot in de drains. Een aanzienlijke verhoging van de nitraatuitspoeling door beweiding onder de condities van dit experiment is niet onwaarschijnlijk, maar een betrouwbare kwantificering is niet mogelijk. In de discussie wordt wel een waarschijnlijke orde van grootte aangegeven.

Door het ontbreken van uitspoelingsgegevens is het niet zinvol naar analogie met Figuur 3.20 een balans op te stellen voor het voorjaar. Wel kan geconcludeerd worden dat de balanstekorten in dit experiment kleiner waren dan in de experimenten op zandgrond en dat het waarschijnlijk is dat denitrificatie in dit experiment wel een belangrijke factor is geweest bij het ontstaan van deze balanstekorten.



Figuur 3.21. Verloop van de hoeveelheid N-mineraal in drie bodemlagen onder urineplekken aangebracht in september 2003 in experiment 1 (N-mineraal in kg ha^{-1} als verschil tussen urineplekken en onbehandelde plekken).

3.6 Het berekenen van de nitraatuitspoeling bij beweiding

Wanneer de nitraatuitspoeling uit individuele urineplekken van verschillende datum bekend is kan op basis van een berekening van het aantal urineplekken van verschillende datum de totale verhoging van de nitraatuitspoeling als gevolg van beweiding berekend worden. Deze berekening kan echter alleen gemaakt worden voor de situatie van experiment 1 (bodemtype, N-niveau, productieniveau); alleen voor deze situatie zijn betrouwbare metingen van de nitraatuitspoeling beschikbaar.

Berekeningswijze

Uitgegaan is van een bemestingsniveau van $250 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ en een productieniveau (droge stof) van $10 \text{ ton ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$. Voor de verdeling van de productie over het seizoen is rekening gehouden met de gemiddelde hoeveelheid globale straling per maand: april 10%, mei 20%, juni 20%, juli 18%, augustus 16%, september 10% en oktober 6%.

Berekeningen zijn gemaakt voor beperkt weiden en voor onbeperkt weiden en voor beide situaties, zowel op basis van de gemeten uitspoeling als de met behulp van de rekenregels van het model NURP (Vellinga *et al.*, 2001) berekende uitspoeling uit urineplekken.

Voor beperkt weiden is uitgegaan van 8 uur beweiding per dag met bijvoeding van stikstofarm ruwvoer (zoals snijmaïs) en een droge-stofopname van 8 kg gras per dier per dag. Dit resulteert in een urineproductie van $25 \text{ l dier}^{-1} \text{dag}^{-1}$ met een N-gehalte van 8 g l^{-1} (Valk, 2002), waarvan 8/24 deel in het grasland. Bij een dosering van 5 l m^{-2} resulteert dit in een totaal aan urineplekken van $1,67 \text{ m}^2 \text{ dier}^{-1} \text{dag}^{-1}$ met een belasting van 400 kg N ha^{-1} . Bij een droge-stofproductie van $10 \text{ ton ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ resulteert dat in een totaal aan urineplekken van $2080 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ bij honderd procent beweiding. Voor onbeperkt weiden is uitgegaan van 20 uur beweiding per dag zonder bijvoeding van energierijk ruwvoer en een droge-stofopname van 12 kg gras per dag. Dit resulteert in een urineproductie van $35 \text{ l dier}^{-1} \text{dag}^{-1}$, waarvan 20/24 deel in het grasland. Bij een dosering van 5 l m^{-2} resulteert dit in een totaal aan urineplekken van $5,83 \text{ m}^2 \text{ dier}^{-1} \text{dag}^{-1}$ met een belasting van 400 g N ha^{-1} . Bij een droge-stofproductie van $10 \text{ ton ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ resulteert dat in een totaal aan urineplekken van $4860 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$. De totale oppervlakten aan urineplekken zijn evenredig met de productieverdeling over de verschillende maanden van het weideseizoen verdeeld.

Voor de berekening van de nitraatuitspoeling op basis van de gemeten waarden zijn de gemeten waarden van urineplekken van een bepaalde datum beschouwd als representatief voor urineplekken van de hele maand. Voor de maand april, waarin geen urineplek werd aangebracht, is de waarde van mei verlaagd (gehalveerd). Voor de berekening van de nitraatuitspoeling volgens NURP is eerst de verhoging van de hoeveelheid N-mineraal in de bodem op 1 november als gevolg van depositie van urine (SMN_a) berekend volgens de formule:

$$SMN_a = SMN_{start} \times (-0,296 + 1,2979 / (1 + 0,01841 \times \text{aantal dagen tussen depositie en 1 november}))$$

waarin SMN_{start} de hoeveelheid toegediende urine-N (in $kg\ ha^{-1}$) is. De nitraatuitspoeling als gevolg van deze verhoogde hoeveelheid N-mineraal is berekend als evenredig aan de uitspoeling uit de veldjes zonder urineplekken, waarvan de hoeveelheid N-mineraal op 1 november bekend was.

De gemeten en berekende hoeveelheden N-mineraal en nitraatuitspoeling in urineplekken zijn weergegeven in Tabel 3.13. De op basis van deze cijfers berekende nitraatuitspoeling per hectare grasland voor beperkt weiden en onbeperkt weiden is weergegeven in Tabel 3.14.

De gemeten en berekende hoeveelheid N-mineraal komt redelijk overeen; de berekening met NURP geeft wat hogere waarden voor urineplekken vroeg in het seizoen en wat lagere waarden voor urineplekken later in het seizoen, maar de verschillen zijn niet bijzonder groot. Voor de nitraatuitspoeling zijn de verschillen tussen de gemeten en de berekende waarden groter. De berekende waarden zijn recht evenredig met de berekende hoeveelheid extra nitraat in de bodem op 1 november. De gemeten waarden vertoonden een veel vlakker verloop met een minder sterke afhankelijkheid van de hoeveelheid N-mineraal in de bodem. De gemeten waarden voor vroeg in het seizoen aangebrachte urineplekken waren hoger, ondanks de lage gemeten waarden voor N-mineraal. Waarschijnlijk wordt in het groeiseizoen een deel van de urine-N vastgelegd om in najaar of winter weer vrij te komen en alsnog uit te spoelen. De gemeten waarden voor laat in het seizoen aangebrachte urineplekken waren juist lager. Waarschijnlijk zorgen na 1 november doorgaande 'onverklaarde verliezen' voor een lagere uitspoeling dan op grond van de hoeveelheid N-mineraal in de bodem op 1 november verwacht mag worden. Door de droge winter van 2002/2003 is de uitspoeling uit met name de laat aangebrachte urineplekken niet helemaal volledig geweest, maar dit kan zeker niet het verschil tussen gemeten en berekende waarden verklaren.

Tabel 3.13. Residuele N-mineraal in de bodem in urineplekken, gemeten op 22 oktober en op 1 december en berekend met NURP voor 1 november en nitraatuitspoeling van urinstikstof, gemeten in experiment 1 en berekend met NURP. N-mineraal uitgedrukt in $kg\ ha^{-1}$ (gemeten: 0-60 cm; berekend: 0-100 cm) en nitraatuitspoeling uitgedrukt in $kg\ N\ ha^{-1}$.

