

april 2009

**rapport O896.05**

## Naar een nieuwe Na- behoefte norm voor melkvee en verantwoorde Na-bemesting op grasland



**Dr.ir. D.W. Bussink (NMI)**

**Dr.ir. H.Valk (ASG)**

**Ing. R.B. Bakker (NMI)**

**Ing. A. Klop (ASG)**

nutriënten management instituut nmi bv  
postbus 250  
6700 ag wageningen  
mariëndaal 8  
6861 wn oosterbeek  
tel. (0317) 46 77 00  
fax (0317) 46 77 01  
e-mail [nmi@nmi-agro.nl](mailto:nmi@nmi-agro.nl)  
internet [www.nmi-agro.nl](http://www.nmi-agro.nl)



---

© 2009 Oosterbeek, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

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

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

#### Disclaimer

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

---

## **Verspreiding**



## Inhoud

	pagina
Samenvatting en conclusies	3
1 Inleiding	5
1.1 Achtergrond	5
1.2 Opzet globaal	6
2 Opzet- en uitvoering bemestingsproef en opbouwgegevensset	7
2.1 Proeven en data algemeen	7
2.2 Opzet en uitvoering bemestingsproeven 2005 en 2006	7
2.3 Monitoring gegevens van praktijkpercelen	8
2.4 Statistische analyse	10
3 Resultaten detailproeven en monitoring	11
3.1 Grondonderzoek en de gerealiseerde bemesting detailproeven	11
3.2 Grondonderzoek en de gerealiseerde bemesting detailproeven	13
4 Van het huidige Na-bemestingsadvies naar een nieuw advies: achtergrond	14
4.1 Algemeen	14
4.2 Het huidige Na-bemestingsadvies (1988)	14
4.3 Na-advies op andere grondslag: de multi-nutriënt benadering	17
4.4 CEC en omwisselgedrag van kationen	18
5 Statische analyse	21
5.1 De data	21
5.2 De opzet van de statische analyse	21
5.3 Het analyseresultaat	22
5.4 Het analyseresultaat model 2	26
6 Discussie Na-bemestingsadvies	28
6.1 Modevaluatie	28
6.2 Latere sneden	29
6.3 Rekening houden met de bemestingspraktijk	30
6.4 Conclusies	30
7 Opzet- en uitvoering voederproef en opbouwgegevensset	31
7.1 Proefvoerders	31
7.2 Proefdieren	32
7.3 Proefopzet	32
8 Resultaten	33
8.1 Na-gehalte, droge stofopbrengst en chemische samenstelling bepaald in graskuil monsters genomen tijdens het voeren	33
8.2 Rantsoen gegevens en voeropname	34
8.3 Melkproductie en mestscore	34
9 Discussie voederproef	36

9.1	Effect van weidezoutbemesting op het Na-gehalte, de grasopbrengst en de chemische- en minerale samenstelling van het gras	36
9.2	Effecten van Na-bemesting op de voeropname, de melkproductie en de mestscore	37
9.3	Conclusies	39
10	Literatuur	40

## Bijlagen

Bijlage 1	Proeven 2005 en 2006	42
Bijlage 2	Naar nieuwe adviezen algemeen	45
Bijlage 3	Teeltgegevens, chemische- en minerale samenstelling en voederwaarde van de graskuilen, uitgedrukt in g/kg drogestof tenzij anders aangegeven	46

## Samenvatting en conclusies

Natrium is van invloed op de smakelijkheid van gras en daarmee op de grasopname en mogelijk ook op de melkproductie. Uit buitenlandse literatuur blijkt dat de drogestof opname het hoogst is bij een Na-gehalte tussen 2,5 – 5,5 g per kg ds, wat fors hoger is dan de fysiologische behoefte. Onder Nederlandse omstandigheden zijn echter geen experimentele gegevens voorhanden over de optimale Na-gehalten van gras. Anderzijds is het huidige bemestingsadvies verouderd, omdat dat alleen rekening houdt met de K- en Na-toestand van de grond, terwijl bekend is dat ook de bemesting met N, K, Na en Mg en de Mg-toestand van invloed kan zijn op het Na-gehalte in gras. Door rekening te houden met multi-nutriënt interacties kan een meer op maat Na-advies worden ontwikkeld waar mee gericht is te sturen op een gewenst Na-gehalte in gras.

NMI en ASG hebben in een gezamenlijke studie in opdracht van Productschap Zuivel daarop onderzoek uitgevoerd i) voor de ontwikkeling van een nieuw Na-bemestingsadvies op basis van monitoring en praktijkproeven en ii) voor het bepalen van het optimale Na-gehalte in gras voor een maximale grasopname via een gerichte voederproef.