Datum urinegift	N-mineraal 22-10	N-mineraal 01-12	N-mineraal NURP	Nitraatuitspoeling gemeten	Nitraatuitspoeling NURP
Geen	28	34	-	11	-
31-05-2002	+ 2	+ 4	+ 17	+ 15	+ 6
24-06-2002	+ 10	+ 0	+ 33	+ 20	+ 12
22-07-2002	+ 34	+ 0	+ 60	+ 19	+ 21
22-08-2002	+ 169	+ 92	+ 105	+ 17	+ 37
19-09-2002	+ 252	+ 164	+ 171	+ 36	+ 60
22-10-2002	+ -	+ 298	+ 320	+ 45	+ 112

Tabel 3.14. *Nitraatuitspoeling uit beweid grasland bij een opbrengst van 10 ton droge stof ha⁻¹, bij beperkt en onbeperkt weiden, berekend met de gemeten uitspoeling in experiment 1 en met de relatie tussen depositie van urine-N en nitraatuitspoeling volgens NURP (Vellinga et al., 2001).*

Maand	% Productie	Urineplek m ² ha ⁻¹	Nitraatuitspoeling kg N ha ⁻¹ plek	Nitraatuitspoeling kg N ha ⁻¹ veld
Berekend met resultaten experiment 1, beperkt beweiden				
April	10	208	10	0,2
Mei	20	416	15	0,6
Juni	20	416	20	0,8
Juli	18	374	19	0,7
Augustus	16	333	17	0,6
September	10	208	36	0,7
Oktober	6	125	45	0,6
Achtergrond	-		11	11
Totaal	100	2080		15,2
Berekend met resultaten experiment 1, onbeperkt beweiden				
April	10	486	10	0,5
Mei	20	972	15	1,5
Juni	20	972	20	1,9
Juli	18	875	19	1,7
Augustus	16	777	17	1,3
September	10	486	36	1,7
Oktober	6	292	45	1,3
Achtergrond	-		11	11
Totaal	100	4860		20,9
Berekend met rekenregels uit NURP, beperkt beweiden				
April	10	208	0	0
Mei	20	416	3	0,1
Juni	20	416	10	0,4
Juli	18	374	20	0,7
Augustus	16	333	34	1,1
September	10	208	58	1,2
Oktober	6	125	100	1,3
Achtergrond	-		11	11
Totaal	100	2080		15,8
Berekend met rekenregels uit NURP, onbeperkt beweiden				
April	10	486	0	0
Mei	20	972	3	0,3
Juni	20	972	10	1,0
Juli	18	875	20	1,8
Augustus	16	777	34	2,6
September	10	486	58	2,8
Oktober	6	292	100	2,9
Achtergrond	-		11	11
Totaal	100	4860		22,4

De grens van 50 mg nitraat per liter wordt bereikt bij een uitspoeling van ongeveer 35 kg N ha⁻¹ jr⁻¹. Voor de gemeten waarden werd dit pas bereikt in urineplekken van september; volgens de berekening met NURP al in urineplekken van augustus. Dit betekent dat in beide gevallen de oppervlakte met een te hoge uitspoeling beperkt is en er geen problemen te verwachten zijn wat betreft de nitraatuitspoeling op perceelsniveau. Hierbij is wel uitgegaan van een situatie waarin buiten urineplekken slechts 35% van de op 1 november in de bodem aanwezige N-mineraal in de vorm van nitraatuitspoeling teruggevonden is, wat opmerkelijk weinig is voor een droge zandgrond. Uniek is een dergelijk laag percentage echter niet. Wachendorf *et al.* (2004) vonden percentages tussen 30 tot 50 in een zandgrond bij vergelijkbare hoeveelheden N-mineraal en vergelijkbare grondwaterstanden.

Aggregatie van nitraatuitspoeling uit urineplekken van verschillende datum en niet behandelde plekken tot perceelsniveau leidt tot de in Tabel 3.14 weergegeven resultaten. Op basis van de gemeten waarden werd een verhoging van de uitspoeling berekend van ruim 4 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ voor beperkt weiden en van bijna 10 kg bij onbeperkt weiden. In beide gevallen was 30% van de verhoogde uitspoeling afkomstig van beweiding na 1 september, dus resp. ruim 1 en 3 kg N ha⁻¹. Op basis van de rekenregels volgens NURP werd een verhoging van de uitspoeling berekend van bijna 5 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ voor beperkt weiden en van ruim 11 kg bij onbeperkt weiden. Hier was in beide gevallen 50% van de verhoogde uitspoeling afkomstig van beweiding na 1 september, dus resp. 2,5 en 5,5 kg N ha⁻¹.

De verschillen tussen de totale nitraatuitspoeling op perceelsniveau op basis van gemeten waarden en op basis van modelberekeningen waren klein, minder dan 10%. Een belangrijk verschil is wel dat met de berekeningen volgens NURP relatief meer uitspoeling later in het seizoen wordt geplaatst en dit heeft gevolgen voor de effecten van verschillende graslandmanagementvarianten op de nitraatuitspoeling, zoals is geïllustreerd in Tabel 3.15. De absolute verschillen tussen de twee berekeningswijzen waren steeds klein, maximaal 2 kg N ha⁻¹, maar deze verschillen zullen groter worden naarmate een groter deel van het stikstofoverschot in urineplekken als nitraat uitspoelt.

Hoewel de verschillen steeds klein zijn blijkt uit de tabel dat de berekeningen volgens NURP wat hoger uitkomen bij beweiding gedurende het hele seizoen en wat lager bij beweiding tot 1 september. Het wordt hierdoor waarschijnlijk dat bij berekeningen met NURP, in vergelijking met berekeningen die zijn gebaseerd op gemeten nitraatuitspoeling, de uitspoeling als gevolg van beweiding later in het seizoen wordt overschat, met als gevolg ook een overschatting van het effect van vroeg opstallen op de nitraatuitspoeling.

Tabel 3.15. Nitraatuitspoeling uit beweide grasland bij een opbrengst van 10 ton droge stof ha⁻¹, bij verschillende managementvarianten, berekend met de gemeten uitspoeling in experiment 1 en met de relatie tussen depositie van urine-N en nitraatuitspoeling volgens NURP (Vellinga et al., 2001).

Managementvariant	Nitraatuitspoeling op basis van metingen (kg N ha ⁻¹)	Nitraatuitspoeling op basis van NURP (kg N ha ⁻¹)
Hele productie beperkt weiden	15,2	15,8
Hele productie onbeperkt weiden	20,9	22,4
Beperkt weiden tot 1 september	13,9	13,3
Onbeperkt weiden tot 1 september	17,9	16,7
65% beperkt weiden, maaien mei/juli	14,0	15,2
65% onbeperkt weiden, maaien mei/juli	18,9	20,8
65% beperkt weiden, maaien mei/oktober	13,2	12,8
65% onbeperkt weiden, maaien mei/oktober	16,3	15,4

4. Discussie

4.1 Praktijkgegevens

In de praktijk bleek het op basis van experimenten gesuggereerde verband tussen beweiding en verhoogde nitraatuitspoeling op zandgronden niet duidelijk zichtbaar te zijn (waarnemingen bij Koeien & Kansen bedrijven, zie paragraaf 3.1). Ook Boumans *et al.* (1989) vonden geen of een negatief verband tussen het nitraatgehalte van het bovenste grondwater in zandgrond en de beweidingsdruk van graslandpercelen van een tiental praktijkbedrijven. Het lijkt waarschijnlijk dat de toch betrekkelijk kleine verschillen als gevolg van beweiding gemakkelijk door verschillen als gevolg van andere oorzaken overschaduw worden. Opvallend is wel dat in een zeer dicht tegen praktijkomstandigheden aanliggend experiment op perceelsniveau (Schils, 1994) wel een effect van beweiding op de nitraatuitspoeling werd gevonden. Het verschil in uitspoeling lag hier in de orde van 25%, ofwel 4 kg n ha^{-1} , bij een verschil van 20% in het aandeel van de droge-stofproductie dat werd beweïd. Er waren wel enkele verschillen tussen het experiment van Schils en de waarnemingen in de praktijk: het experiment is uitgevoerd op een gedraineerde kleigrond en de waarnemingen in de praktijk zijn gedaan in grondwater onder zandgrond. Verder was in het experiment de bemesting onafhankelijk van de intensiteit van beweïding, terwijl in de praktijk meer beweïding op bedrijfsniveau samengaat met een kleiner gebruik van dierlijke mest.

Door meting in drainwater wordt de nitraatuitspoeling over een groot oppervlak uitgemiddeld, terwijl bij puntmetingen in het grondwater een grote spreiding gevonden wordt. Mogelijk zijn verschillen in uitspoeling tussen percelen via metingen in het grondwater hierdoor moeilijker aantoonbaar. Daarnaast ontstond op zandgrond in de experimenten tijdens het groeiseizoen een zeer groot balanstekort, waardoor het effect op de nitraatuitspoeling op zand kleiner zou kunnen zijn dan op kleigrond.

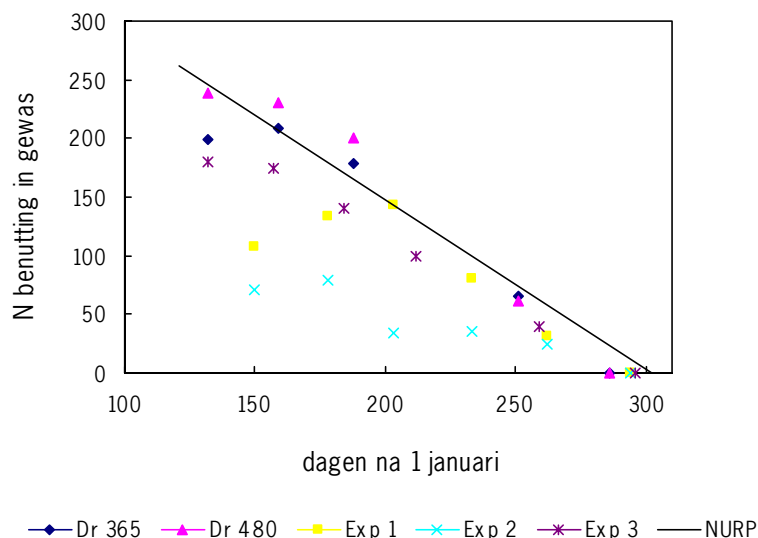
Een verschil tussen praktijk en experiment blijft dat meer maaien meer drijfmest geeft. Uit de literatuur komt geen éénduidig beeld naar voren van het effect dat vervanging van kunstmest door een hoeveelheid drijfmest met een gelijke bemestende waarde kan hebben op de nitraatuitspoeling (o.a. Jarvis *et al.*, 1988, Korsæth *et al.*, 2003). Overigens vindt bij beperkte beweïding ook een aanzienlijk deel van de mestproductie op stal plaats doordat het vee relatief veel gras opneemt in korte tijd, in de orde van 8 kg droge stof in 8 uur in plaats van 12 kg in 20 uur, zodat verwacht mag worden dat ook de verhoging van het gebruik van dierlijke mest als gevolg van een nog verdere beperking van de beweïding maar een zeer beperkt effect op de nitraatuitspoeling zal hebben.

Om het gecombineerde effect van beweïding en gebruik van drijfmest in beeld te brengen zijn in 2003 en 2004 door praktijkonderzoek ASG op proefbedrijf Cranendonck veldproeven aangelegd. In 2003 kon door hydrologische complicaties geen compleet beeld van de uitspoeling gevormd worden (De Boer, 2003). In 2004 is dit probleem door een veranderde proefopzet verholpen en zou de vraag in hoeverre een eventueel verhoogde uitspoeling door beweïding gecompenseerd zou kunnen worden door een verlaagde uitspoeling door minder gebruik van dierlijke mest beantwoord moeten kunnen worden.

Vooralsnog wordt de hypothese dat beweïding zorgt voor een verhoogde nitraatuitspoeling echter niet door de gegevens uit de praktijk ondersteund.

4.2 Benutting van urine-N

De gegevens van de benutting van urine-N in het oogstbaar gewas uit de verschillende experimenten zijn, uitgezet tegen de datum van toediening van urine, samengevat in Figuur 4.1, samen met de met behulp van de rekenregels van NURP berekende benutting voor eenzelfde stikstofniveau.



Figuur 4.1. Benutting van urine-N in urineplekken in kg N ha⁻¹, afhankelijk van de datum van depositie. Dr 365: N-niveau 240 kg N ha⁻¹, urine-N 365 kg N ha⁻¹; Dr 480: N-niveau 240 kg N ha⁻¹, urine-N 480 kg N ha⁻¹; Exp 1: N-niveau 250 kg N ha⁻¹, urine-N 400 kg N ha⁻¹; Exp 2: gras met klaver, urine-N 400 kg N ha⁻¹; Exp 3: N-niveau 250 kg N ha⁻¹, urine-N 400 kg N ha⁻¹; NURP: N-niveau 200 kg N ha⁻¹, urine-N 400 kg N ha⁻¹ (modelberekening).

De modelberekening geeft een lineair aflopende benutting aan voor toediening van het begin van het weideseizoen tot 1 november. In tegenstelling hiermee werd in alle experimenten een maximale benutting gevonden, waarbij voor een periode in het voorjaar geen effect van de datum van toediening waarneembaar was of de benutting bij vroegere toediening zelfs lager was. De lengte van deze periode was afhankelijk van het niveau van de maximale benutting: hoe lager het maximale niveau van benutting, hoe langer deze periode duurde. In de experimenten op Droevendaal duurde deze periode tot begin juni, in experiment 1 op Cranendonck tot half juli. De hoogte van de maximale benutting was sterk gecorreleerd met in het groeiseizoen ontstane balanstekorten, waarbij een lage benutting na toediening in voorjaar of zomer was gecorreleerd met een snelle daling van de hoeveelheid N-mineraal in de bodem door vooralsnog onverklaarde verliezen. Deze balanstekorten lijken sterk te kunnen verschillen, maar er is geen indicator aan te wijzen waaraan de hoogte van de verliezen, en dus de maximale benutting van urine-N, afgelezen zou kunnen worden. Verder onderzoek naar de aard van deze verliezen is nodig, zodat de berekening van zowel benutting als van verliezen van urine-N beter onderbouwd kan worden. De benutting van urine-N op kleigrond was gedurende het gehele seizoen vergelijkbaar met die op zandgrond.

Aan het eind van het seizoen lijkt het model de benutting van urine-N op zandgrond te overschatten, dit is echter meer een definitiekwestie dan een werkelijk verschil. Het model berekent de meeropname tot 1 november, als maat voor het einde van het groeiseizoen, onafhankelijk van het al dan niet werkelijk benutten van de stikstof door oogsten. De proefresultaten geven de meeropname aan tot de laatste oogstdatum, tussen 15 en 25 oktober, en laten daardoor de meeropname van stikstof na de laatste snede buiten beschouwing. Overigens lijkt het niet onwaarschijnlijk dat de benutting van urine-N aan het eind van het groeiseizoen minder zou kunnen zijn door een sterk afnemende grasgroei.

Niet duidelijk is in hoeverre urine-N ook in het jaar na depositie benut kan worden. Wanneer de uitspoeling niet volledig is door een minder dan gemiddelde neerslag in de winter zal nog enige urine-N benut kunnen worden; deze zal dan in het voorjaar als N-mineraal in de bodem aanwezig zijn. Dit was duidelijk het geval in het grasland met klaver op Cranendonck en in het grasland op kleigrond. Op Droevendaal werd echter ook enige benutting in het volgende jaar gevonden (maximaal ongeveer 40 kg ha⁻¹), terwijl daar in het voorjaar geen verhoogde hoeveelheid N-mineraal meer in de bodem aanwezig was. In experiment 1 op Cranendonck werd echter geen benutting in het jaar na toediening gevonden. Duidelijk is wel dat er in het jaar van urinetoediening geen grote hoeveelheid N wordt vastgelegd die in het volgende jaar weer beschikbaar komt.

Als oppervlak van urineplekken wordt meestal niet het oppervlak waar daadwerkelijk urine terecht komt aangemerkt, maar het oppervlak waar meetbaar meer gras groeit of het gras zichtbaar een hoger stikstofgehalte heeft (Lantinga *et al.*, 1987). Daarop is de dosering van stikstof in kunsturineplekken ook gebaseerd; de werkelijke hoeveelheid in het centrum van een echte urineplek kan aanzienlijk hoger zijn dan deze homogene dosering (Sauer & Harrach, 1995). De homogene dosering is nodig voor een goede monsternamen van bodem en grondwater en op deze wijze wordt rekening gehouden met de randeffecten op de benutting van urine-N. De gebruikte dosering is gebaseerd op urineplekken met een oppervlak van 0,7 m², behorend bij een onbeperkte beweiding. Bij beperkt weiden met bijvoeding van stikstofarm ruwvoer horen urineplekken met een kleiner oppervlak, gemiddeld 0,5 m² door een lagere urineproductie bij een gelijk aantal lozingen (Valk, 2002). Bij kleinere plekken zijn in principe iets grotere randeffecten te verwachten, met een hogere benutting als gevolg, maar bij een verschil tussen 0,7 en 0,5 m² mag verwacht worden dat dit verschil zeer klein zal zijn.

Het verschil in oppervlak waar werkelijk urine terecht komt en het oppervlak waar effect van deze urine waarneembaar is, is ook van belang voor de dosering van urine-N in kunstmatige urineplekken. In de literatuur vaak gebruikte doseringen van 1000 kg urine-N per hectare zijn niet extreem wanneer het gaat om het oppervlak waar urine terecht komt. Wanneer deze dosering echter gebruikt wordt voor grotere homogene plekken of in lysimeters ontbreekt de mogelijkheid van urine-N-opname door planten die buiten de eigenlijke urineplek groeien en zal de benutting onderschat worden.