### Bemestingsadvies ontwikkeling

Doel van bemestingsonderzoek was het ontwikkelen van een nieuw Na-bemestingsadvies en het vaststellen van een optimaal Na-gehalte gras vanuit oogpunt van grasopname. Voor het ontwikkelen van een bemestingsadvies is gebruik gemaakt van monitoringgegevens en zijn enkele praktijkproeven opgezet. In de monitoringstudie is van praktijkpercelen de bemestingstoestand vastgesteld op basis van extractie met 0,01 M CaCl<sub>2</sub>. De bemesting van de eerste snede is geregistreerd en de minerale samenstelling van de eerste snede is gemeten. Er is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande monitoringstudies over de periode 1999-2008. Daarnaast zijn op een beperkt aantal percelen bemestingsproeven (2005-2006) met Na-, K- en N-trappen aangelegd om de effecten van Na-, K- en N-interacties te illustreren. De gegevens uit de monitoringstudie en de praktijkproeven zijn gezamenlijk geanalyseerd. Met behulp van statistiek en bodemchemische kennis kon op basis van deze gegevens een goede relatie worden afgeleid tussen het Na-gehalte in gras-, bodem- en bemestingskengetallen (ruim 65% verklaarde variantie). Van invloed op het Na-gehalte zijn de Na-, K- en Mg-gehalten in de bodem, de bodem-pH en de N-, K-, Mg- en Na-bemesting. Het effect van Na-, K- en Mg-gehalte is daarbij gemodelleerd in de vorm van Gapon-vergelijkingen. De grondsoort was niet van invloed op de gevonden relatie.

Op basis van het analysemodel is een multi-nutriënt Na-advies (het Na-advies hangt van meer dan 1 bodemkengetal af) ontwikkeld. Dit multi-nutriënt Na-adviesmodel is getest op een onafhankelijke set met 2500 grondmonsters. Op basis van de Bemestingsadviesbasis bedroeg het gemiddelde advies ongeveer 45 kg Na<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. Gemiddeld werd vrijwel hetzelfde Na-advies verkregen met het nieuwe model als uitgegaan wordt van een gewenst Na-gehalte in gras van 2,0 g Na kg<sup>-1</sup> ds. Anderzijds om met 95% zekerheid een waarde van 2,0 g Na kg<sup>-1</sup> ds of hoger te realiseren dient in het multi-nutriënt Na-adviesmodel te worden uitgegaan van een streefwaarde van 2,5 g Na kg<sup>-1</sup> ds.

### Voederwaardeproef met gras

Doel van de voederproef was het ontwikkelen van een nieuwe Na-behoefte-norm voor melkvee gebaseerd op de dosisrespons methode. Daartoe is een voederproef uitgevoerd met graskuil afkomstig van percelen die met verschillende hoeveelheden weidezout zijn bemest. Twee proefpercelen van het

ASG-proefbedrijf zijn daartoe verdeeld in gelijke kavels waarop bemestingstrappen zijn aangelegd. De van deze percelen geoogste partijen graskuil zijn zodanig met elkaar gemengd, dat er vier partijen met verschillend Na-gehalte ontstonden (partijen Na-1, Na-2, Na-3 en Na-4). Deze partijen zijn gevoerd aan vier groepen oudmelkse melkkoeien, volgens een Latijns Vierkant opzet. Op deze wijze zijn verschillende behandelingen aangelegd. Dit leidde tot ruwvoer met Na-gehalte van respectievelijk 1,8, 2,8, 3,9 en 4,7 g kg<sup>-1</sup> ds was. De voeropname en de melkproductie werden individueel per dier gemeten.

Er werd in het geoogste gras een consistente (sterke) stijging van het Na-gehalte, het ruw as-gehalte en het K-gehalte als gevolg van weidezoutbemesting geconstateerd. Op andere kenmerken was het effect echter niet consistent voor beide percelen. De ds-opbrengst, het Ca-, het suiker-, het NDF-, ADF- en ADL-gehalte van het geoogste gras bleken in deze proef per perceel wisselend te reageren op de weidezoutbemesting.

De grasopname uit graskuil daalde bij de hogere bemestingen met weidezout, terwijl op basis van de literatuur een stijging werd verwacht. De daling in de voeropname leidde tot een verminderde melkgift, terwijl melkvet en melkeiwit stegen. Op grond van de proefresultaten lijkt een Na-gehalte in gras van 1,8-2,8 g kg<sup>-1</sup> ds optimaal.