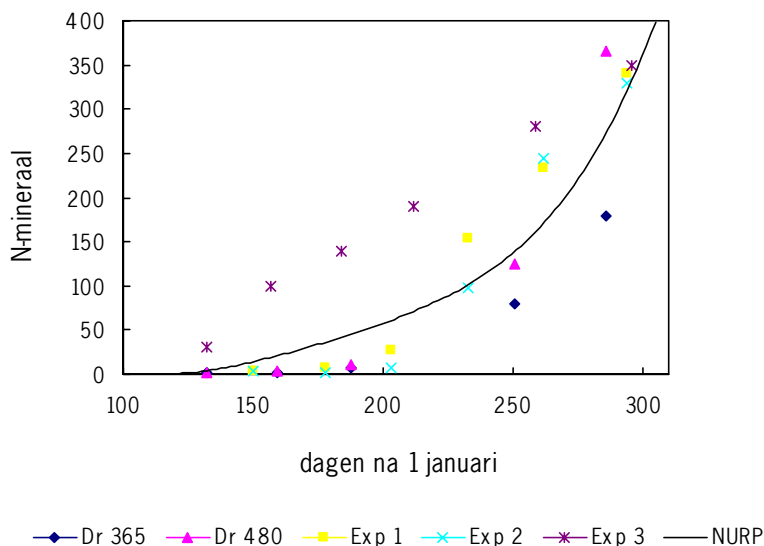
Ook uit Figuur 4.1 blijkt dat de benutting van urine-N in het experiment in grasland met klaver bijzonder klein was. Verwacht werd dat de aanwezigheid van klaver de benutting zou kunnen verbeteren door afname van de stikstofbinding: bij afwezigheid van kunstmestbemesting zou dan meer ruimte voor opname uit de bodem ontstaan. De urine-N kan dan opgenomen worden door een groter grasaandeel in de zode, maar ook door de klaver zelf. Dit effect is niet opgetreden. Het klaveraandeel in de zode nam wel sterk af na toediening van urine, maar het stikstofgehalte van het gras bleef vrij laag. Daar stond tegenover dat de klaver in de urineplekken zich zeer langzaam herstelde en het effect op de opbrengst aan droge stof in de urineplekken ondanks de hoge stikstofaanvoer uiteindelijk zelfs negatief werd. In urineplekken van natuurlijke afmetingen is een snellere herkolonisatie door klaver te verwachten, zodat dit uiteindelijke negatieve effect op de totale opbrengst aan droge stof niet te verwachten is.

Onder benutting van urine-N is in dit rapport steeds verstaan de 'apparent nitrogen recovery, ANR', ook wel de schijnbare benutting genoemd, gedefinieerd als de hoeveelheid meer opgenomen stikstof in urineplekken als fractie van de toegediende urine-N. Dit is niet hetzelfde als de 'nitrogen recovery, NR', gedefinieerd als de hoeveelheid opgenomen urine-N als fractie van de toegediende urine-N. Dit heeft twee redenen. Na toediening kon geen onderscheid meer gemaakt worden tussen urine-N en andere N in bodem of gewas; dit kan alleen bij toediening van met ¹⁵N gelabelde urine-N, en dus kon ook de 'NR' niet berekend worden. En daarnaast is het ook van groter belang wat het effect van depositie van urine-N is op de totale benutting en uitspoeling van stikstof uit de bodem dan alleen de opname van een deel van de stikstof, de urine-N. In principe is de NR hoger dan de ANR omdat in urineplekken door verdringing minder niet-urine-N opgenomen zal worden dan buiten urineplekken het geval is. Dit wordt goed geïllustreerd door Di *et al.* (2002) die de NR en de ANR berekend hebben voor de benutting in urineplekken. Voor de benutting in het gewas was de NR 0,388 en de ANR 0,205.

4.3 N-mineraal in de bodem

De gegevens van de hoeveelheid N-mineraal in de bodem op 1 november uit de verschillende experimenten zijn, uitgezet tegen de datum van toediening van urine, samengevat in Figuur 4.2, samen met de met behulp van de rekenregels van NURP berekende hoeveelheid N-mineraal voor eenzelfde stikstofniveau. De modelberekening geeft een exponentieel oplopende hoeveelheid N-mineraal aan voor toediening van het begin van het groeiseizoen tot 1 november. Dit geeft een redelijke beschrijving van de waarnemingen in de proeven op zandgrond. De modelberekening gaf voor de eerste helft van het groeiseizoen steeds wat hogere waarden, maar dat kan veroorzaakt worden door het verschil in bemonsterde laag. De hoeveelheid N-mineraal in de kleigrond vertoonde een lineair verloop ($r^2 = 0,99$) met het tijdstip van toediening. Een dergelijk verloop wijkt sterk af van de modelberekening, maar deze is dan ook niet voor kleigronden bedoeld. Het grote verschil in hoeveelheid N-mineraal in de bodem op 1 november

tussen zandgrond en kleigrond na toediening van een grote hoeveelheid stikstof in de zomer is zeer opvallend. Juist op kleigrond kunnen de omstandigheden voor denitrificatie in de zomer en het vroege najaar wel gunstig zijn. Ook deze waarnemingen geven dus geen aanknopingspunt in welke richting de oorzaak van de 'onverklaarde verliezen' gezocht moet worden.



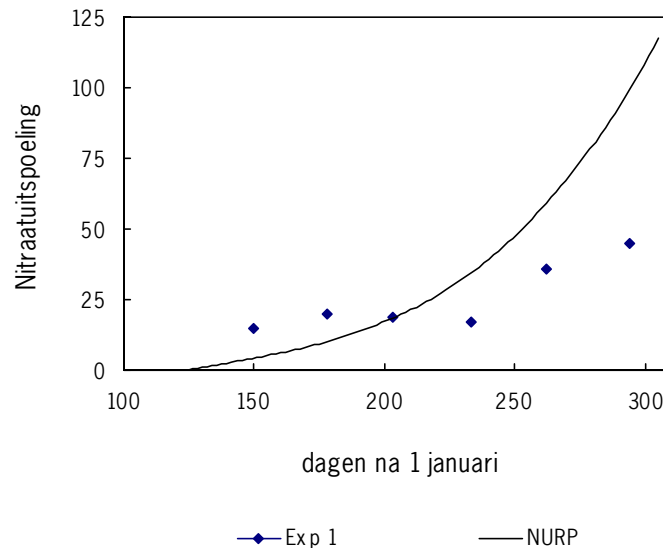
Figuur 4.2. Residuele N-mineraal onder urineplekken in kg N ha⁻¹ in de laag 0-60 cm (Dr 365, Dr 480, Exp 1, Exp 2) of 0-90 cm (Exp 3, NURP), afhankelijk van de datum van depositie. Dr 365: N-niveau 240 kg N ha⁻¹, urine-N 365 kg N ha⁻¹; Dr 480: N-niveau 240 kg N ha⁻¹, urine-N 480 kg N ha⁻¹; Exp 1: N-niveau 250 kg N ha⁻¹, urine-N 400 kg N ha⁻¹; Exp 2: gras met klaver, urine-N 400 kg N ha⁻¹; Exp 3: N-niveau 250 kg N ha⁻¹, urine-N 400 kg N ha⁻¹; NURP: N-niveau 200 kg N ha⁻¹, urine-N 400 kg N ha⁻¹ (model-berekening).

4.4 Nitraatuitspoeling

De uitgevoerde experimenten hebben maar een beperkte informatie over nitraatuitspoeling opgeleverd. In het experiment met klaver werden de metingen verstoord door lateraal watertransport en in het experiment op kleigrond ontbrak de mogelijkheid de uitspoeling direct te meten. Alleen in experiment 1 werd een duidelijk resultaat gevonden: onder urineplekken werd een verhoogde nitraatuitspoeling gevonden, en wel sterker naarmate de urineplek later in het seizoen was aangelegd. De gegevens van de nitraatuitspoeling uit experiment 1 zijn, uitgezet tegen de datum van toediening van urine, samengevat in Figuur 4.3, samen met de met behulp van de rekenregels van NURP berekende nitraatuitspoeling voor eenzelfde stikstofniveau.