Op basis van eerder onderzoek (Bussink et al., 2005), het bemestende waarde onderzoek en het voederwaardeonderzoek lijkt een streeftraject tussen 2,5 en 3,0 g Na kg<sup>-1</sup> ds het meest ideaal. Voor praktische toepassingen zou uitgegaan kunnen worden van een streefwaarde van 2,5 g Na kg<sup>-1</sup> ds indien rekening wordt gehouden met de onzekerheid in het voorspellen van het Na-gehalte.

### **Conclusies:**

- De multi-nutriënt benadering geeft een duidelijk betere voorspelling van het Na-gehalte in gras op basis van bodem- en bemestingskenmerken dan de huidige grondslag voor het Na-bemestingsadvies. Daarmee is het goed mogelijk om te sturen op een gewenst Na-gehalte van gras. Een nieuwe systematiek is hiervoor afgeleid, waarbij het 95% betrouwbaarheidsinterval voor een streefwaarde van 2,5 g Na kg<sup>-1</sup> ds ligt tussen ongeveer 2,0 en 3,1 g Na kg<sup>-1</sup> ds.
- Over een groot range aan grondmonsters is het bemestingsadvies bij de nieuwe systematiek en een streefwaarde van 2 g Na kg<sup>-1</sup> ds gemiddeld over alle monsters ongeveer gelijk aan het advies op basis van de Bemestingsadviesbasis. Voor praktische toepassingen zou uitgegaan kunnen worden van een streefwaarde van 2,5 g Na kg<sup>-1</sup> ds indien rekening wordt gehouden met de onzekerheid in het voorspellen van het Na-gehalte.
- De grasopname uit graskuil daalde bij de hogere bemestingen met weidezout. De daling in de voeropname leidde tot een verminderde melkgift, terwijl melkvet en melkeiwit stegen. Op grond van de voederwaarde proef lijkt een Na-gehalte in gras van 1,8-2,8 g kg<sup>-1</sup> ds optimaal.
- Op grond van de proefresultaten lijkt een Na-gehalte in gras van 1,8-2,8 g kg<sup>-1</sup> ds optimaal.
- Op basis van eerder onderzoek (Bussink et al., 2005), het bemestingsonderzoek en het voederwaarde onderzoek is een streefwaarde van 2,5 g Na kg<sup>-1</sup> ds in gras het meest ideaal.

# 1 Inleiding

(auteurs: D.W. Bussink en R.B. Bakker)

## 1.1 Achtergrond

Natrium (Na) is een essentieel element voor de diervoeding. De huidige behoeftenorm voor Na is mogelijk te laag. Bovendien is Na van invloed op de smakelijkheid van gras en daarmee op de grasopname en mogelijk ook op de melkproductie. Bekend is dat vele factoren van invloed zijn op het Na-gehalte van gras. In 2005 (Bussink et al.) is een studie uitgevoerd om na te gaan of er aanleiding is om voor melkvee de behoeftenorm voor natrium (Na) bij te stellen en of er mogelijkheden zijn om een verfijnd Na-bemestingsadvies te ontwikkelen voor een voldoende voorziening van de melkveestapel met Na en een hoge grasopname en grasbenutting te realiseren. De belangrijkste conclusies van deze studie waren:

- De fysiologische Na-behoefte in het rantsoen bedraagt minimaal 1,5 g Na per kg ds. In de praktijk betekent dit dat er minimaal 2,0 g Na per kg ds in gras en kuilgras aanwezig dient te zijn. Op ruim 50% van de bedrijven wordt dit gehalte nu niet gerealiseerd.
- Een hoger Na-gehalte in gras leidt tot een langere graasduur en vaak tot een hogere grasopname en minder beweidingsverliezen. Ook de melk- en vetproductie is soms hoger. Ruwweg ligt het optimale traject voor maximale grasopname ergens tussen 2,5 en 5,5 g Na per kg ds op basis van de buitenlandse literatuur. Nederlandse gegevens hierover ontbreken echter. Bovendien is dit traject fors hoger dan de fysiologische behoefte.
- Een hoge K- of Mg-beschikbaarheid in de grond, een hoge K- en Mg-bemesting en een dalende N-bemesting leiden tot een lager Na-gehalte in gras. Bij de bemestingsadvisering dient rekening te worden gehouden met deze (multi-nutriënt)interacties om een bepaald minimumgehalte te realiseren. Dit gebeurt nu niet.
- Het huidige Na-bemestingsadvies en de gebruikte analysetechniek bij grondonderzoek (de basis stamt uit de vijftiger jaren) zijn verouderd. Op basis van extractie met 0,01 M CaCl<sub>2</sub> is met lagere kosten voor grondonderzoek een beter advies te ontwikkelen, waarmee rekening wordt gehouden met interacties tussen nutriënten en gericht gestuurd kan worden op een gewenst Na-gehalte.
- Een hoger Na-gehalte in gras leidt tot een verbetering van het saldo en leidt tot een verlaging van de ammoniakemissie.