Het niveau van nitraatuitspoeling was laag, gemiddeld niet veel meer dan 10% van de toegediende urine-N. Deze lage uitspoeling betrof niet alleen de urine-N, ook de nitraatuitspoeling in onbehandelde veldjes was lager dan op grond van de hoeveelheid N-mineraal in de bodem in het najaar verwacht werd voor een droge zandgrond. Deze bedroeg slechts 35% van de op 1 november in de bodem aanwezige N-mineraal, ofwel 11 kg N ha⁻¹. Wanneer deze verhouding tussen N-mineraal in de bodem op 1 november en nitraatuitspoeling in de daaropvolgende winter aangehouden wordt, komt een berekening van de gemiddelde uitspoeling onder urineplekken met de rekenregels van NURP (Vellinga *et al.*, 2001) uit op een zelfde niveau als de in experiment 1 gemeten waarde. Er was wel een belangrijk verschil tussen de berekende en de gemeten waarde; voor urineplekken van vroeg in het seizoen lag de berekende uitspoeling lager en voor urineplekken van laat in het seizoen lag de berekende uitspoeling juist hoger. In de berekening volgens NURP wordt uitgegaan van een lineair verband tussen de hoeveelheid N-mineraal in de bodem op 1 november en de nitraatuitspoeling; in experiment 1 was dit verband niet lineair, maar was de uitspoeling relatief hoog in urineplekken van vroeg in het seizoen en relatief laag in urineplekken van laat in het seizoen.

De relatief hoge uitspoeling in oudere urineplekken kan mogelijk veroorzaakt zijn door het na 1 november weer vrijkomen van in organisch materiaal of in de microbiële biomassa vastgelegde stikstof. De relatief lage uitspoeling in jongere urineplekken zou het gevolg kunnen zijn van een voortgang van de processen die verantwoordelijk zijn voor het grote balanstekort in het najaar in oudere urineplekken. Zo zou minder urine-N beschikbaar kunnen zijn voor uitspoeling dan op grond van de hoeveelheid N-mineraal in de bodem op 1 november verwacht zou worden.



Figuur 4.3. Nitraatuitspoeling urineplekken in kg N ha⁻¹, afhankelijk van de datum van depositie. Exp 1: N-niveau 250 kg N ha⁻¹, urine-N 400 kg N ha⁻¹; NURP: N-niveau 200 kg N ha⁻¹, urine-N 400 kg N ha⁻¹ (modelberekening).

Op grond van de verschillen tussen gemeten en berekende waarden in Figuur 4.3 lijkt het duidelijk dat niet zonder meer mag worden uitgegaan van een zelfde verband tussen N-mineraal in de bodem en nitraatuitspoeling voor urineplekken als voor grasland zonder urine. Gemiddeld over het hele groeiseizoen is het verschil niet groot, maar voor individuele urineplekken van verschillende datum van depositie kan de afwijking wel groot zijn. Consequenties hiervan voor het berekenen van de nitraatuitspoeling bij beweiding worden behandeld in paragraaf 4.6.

Zoals vastgesteld in paragraaf 3.4 zijn de metingen van de nitraatuitspoeling in urineplekken in het grasland met klaver in experiment 2 niet betrouwbaar. Op grond van de veel lagere hoeveelheid N-mineraal in de bodem op 1 december mag in vergelijking met experiment 1 een lagere uitspoeling verwacht worden. De 10% lagere opbrengst aan droge stof wijst ook in de richting van een wat lagere N-aanvoer en daardoor een wat lagere uitspoeling. Cuttle & Bourne (1993) concludeerden dat in de meeste gevallen waarin verschil in nitraatuitspoeling werd gevonden tussen beweid grasland met klaver en zonder klaver dit terug te voeren was op een verschil in opbrengst, met een verschil in aantal urineplekken als gevolg. Cuttle *et al.* (1998) vonden in een zesjarig onderzoek met beweiding met schapen in grasland met klaver en zonder klaver bij gelijke opbrengst aan droge stof ook een gelijke nitraatuitspoeling. Dit lijkt in tegenspraak met de verwachte betere benutting van urine-N in grasland met klaver, een verwachting die overigens ook niet uitkwam in experiment 2. Het lijkt waarschijnlijk dat voor zover dit effect op het niveau van urineplekken optreedt, het zodanig klein is dat het op perceelsniveau niet meer aantoonbaar is.

In experiment 3 op kleigrond kon de nitraatuitspoeling uit urineplekken niet gemeten worden door de aanwezigheid van drains. Door vergelijking met resultaten van Schils (1994) uit een proef op hetzelfde proefbedrijf is wel een waarschijnlijke orde van grootte aan te geven voor de nitraatuitspoeling in experiment 3. Berekeningen van Schils kwamen uit op een meeruitspoeling van ongeveer 20 kg N ha⁻¹ bij beperkt weiden ten opzichte van maaien, wat bij een bedekking met urineplekken in de orde van 25% neerkomt op een gemiddelde meeruitspoeling uit urineplekken

in de orde van 80 kg N ha^{-1} . De hoeveelheid N-mineraal in de bodem in het najaar was voor de urineplekken gemiddeld ongeveer 150 kg N ha^{-1} hoger dan voor de onbehandelde plekken, zodat ongeveer 50% van deze N-mineraal uitgespoeld zou zijn. Dit lijkt vrij veel voor een kleigrond, maar voor een goed doorlatende grond met een snelle drainage lijkt dit wel mogelijk. Uitgaand van een nitraatuitspoeling in de orde van 80 kg N ha^{-1} komt het balanstekort in de urineplekken gemiddeld in de orde van 40% te liggen. Dat balanstekort kwam voor een groot deel tot stand onder omstandigheden waar een aanzienlijke denitrificatie zeer wel denkbaar is. In de zeer droge periode midden in de zomer is ook geen balanstekort ontstaan. Als orde van grootte lijkt een nitraatuitspoeling van gemiddeld 20% van de urine-N op kleigrond bij beperkte beweiding een redelijke benadering.

Uit de combinatie van experimenten en literatuur is af te leiden dat beweiding moet leiden tot een verhoogde nitraatuitspoeling. De mate van verhoging blijft bij een matig N-niveau en beperkte beweiding echter beperkt. Ook lijkt de datum van depositie van de urine een beperkt effect op de nitraatuitspoeling te hebben. Verder lijkt duidelijk dat de relatie tussen een de hoeveelheid N-mineraal in de bodem in het najaar en de nitraatuitspoeling voor urineplekken niet hetzelfde is als voor grasland zonder urine.

4.5 Onverklaarde verliezen

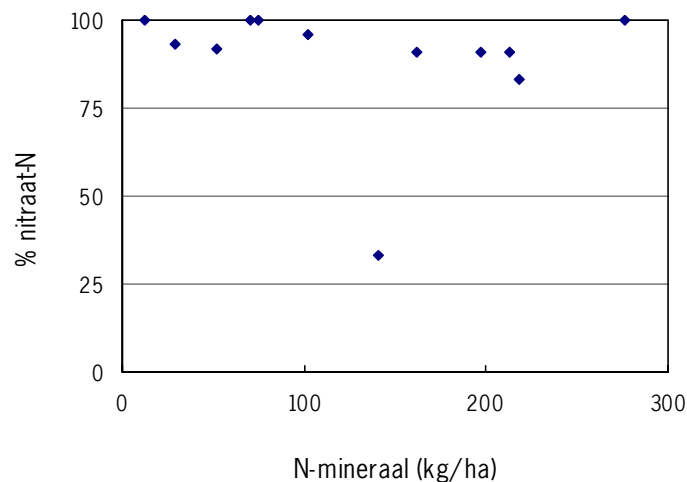
Het meest opvallende fenomeen van stikstof in urineplekken blijft de grote hoeveelheid stikstof die in korte tijd op vooralsnog onverklaarde wijze verloren kan gaan. Dit kan zowel de benutting van urine-N limiteren als de hoeveelheid N-mineraal in de bodem sterk doen afnemen. Deze verliezen komen tot stand onder omstandigheden waarbij geen of nauwelijks nitraatuitspoeling kan plaatsvinden en die vaak ook (zeer) ongunstig zijn voor het optreden van denitrificatie. Ammoniakvervluchtiging kan gemiddeld niet veel meer dan 10% verlies van urine-N veroorzaken en vastlegging in stoppels, wortels, microbiële biomassa en dood organisch materiaal kan ook hoogstens in de orde van enkele tientallen kg N ha^{-1} bedragen (Hassink, niet gepubliceerde gegevens).