De bevindingen van deze studie betekenen voor de veehouder dat het niveau van het Na-gehalte in gras van belang is voor een maximale grasopname en een optimaal rendement bij beweiding. Daarvoor dient voor Nederlandse omstandigheden nog wel experimenteel beantwoord te worden bij welk Na-gehalte de grasopname dan maximaal is en hoe dit gehalte via bemesting is te realiseren.

Deze door Productschap Zuivel gefinancierde studie heeft als doel een antwoord te geven op beide vragen door enerzijds bemestingsonderzoek uit te voeren en anderzijds via een gerichte voederproef informatie te krijgen over het optimale gehalte voor maximale opname. Beoogd resultaat is om een:

- streefwaarde voor het optimale Na-gehalte voor een maximale opname van gras te realiseren; en
- aangepast Na-advies te realiseren waarmee beter is te sturen op een gewenst Na-gehalte, omdat rekening wordt gehouden met het effect van andere elementen op het Na-gehalte in gras.

De studie is in samenwerking tussen NMI en ASG uitgevoerd. ASG concentreert zich daarbij op de grasopname proef en NMI concentreert zich op de bemestingsadvisering.

## 1.2 Opzet globaal

Het bemestingsadvies om een Na-streefwaarde in gras te realiseren wordt ontwikkeld op basis van een monitoringstudie. Daartoe wordt van praktijkpercelen de bemestingstoestand vastgesteld op basis van extractie met 0,01 M CaCl<sub>2</sub> (Houba et al., 2000). De bemesting van de eerste snede wordt geregistreerd en de minerale samenstelling van de eerste snede gemeten. Er wordt daarnaast zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande studies/proeven, bijvoorbeeld van de gegevens uit K&K. Met behulp van statistiek en bodemchemische kennis wordt op basis van deze gegevens een eerste (multi-nutriënt-advies) afgeleid om gericht te kunnen sturen op een gewenst Na-gehalte. Verder zijn op een beperkt aantal percelen bemestingsproefjes met Na-, K- en N-trappen aangelegd om de effecten van Na-, K- en N-interacties te illustreren. De informatie uit deze bemestingsproeven wordt gebruikt ter onderbouwing van het te ontwikkelen Na-advies.

De detailopzet, uitvoering en resultaten met betrekking tot de bemestingsproeven zijn beschreven in de hoofdstukken 2 tot en met 6.

Het ontwikkelen van een nieuwe Na-behoeftenorm voor melkvee is gebaseerd op de dosisrespons methode. Vanwege de nauwkeurigheid wordt het effect van het Na-gehalte in gras op de voeropname getoetst in een stalvoederproef. Dan zijn individuele voeropnames betrouwbaar te bepalen. Daartoe wordt gras ingekuuld in ronde balen op het proefbedrijf van ASG. Door bemesting met verschillende hoeveelheden weidezout worden verschillende Na-gehalten in het gras gerealiseerd. Vier behandelingen zijn voorzien inclusief het controlevoer dat geen Na-bemesting ontvangt. Normaliter mag worden verwacht dat graskuil geoogst bij ASG ongeveer 1 g Na per kg droge stof bevat. Via Na-bemesting wordt gestreefd naar 2,3 en 4,5 en 5,3 g Na kg<sup>-1</sup> ds. Dit materiaal wordt gevoerd aan 32 dieren (4 groepen van 8 dieren) gedurende 4 perioden van 3 weken. De voeropnameproef is uitgevoerd als een Latijns vierkant met dieren die ongeveer 150 dagen in lactatie zijn en 30 kg melk produceren. Dit laatste wordt gedaan om ervoor te zorgen dat er niet al te veel hoeft te worden bijgevoerd, waardoor eventuele ongewenste interactie-effecten (graskuil/mengvoer) kunnen worden voorkomen. De detailopzet, uitvoering en resultaten zijn beschreven in de hoofdstukken 7, 8 en 9.

## 2 Opzet- en uitvoering bemestingsproef en opbouwgegevenset

(auteurs: D.W. Bussink en R.B. Bakker)

### 2.1 Proeven en data algemeen

Van belang is een uitgebreide dataset op te bouwen met daarbinnen voldoende variantie in het niveau van factoren die van invloed zijn. Daarom is gekozen voor zowel detailproeven op een paar locaties waarin verschillende behandelingen zijn aangelegd als monitoringproeven op diverse locaties. Daarbij is voor zover van toepassing ook gebruik gemaakt van gegevens uit andere studies zowel van recente als wat oudere datum.

### 2.2 Opzet en uitvoering bemestingsproeven 2005 en 2006

In 2005 zijn op 6 praktijklocaties eenvoudige Na-bemestingsproeven uitgevoerd door de betreffende veehouder. Het betrof niet gerandomiseerde opzetten met 2 N-, 2 K- en 3 Na-trappen (zie Bijlage 1). In totaal geeft dit 12 veldjes per locatie. De beoogde giften bedroegen:

- 60 en 120 kg N ha<sup>-1</sup>
- 70 en 140 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>
- 0, 50 en 100 kg Na<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>

De meststoffen zijn met de kunstmeststrooier van de veehouder toegediend. Twee van de locaties lagen op zandgrond in Noord-Brabant op hetzelfde perceel. Vier locaties lagen op kleigrond in Groningen op 4 verschillende percelen op hetzelfde bedrijf. Op de zandlocaties is een basisbemesting met dunne rundermest (28 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) gegeven, met respectievelijk 4,84 g N, 1,65 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 7,4 g K<sub>2</sub>O, 1,4 MgO en 0,6 g Na<sub>2</sub>O per kg mest. Daarmee werd een basisbemesting (werkzame gift) van 67 kg N, 23 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 155 kg K<sub>2</sub>O, 39 kg MgO en 17 kg Na<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> gegeven. Het beoogde K-niveau van 70 en 140 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> en Na-niveau van 0 kg Na<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> kon daarmee niet worden gerealiseerd. Om op de zandlocaties toch een verschil in K-niveau te hebben zijn er kunstmest K-trappen van 0 en 90 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> aangelegd (dus niveaus van 155 en 245kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>). Bovenop de Na-gift met dierlijke mest zijn Na-trappen van 0, 50 en 100 kg Na<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> aangelegd door te bemesten met landbouwzout. Voor N was het mogelijk om via een aangepaste kunstmestgift de niveaus van respectievelijk 60 en 120 kg N ha<sup>-1</sup> ongeveer te handhaven. Op de locaties in Groningen is conform de doelstelling bemest. De kali en de stikstof zijn gegeven in de vorm van kalkammonsalpeter (of ASS) en kali60.

In 2006 zijn op 2 locaties Na-bemestingsproeven uitgevoerd door de betreffende veehouder. Het betrof niet gerandomiseerde opzetten met 2N-, 2P-, 2 K- en 3 Na-trappen (zie Bijlage 1). In totaal geeft dit 24 veldjes per locatie. De beoogde giften bedroegen:

- 60 en 120 kg N ha<sup>-1</sup>
- 0 en 110 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>
- 70 en 140 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>
- 0, 50 en 100 kg Na<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>

Er is een P-trap meegenomen omdat het P-behoefte percelen betrof. Verwacht wordt dat P-bemesting geen interactie geeft met de Na-bemesting, waardoor P-niveau ook als herhaling kan dienen. Er zijn alleen minerale meststoffen toegediend. Deze zijn met de kunstmeststrooier van de veehouder toegediend. De stikstof, fosfaat en kali werden gegeven in de vorm van kalkammonsalpeter (of ASS), tripel en kali60.

Zodra de eerste snede het maaistadium bereikt had zijn er versgras monsters genomen voor analyse

van het gras op minerale samenstelling en voederwaarde. De samenstelling van latere sneden is niet gevolgd. De opzet en lay-out van de detailproeven is in Bijlage 1.

In voorjaar 2005 en 2006 is grondonderzoek uitgevoerd. Uit Tabel 2.1 blijkt dat er duidelijke verschillen zijn in bodemvruchtbaarheid, ook wat betreft de K-, Na- en Mg-toestand.

Tabel 2.1. Grondonderzoek praktijkproeven 2005 en 2006.