De hoogte van de onverklaarde verliezen was niet overal gelijk. Met als definitie het balansverschil tussen toegediende urine-N en de som van N afgevoerd met gewas, N-mineraal in de bodem in november en een schatting van 10% voor ammoniakvervluchtiging werd voor Droevendaal in proeven van Vertregt & Rutgers (1988) en in de proeven van Van der Putten een onverklaard verlies van ongeveer 40% gevonden. Voor Cranendonck werd in grasland met kunstmest een onverklaard verlies van ongeveer 60% gevonden en in grasland met klaver ongeveer 70%. Voor de proef op kleigrond werden waarden tussen 25 en 40% gevonden, waarbij een belangrijke rol van denitrificatie bij deze verliezen niet uitgesloten is. In alle gevallen ging het om urineplekken die vóór september waren aangebracht. Uitgaand van dezelfde definitie van onverklaarde verliezen rapporteerden Cuttle & Bourne (1993) waarden van 45 tot 55%. Sherwood & Fanning (1989) rapporteerden waarden van 35 tot 55% voor verliezen binnen een periode van één maand na toediening. In beide publicaties betrof het ook in voorjaar en zomer aangebrachte urineplekken.

Vertregt & Rutgers (1988) vonden bij meting van de ammoniakvervluchtiging uit kunstmatige urineplekken een onverklaard verlies van gemiddeld 30% binnen tien dagen na toediening en dit snelle verlies werd bevestigd in de proeven van Van der Putten. Een veel kleiner verlies werd gevonden bij toevoeging van een nitrificatieremmer en ook werden geen verliezen meer gevonden nadat de urine-N grotendeels genitricieerd was. Dit suggereert dat deze verliezen tijdens of direct na nitrificatie optreden. Dit heeft geleid tot de hypothese dat deze verliezen optreden tijdens nitrificatie. Het proces van stikstofverliezen tijdens nitrificatie is al in 1957 beschreven door Gerretsen & De Hoop en kan alleen optreden in zure grond. Na bemesting met ammoniak in zure grond werden grote verliezen gevonden, anders dan ammoniakvervluchtiging. Deze verliezen traden niet op bij een pH-waarde van 5,5 of hoger. Het balansverschil van 60% in experiment 1 in een grasland met een pH-waarde van 5,4 lijkt dan ook moeilijk op deze wijze verklaard te kunnen worden, te meer omdat door hydrolyse van ureum in de grond de pH stijgt om pas tijdens nitrificatie weer te dalen.

In Figuur 4.4 is het aandeel nitraat-N uitgezet tegen de totale hoeveelheid N-mineraal afkomstig uit urine-N, gemeten bij de oogst van de volgende snede in experiment 1 en experiment 2 (bij de laatste snede is vijf weken na toediening gemeten). Voor zowel de hoeveelheid nitraat-N als totaal N-mineraal zijn de in de onbehandelde veldjes gemeten hoeveelheden afgetrokken van de in urineplekken gevonden hoeveelheden (Apparent Recovery van urine-N). Alleen

later in het seizoen zijn grotere hoeveelheden N-mineraal gevonden, eerder in het seizoen was vrijwel het volledige balanstekort al binnen één snede ontstaan. In bijna alle gevallen waarin nog veel N-mineraal aanwezig was, was het aandeel nitraat-N hoog tot zeer hoog. Dit wijst op een vrijwel voltooide nitrificatie terwijl het balanstekort later nog sterk opliep. In deze gevallen traden de grote verliezen dus zeker niet op tijdens nitrificatie. Het gaat hier wel om verliezen later in het seizoen, onder omstandigheden die veel minder ongunstig zijn voor denitrificatie dan eerder in het seizoen. Het is dus mogelijk dat in verschillende perioden gedurende het groeiseizoen verschillende processen een rol spelen bij het ontstaan van de balanstekorten



Figuur 4.4. N-mineraal in de bodemlaag van 0 tot 30 cm (Apparent Recovery van urine-N) en aandeel van nitraat-N in deze N-mineraal bij de oogst van de snede na toediening van de urine in experiment 1 en experiment 2.

Vooralsnog kan geen indicator aangewezen worden welke de grootte van dit balanstekort onder verschillende omstandigheden kan voorspellen en blijft een inschatting van de nitraatuitspoeling als gevolg van beweiding zeer onzeker. Vervolgonderzoek aan nitraatuitspoeling uit urineplekken en mogelijke oorzaken van het ontstaan van balanstekorten wordt momenteel uitgevoerd door Plant Research International en Alterra door middel van toediening van met ^{15}N gelabelde urine aan kolommen en proefveldjes.

4.6 Het berekenen van de nitraatuitspoeling bij beweiding

Uit de berekeningen van paragraaf 3.6 is gebleken dat de gesommeerde nitraatuitspoeling over het hele groeiseizoen op basis van de in experiment 1 gemeten uitspoeling goed overeen kwam met de met behulp van de rekenregels uit NURP (Vellinga *et al.*, 2001) berekende uitspoeling. Het aandeel van verschillende perioden binnen het groeiseizoen was voor de twee benaderingen echter zeer verschillend. De metingen gaven een hogere uitspoeling uit urineplekken van vroeg in het seizoen te zien en een lagere uitspoeling uit urineplekken laat in het seizoen. Dit wordt nog eens geïllustreerd in Figuur 4.3. Deze figuur wijst eerder op een periode (voorjaar tot medio augustus) met een constante uitspoeling, onafhankelijk van de datum van depositie, gevolgd door een periode van lineair met de datum van depositie toenemende uitspoeling ($r^2 = 0,95$).

Een relatief klein verschil in nitraatuitspoeling tussen urineplekken van verschillende datum is ook gerapporteerd door Jabro *et al.* (1997). Zij vonden een uitspoeling van 17 en 25% van de toegediende urine-N in plekken van resp. het voorjaar en het najaar. Hierbij kan de hoge dosering (700 tot 1100 kg ha⁻¹) een rol gespeeld hebben, waarschijnlijk is door verbranding van de zode de benutting ook bij toediening in het voorjaar klein geweest. Ook Wachendorf *et al.* (2004) vonden een betrekkelijk klein verschil in nitraatuitspoeling bij beweiding in voor- en najaar. Gemiddeld

over vier jaar werd bij een N-niveau van 200 tot 300 kg ha⁻¹ een nitraatgehalte in het grondwater gevonden van 140 mg NO₃ l⁻¹ bij 100% weiden, 90 mg bij één of twee sneden maaien in het voorjaar en naweiden en 40 mg bij 100% maaien.

Geconcludeerd kan worden dat een berekening van de nitraatuitspoeling op basis van een lineair verband met de hoeveelheid N-mineraal in de bodem op 1 november, ofwel een exponentieel met de datum van depositie toenemende nitraatuitspoeling, voor urineplekken niet houdbaar lijkt. Met name de nitraatuitspoeling bij herfstbeweiding en daardoor ook het effect van vroeger opstallen op de nitraatuitspoeling lijkt bij deze berekening overschat te worden.

Uit de berekeningen gebaseerd op de in experiment 1 gemeten nitraatuitspoeling bleek beperking van de beweiding van 20 uur per dag tot 8 uur per dag (met bijvoeding met energierijk ruwvoer) de nitraatuitspoeling van 20,9 naar 15,2 kg N ha⁻¹ te verminderen. Opstallen op 1 september leidde volgens deze berekening tot een verdere beperking van de nitraatuitspoeling tot 13,9 kg N ha⁻¹ en geheel afzien van beweiding gaf een nitraatuitspoeling van 11 kg N ha⁻¹. Afhankelijk van het niveau van de nitraatuitspoeling ter plaatse kan worden beoordeeld hoe zinvol beperkingen in de beweiding zijn met het oog op de waterkwaliteit. De vermindering van de nitraatuitspoeling moet worden afgewogen tegen de effecten van opstallen: een duidelijke verhoging van de ammoniakvervluchtiging en mogelijk een gedeeltelijke compensatie in de nitraatuitspoeling door meer gebruik van drijfmest.

4.7 Vastlegging van urinestikstof

Toevoeging van glucose aan urineplekken aangebracht op 22 oktober leidde tot een halvering van de meeruitspoeling aan nitraat als gevolg van het toedienen van de urine. Dat is een aanzienlijke vermindering, maar het gaat om een zeer beperkt oppervlak. Voor urineplekken aangebracht vroeger in het seizoen was de uitspoeling zonder toevoeging lager en zal de vastgelegde stikstof eerder vrijkomen en mogelijk alsnog uitspoelen. Het lijkt redelijk alleen een verminderde uitspoeling voor urineplekken aangebracht in september en oktober aan te houden. Het gaat dan om een oppervlak aan urineplekken in de orde van 500 m² per ha, afhankelijk van beweidingssysteem en berekeningswijze (zie paragraaf 3.6). In dit experiment leidde de toevoeging van glucose tot een daling van de nitraatuitspoeling in de urineplekken met ruim 20 kg N ha⁻¹, op perceelsniveau is dat nauwelijks meer dan 1 kg N ha⁻¹, ofwel een daling van de nitraatconcentratie in het grondwater met minder dan 2 mg NO₃ l⁻¹. Daarvoor moet dan in de orde van 500 kg glucose per hectare aangebracht worden, en wel kort na beweiding en zeer nauwkeurig op de nieuwe urineplekken. Bij een niet zeer nauwkeurige overlap is een grotere hoeveelheid glucose nodig om zeker te zijn dat de urineplekken werkelijk bedekt worden. Zo effectieve toediening technisch al mogelijk zou zijn, dan lijkt dit toch een weinig efficiënte manier om de nitraatuitspoeling te verlagen.

In dit experiment werd geen effect van de toediening van glucose op de benutting van urine-N in het gewas gevonden. In het voorjaar werd in de plekken waar in oktober glucose was toegediend 30 kg N-mineraal ha⁻¹ meer in de bodem gevonden en hoewel dat verschil niet significant was, zou dat een kleine meeropbrengst kunnen geven. In dit experiment was dat niet zichtbaar, mogelijk werd dat veroorzaakt door de grote heterogeniteit in het gewas in het voorjaar van 2003. Mogelijk geeft een combinatie van snel en minder snel afbreekbare koolstofverbindingen een wat langduriger werking, waardoor meer urine-N in het voorjaar benut zou kunnen worden. Bij toediening vroeger in het seizoen is het denkbaar dat de urine-N minder snel door 'onverklaarde verliezen' verdwijnt en zo de benutting door het gewas wat verbeterd kan worden. Concrete aanwijzingen hiervoor zijn er echter niet.

De geringe verlaging van de nitraatuitspoeling en een mogelijke kleine verbetering van de benutting van urine-N vraagt hoge investeringen in deels nog ontbrekende techniek en in koolstofverbindingen. Zinvol gebruik van dit principe lijkt vooralsnog alleen mogelijk als dit kan met een eenvoudige en goedkope techniek en als gebruik gemaakt kan worden goedkope koolstofbronnen, zoals afvalstoffen. Een goedkope detectie- en toedienings-technologie lijkt niet snel binnen bereik te komen en gezien de kleine vermindering van de nitraatuitspoeling zou de milieuwinst bij opwekking van energie uit de bruikbare koolstofbronnen misschien wel groter kunnen zijn.

5. Conclusies

De resultaten van experimenten wijzen consistent op een grotere nitraatuitspoeling bij beweiding dan bij maaien, hoewel het verschil bij een matig N-niveau klein is. Dit verschil kon in de praktijk niet teruggevonden worden, niet in bestaande datasets en niet in gerichte nieuwe metingen. Een mogelijke oorzaak hiervan is een grote kleinschalige variatie in uitspoeling, waardoor relatief kleine verschillen moeilijk aantoonbaar worden. Onderzoek naar het effect van beweiding op de nitraatuitspoeling op perceelsniveau wordt momenteel verricht in een experiment van Praktijkonderzoek-ASG op het proefbedrijf Cranendonck.

Voor dit onderzoek zijn drie experimenten met kunsturineplekken opgezet. Slechts in één experiment konden goede directe uitspoelingsmetingen uitgevoerd worden. In een ander experiment was sprake van lateraal watertransport waardoor de metingen onbetrouwbaar waren en een derde experiment werd uitgevoerd op een gedraineerde kleigrond, waardoor alleen een indirecte vergelijking met zandgrond mogelijk was.

In experiment 1 op grasland met kunstmest op zandgrond werden in urineplekken een matige benutting en een lage nitraatuitspoeling gevonden. De oorzaak hiervan was een zeer groot 'onverklaard verlies' van stikstof in urineplekken dat ontstond in korte tijd na toediening.

In experiment 2 op grasland met klaver op zandgrond was de benutting van urinestikstof nog lager dan in experiment 1, terwijl door de sterke vermindering van de stikstofbinding door klaver in urineplekken een betere benutting verwacht werd. Gezien de wat kleinere hoeveelheid minerale stikstof in de bodem in het najaar mag een wat lagere nitraatuitspoeling verwacht worden in vergelijking met experiment 1. Het balanstekort als gevolg van 'onverklaard verlies' was nog groter dan in experiment 1.

In experiment 3 op grasland op kleigrond was de benutting bij toediening voor juli beter en mag op grond van vergelijking met literatuurgegevens een aanzienlijke meeruitspoeling verwacht worden. Het balanstekort was aanzienlijk kleiner dan in de proeven op zandgrond en dit kwam hoofdzakelijk tot stand in perioden waarin een aanzienlijke denitrificatie zeer wel mogelijk was.

Berekeningen van de nitraatuitspoeling op perceelsniveau door middel van opschaling van individuele urineplekken gaven een vergelijkbaar resultaat als berekeningen met het model 'NURP' voor vergelijkbare omstandigheden. Wel werd een minder groot effect van de datum van toediening van urine gevonden. Een berekeningswijze van de nitraatuitspoeling op basis van een exponentiële toename met de datum van toediening lijkt niet houdbaar.

Het tijdelijk vastleggen van urinestikstof door toediening van een koolstofbron aan urineplekken is mogelijk, maar leidde niet tot een betere benutting. Alleen bij beschikbaarheid van een goedkope nauwkeurige toedieningstechniek en een goedkope koolstofbron lijkt verder onderzoek naar deze mogelijkheid zinvol.

Het meest opvallende fenomeen van stikstof in urineplekken op zandgrond was het grote balanstekort, ontstaan in een periode waarin nitraatuitspoeling en denitrificatie kwantitatief veelal niet van betekenis geweest kunnen zijn. Doordat geen indicator aangewezen kan worden welke de grootte van dit balanstekort kan voorspellen blijft een inschatting van de nitraatuitspoeling als gevolg van beweiding onzeker. Vervolgonderzoek aan nitraatuitspoeling uit urineplekken en mogelijke oorzaken van het ontstaan van balanstekorten wordt momenteel uitgevoerd door Plant Research International en Alterra door middel van toediening van met ¹⁵N gelabelde urine aan kolommen en proefveldjes.

Tot slot kan geconcludeerd worden dat het effect van beweiding op de nitraatuitspoeling bij de huidige praktijk beperkt lijkt te zijn en er vooralsnog geen reden is algemene beperkingen van de beweiding aan te bevelen.