	Noord-Brabant	Groningen	Groningen	Groningen	Groningen	Groningen
Proef	1&2	3	4	5	6	7&8*
Grondsoort	Dekzand	Zeeklei	Zeeklei	Zeeklei	Zeeklei	Zeeklei
DtMonster	23-3-2005	11-3-2005	11-3-2005	11-3-2005	11-3-2005	10-4-2006*
N-Tot (mg kg <sup>-1</sup> )	2263	5620	8914	6463	10310	3111
CN	14	8	11	11	10	8
NLV (kg N ha <sup>-1</sup> )	145	219	230	230	230	139
P-AL (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100g)	48	40	58	57	45	17
K	30	216	66	46	76	95
K-getal	10	44	9	9	9	34
S-totaal (mg kg <sup>-1</sup> )	342	1305	1876	2189	1918	665
SLV (kg S ha <sup>-1</sup> )	8	23	30	36	29	13
Saanv (kg S ha <sup>-1</sup> )	20	51	58	64	57	26
Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	110	379	256	254	275	320
Na (mg kg <sup>-1</sup> )	7	50	42	40	45	53
pH	5,9	6,6	4,1	4,7	4,6	5,4
OS (%)	5,4	9,9	20,8	15,9	23,4	5,1
Lutum (%)	n	33	31	32	30	30
CEC mmol(+) kg <sup>-1</sup>	145	171	475	419	502	229

N = niet bepaald

\* een verzamelmonster van twee percelen. Bij uitvoering van de proef zijn opnieuw monsters genomen van beide percelen. Deze zijn in opslag gegaan en per ongeluk opgeruimd zonder analyse. In najaar 2007 hernieuwd bemonsterd

### 2.3 Monitoring gegevens van praktijkpercelen

Voor de ontwikkeling van een bemestingsadvies kunnen ook praktijkgegevens worden gebruikt, indien van percelen zowel het grondonderzoek, de bemesting (1<sup>e</sup> snede) als de samenstelling van versgras (1<sup>e</sup> snede) bekend is. NMI is (en was) betrokken bij diverse projecten waarin deze gegevens (deels) geregistreerd zijn en via aanvullende analyses gecompleteerd konden worden tot een dataset met grondonderzoek, bemesting en de samenstelling van versgras. Dit betreft gegevens uit het project Koeien en Kansen over de periode 1999-2001 (grondmonsters zijn opnieuw geanalyseerd), 2005 (minerale samenstelling versgras eerste snede is aanvullend vastgesteld). Daarnaast heeft NMI monitoringprojecten waarin de grondanalysecijfers, de bemestingsgegevens (voor de 1<sup>e</sup> snede) en de samenstelling van versgras (1<sup>e</sup> snede) bekend zijn. Dit betreft gegevens uit 'Quickscan bodemkwaliteit (PION-percelen)', twee P-monitoringsprojecten in Brabant en Drenthe (gegevens 2006 en 2007), een Na-gehalte monitoringsproef (2007, 2008) en het project 'Fosfaatbemestingsadvies op nieuwe leest (2007 en 2008)' dat door PZ, Blgg en veevoederbedrijfsleven wordt gefinancierd en in 2007 is gestart. In een aantal van deze projecten is versgras uitgebreid geanalyseerd om ook cijfers over het Na- en K-gehalte te verkrijgen. In totaal waren op die manier bijna 600 records met grondanalyse-, bemesting- en gewasanalysegegevens beschikbaar. Alle analysegegevens zijn afkomstig van één laboratorium, nl. Blgg.

De gegevens zijn bewerkt en opgeslagen in een database voor statistisch onderzoek. Deze database

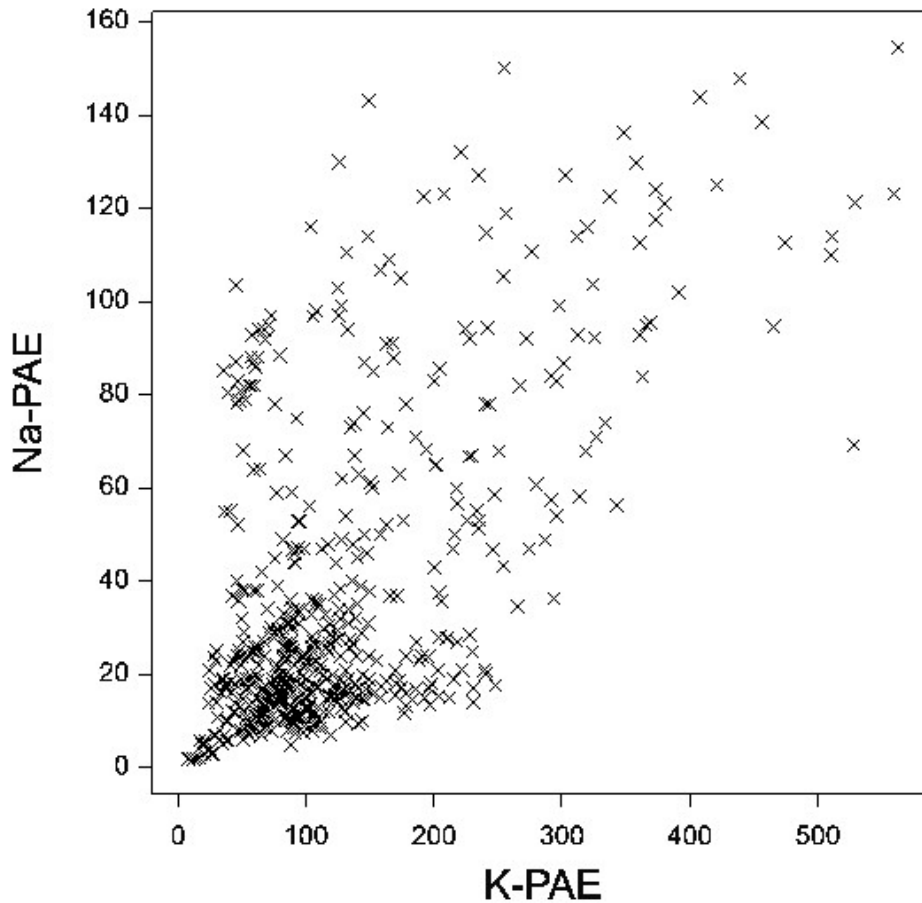
bevat x-records (833). De monsters laten een grote spreiding zien in Na-, K- en Mg-gehalte (Tabel 2.2 en Figuur 2.1).