6. Referenties

- Boumans, L.J.M., C.R. Meinardi & G.J.W. Krajenbrink, 1989.
Nitraatgehalten en kwaliteit van het grondwater onder grasland in de zandgebieden. Deelrapport nr. 728472013. RIVM, Bilthoven.
- Cuttle, S.P. & P.C. Bourne, 1993.
Uptake and leaching of nitrogen from artificial urine applied to grassland on different dates during the growing season. *Plant and Soil* 150: 77-86.
- Cuttle, S.P., R.V. Scurlock & B.M.S. Davies, 1998.
A 6-year comparison of nitrate leaching from grass/clover and N-fertilized grass pastures grazed by sheep. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 131: 39-50.
- De Boer, H., 2002.
Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad. Pers. Med.
- Di, H.J., K.C. Cameron, R.G. Silva, J.M. Russell & J.W. Barnett, 2002.
A lysimeter study of the fate of ¹⁵N-labelled nitrogen in cow urine with or without farm dairy effluent in a grazed dairy pasture soil under flood irrigation. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 45: 235-244.
- Garwood, E.A. & J.C. Ryden, 1986.
Nitrate loss through leaching and surface runoff from grassland: effects of water supply, soil type and management. In: H.G. van der Meer, J.C. Ryden & G.C. Ennik (eds.), *Nitrogen fluxes in intensive grassland systems*. Martinus Nijhoff, Dordrecht, pp 99-113.
- Gerretsen, F.C. & H. de Hoop, 1957.
Nitrogen losses during nitrification in solutions and in acid sandy soils. *Canadian Journal of Microbiology* 3: 359-380.
- Hack-ten Broeke, M.J.D. & A.H.J. van der Putten, 1997.
Nitrate leaching affected by management options with respect to urine-affected areas and groundwater levels for grazed grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 66: 197-210.
- Hack-ten Broeke, M.J.D., W.J.M. de Groot & J.P. Dijkstra, 1996.
Impact of excreted nitrogen by grazing cattle on nitrate leaching. *Soil Use and Management* 12: 190-198.
- Jabro, J.D., W.L. Stout, S.L. Fales & R.H. Fox, 1997.
Nitrate leaching from soil core lysimeters treated with urine or feces under orchardgrass: measurement and simulation. *Journal of Environmental Quality* 26: 89-94.
- Jarvis, S.C., M. Sherwood & J.H.A.M. Steenvoorden, 1987.
Nitrogen losses from animal manures: from grazed pastures and from applied slurry. In: H.G. van der Meer, R.J. Unwin, T.A. van Dijk & G.C. Ennik (eds.), *Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste?* Martinus Nijhoff, Dordrecht, pp 195-212.
- Korsaeth, A., L.R. Bakken & H. Riley, 2003.
Nitrogen dynamics of grass as affected by N input regimes, soil texture and climate: lysimeter measurements and simulations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 66: 181-199.
- Lantinga, E.A., J.A. Keuning, J. Groenwold & P.J.A.G. Deenen, 1987.
Distribution of excreted nitrogen by grazing cattle and its effects on sward quality, herbage production and utilization. In: H.G. van der Meer, R.J. Unwin, T.A. van Dijk & G.C. Ennik (eds.), *Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste?* Martinus Nijhoff, Dordrecht, pp 103-117.
- Lovell, R.D. & S.C. Jarvis, 1996.
Effects of urine on soil microbial biomass, methanogenesis, nitrification and denitrification in grassland soils. *Plant and Soil* 186: 265-273.
- Menner, J.C., S. Ledgard, C. McLay & W. Silvester, 2003.
The effect of a single application of cow urine on annual N₂ fixation under varying simulated grazing intensity, as measured by four ¹⁵N isotope techniques. *Plant and Soil* 254: 469-480.

- Oenema, O., N. Verdoes, P.W.G. Groot Koerkamp, A. Bannink, H.G. van der Meer & K.W. van der Hoek, 2000.
Forfaitaire waarden voor gasvormige stikstofverliezen uit stallen en mestopslagen. Alterra-rapport 107, gewijzigde druk. Alterra, Wageningen, 185 pp.
- Oenema, J., H.F.M. ten Berge, C.J. de Jong & B. Fraters, 2002.
Stikstofoverschotten in 'Koeien & Kansen' en de relatie met de nitraatconcentratie in grond- en oppervlaktewater. Rapport 49, Plant Research International, Wageningen, 83 pp.
- Sauer, S. & T. Harrach, 1996.
Stickstoffverlagerung unter spätbeweidetem Grünland. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 159: 31-35.
- Schils, R.L.M., 1994.
Nitrate losses from grazed grass and grass/clover pastures on clay soil. Meststoffen 1994: 78-84.
- Sherwood, M. & A. Fanning, 1989.
Leaching of nitrate from simulated urine patches. In: J.C. Germon (ed.), Management systems to reduce impact of nitrates. Elsevier Applied Science, London, pp 32-44.
- Smit, A., M.J.D. Hack-ten Broeke, H.F.M. ten Berge, S.L.G.E. Burgers, W. Chardon, P.L.A. van Enckevort, J.J. de Gruijter, I.E. Hoving & G.L. Velthof, 2003.
Gegevensverzameling Sturen Op Nitraat. Op zoek naar een indicator. Alterra-rapport 658. Alterra, Wageningen, 48 pp.
- Steenvoorden, J.H.A.M., H. Fonck & H.P. Oosterom, 1986.
Losses of nitrogen from intensive grassland systems by leaching and surface runoff. In: H.G. van der Meer, J.C. Ryden & G.C. Ennik (eds.), Nitrogen fluxes in intensive grassland systems. Martinus Nijhoff, Dordrecht, pp 85-97.
- Ten Berge, H.F.M., H.G. van der Meer, L. Carlier, T. Baan Hofman & J.J. Neeteson, 2002.
Limits to nitrogen use on grassland. Environmental Pollution 118: 225-238.
- Valk, H., 2002.
ID-DLO, Lelystad. Pers. Med.
- Van de Ven, G.W.J., 1996.
A mathematical approach to comparing environmental and economic goals in dairy farming on sandy soils in the Netherlands. Dissertatie, Landbouwniversiteit Wageningen, 239 pp.
- Van den Pol-van Dassel, A., W.J. Corré, H. Hopster, G.C.P.M. van Laarhoven & C.W. Rougoor, 2002.
Belang van weidegang. PraktijkRapport Rundvee 14. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad, 82 pp.
- Van der Meer, H.G. & P.C. Meeuwissen, 1989.
Emissie van stikstof uit landbouwgronden in relatie tot bemesting en bedrijfsvoering. Landschap 6: 19-32.
- Van der Putten, A.H.J. & Th.V. Vellinga, 1996.
De invloed van graslandgebruik op de benutting van de toegediende stikstof. In: J.W.G.M. Loonen & W.E.M. Bach-de Wit (red.), Stikstof in beeld. Naar een nieuw bemestingsadvies op grasland. Onderzoek in de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 20. DLO, Wageningen, pp 36-59.
- Van Drecht, M.J.D., F.R. Goossensen & M.J.D. Hack-ten Broeke, 1991.
Berekening van de nitraatuitspoeling naar het grondwater met behulp van eenvoudige modellen. DLO-Staring Centrum Rapport 163. DLO-Staring Centrum, Wageningen, 99 pp.
- Vellinga, Th.V., M. Mooij & A.H.J. van der Putten, 1996.
De invloed van bemesting en graslandgebruik op de uitspoeling van nitraat. Meststoffen 1996: 11-18.
- Vellinga, Th.V., A.H.J. van der Putten & M. Mooij, 2001.
Grassland management and nitrate leaching, a model approach. Netherlands Journal of Agricultural Science 49: 229-253.
- Vertregt, N. & B. Rutgers, 1988.
Ammonia volatilization from grazed pastures. CABO-Report 84. CABO, Wageningen, 37 pp.
- Vinther, F.P., 1998.
Biological nitrogen fixation in grass-clover affected by animal excreta. Plant and Soil 203: 207-215.

Wachendorf, M., M. Büchter, H. Trott & F. Taube, 2004.

Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. II. Impact of defoliation system and nitrogen input on nitrate leaching losses. *Grass and Forage Science* 59: 56-68.

Whitehead, D.C. & A.W. Bristow, 1990.

Transformations of nitrogen following the application of ¹⁵N-labelled cattle urine to an established grass sward. *Journal of Applied Ecology* 27: 667-678.

Whitehead, D.C., D.R. Lockyer & N. Raistrick, 1989.

Volatilization of ammonia from urea applied to soil: influence of hippuric acid and other constituents of livestock urine. *Soil Biology and Biochemistry* 21: 803-808.

Bijlage I.

Proefschema's

Proefschema experiment 1

Veldnummer:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
10	-	4	-	8	1	9	5	5	0	7	9	1	-	4	5	8	10	5	7	-	0	5	4	1	7	8	9	0	10	-	-	5

Objectnummer:

:- vervallen objecten

Proefschema experiment 2

Veldnummer:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
7	8	0	4	5	1	9	7	4	5	1	0	9	8	5	9	8	1	7	0	4

Objectnummer:

Proefschema experiment 3

Veldnummer:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
0	2	4	3	-	1	-	5	6	1	2	4	6	-	5	-	3	0	5	4	1	-	-	0	3	2	6

Objectnummer:

:- vervallen objecten