Tabel 2.2 Het totaal aantal percelen over de periode 1999-2008.

Grond	1999	2000	2001	2002	2005	2006	2007	2008	Totaal
10	38	3	22	15	63	175	113	32	461
20	21	2	2	1	45	80	14	0	165
40	19	0	0	0	1	23	21	8	72
45	0	0	0	0	0	0	4	4	8
50	0	0	0	0	0	0	8	2	10
60	25	2	4	0	0	25	10	15	81
62	0	0	0	0	0	0	5	3	8
71	3	0	0	0	0	15	0	2	20
87	6	0	2	0	0	0	0	0	8
	112	7	30	16	109	318	175	66	<b>833</b>

Tabel 2.3. Na-PAE, K-PAE en Mg-PAE (mg /kg na extractie met 0,01 M CaCl<sub>2</sub>): het aantal metingen per grondsoort, het gemiddelde, het minimum en het maximum plus de standaarddeviatie.

Grondsoort	Aantal	Gemiddelde	Minimum	Maximum	s.d.
<b>Na-PAE</b>					
10	445	19,85	2	84	11,62
20	145	50,81	12	102	14,42
40	72	61,29	11	148	28,22
45	7	50,57	18	78	27,92
50	8	16,88	12	27	5,74
60	79	133,79	13	817,2	139,66
62	8	59,62	25	130	37,26
71	20	21,42	7	61,2	11,27
87	8	22,31	15,88	36,3	7,02
<b>K-PAE</b>					
10	439	95,6	8	1184,3	73,27
20	141	136,8	46	527,7	86,09
40	69	88,1	30,42	439	63,61
45	3	99,7	76	139	34,3
50	2	93,5	89	98	6,36
60	77	283,6	71	1069,3	158,23
62	8	97,1	58	141	30,5
71	20	103,6	57	211	48,62
87	8	203,5	158,58	293,4	46,76
<b>Mg-PAE</b>					
10	445	176,3	24	870	88,34
20	145	311,5	58	548	79,66
40	72	320,5	90	625	107,6
45	7	252,9	112	358	107,83
50	8	153,5	96	216	61,7
60	79	493,8	54	672,1	95,23
62	8	373,4	189	634	181,82
71	20	234,5	117	338	64,27
87	8	131,3	101,61	159	23,08



Figuur 2.1. De Na- en K-grondonderzoekcijfers (mg /kg droge grond na extractie met 0,01 M  $\text{CaCl}_2$ ) van de monitoringpercelen.

#### 2.4 Statistische analyse

Binnen de dataset met monitoringgegevens is eerst vastgesteld (met behulp van GenStat, 1993) of de oudere monsters afwijken van de recentere verkregen gegevens. Uit de analyse bleek dat de oudere monsters meegeanalyseerd konden worden. Bovendien gaf verder onderzoek aan dat beide datasets (monitoringgegevens en praktijkproeven) samengevoegd konden worden. Dit is dan ook gedaan en over de statistische analyse van de gehele dataset wordt in hoofdstuk 5 gerapporteerd.

De uiteindelijke analyse is uitgevoerd met het GenStat directive REML. Statistische ondersteuning is verleend door Wim van den Berg (PPO).

### 3 Resultaten detailproeven en monitoring

(auteurs: D.W. Bussink en R.B. Bakker)

#### 3.1 Grondonderzoek en de gerealiseerde bemesting detailproeven

Op de locatie op zandgrond in Noord-Brabant zijn in 2005 de twee proeven op hetzelfde perceel aangelegd (in herhaling). In 2006 is dit ook gebeurd op de locatie op kleigrond in Groningen. In voorjaar 2005 en 2006 is grondonderzoek uitgevoerd. Uit Tabel 3.1 blijkt dat er duidelijke verschillen zijn in bodemvruchtbaarheid, ook wat betreft de K-, Na- en Mg-toestand. De proeven op de praktijklocaties bevestigen dat het Na-gehalte sterk wordt beïnvloed door bemesting met overige elementen en de bodemtoestand van diverse elementen. Een hogere N- of hogere Na-gift leiden tot een hoger Na-gehalte. Een hoger K-gift of een hoger K-getal leidt tot een lager Na-gehalte (Tabel 3.2).

Tabel 3.1. Grondonderzoek praktijkproeven 2005 en 2006 (n= niet bepaald).

	Noord-Brabant	Groningen	Groningen	Groningen	Groningen	Groningen
Proef	1&2	3	4	5	6	7&8
Grondsoort	Dekzand	Zeeklei	Zeeklei	Zeeklei	Zeeklei	Zeeklei
DtMonster	23-3-2005	11-3-2005	11-3-2005	11-3-2005	11-3-2005	10-4-2006
N-Tot (mg kg <sup>-1</sup> )	2263	5620	8914	6463	10310	263
CN	14	8	11	11	10	9,7
NLV (kg N ha <sup>-1</sup> )	145	219	230	230	230	120
P-AL (mg	48	40	58	57	45	15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100g)						
K-PAE	30	216	66	46	76	n
K-getal	10	44	9	9	9	30
S-totaal (mg kg <sup>-1</sup> )	342	1305	1876	2189	1918	n
SLV (kg S ha <sup>-1</sup> )	8	23	30	36	29	n
Saanv (kg S ha <sup>-1</sup> )	20	51	58	64	57	n
Mg-PAE (mg kg <sup>-1</sup> )	110	379	256	254	275	n
Na-PAE (mg kg <sup>-1</sup> )	7	50	42	40	45	40
pH	5,9	6,6	4,1	4,7	4,6	5,4
OS (%)	5,4	9,9	20,8	15,9	23,4	5,1
Lutum (%)	n	33	31	32	30	32
CEC mmol(+) kg <sup>-1</sup>	145	171	475	419	502	n

Tabel 3.2. Het effect van N-, K-, Na- en P-niv op het Na-gehalte (g kg<sup>-1</sup>) van 1<sup>e</sup> snedegras op 8 proeflocaties (zie Tabel 3.1).

Proef	N-niveau		K-niveau		Na-niveau			P-niveau	
	60	120	70	140	0	50	100	0	110
1*	3,24	3,40	3,77	2,80	2,08	4,17	3,95		
2*	3,32	4,13	4,08	3,37	2,05	3,95	5,18		
3	1,05	1,30	1,18	1,17	0,73	1,13	1,68		
4	5,22	7,35	7,17	5,40	4,65	6,10	8,10		
5	5,43	6,60	6,77	5,27	4,10	5,78	8,18		
6	6,43	6,93	6,47	6,92	3,90	7,13	9,27		
7**	2,18	3,18	2,94	2,43	2,09	2,61	3,35	2,48	2,89
8**	1,48	3,26	2,47	2,28	1,85	2,56	2,70	2,04	2,70
gemiddeld	<b>3,03</b>	<b>4,26</b>	<b>3,90</b>	<b>3,44</b>	<b>2,50</b>	<b>3,77</b>	<b>4,73</b>	<b>2,26</b>	<b>2,80</b>

\* de N-, K- en Na-niveaus zijn resp. 39 kg N ha<sup>-1</sup>, 155 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> en 17 kg Na<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> hoger door de mestgift.

Tabel 3.3 laat grote verschillen zien van het Na-gehalte in gras tussen de 8 proeflocaties. Op locatie 3 zijn de laagste Na-gehalten gemeten. Op deze locatie is het K-getal en Mg-gehalte van de grond het hoogst. Anderzijds is de N-opname hier het laagst met ruweiwitgehalte van respectievelijk 135 en 151 g kg<sup>-1</sup> ds (Tabel 3.4). Na-bemesting op locatie 3 geeft weliswaar hogere Na-gehalten, echter 100 kg Na<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> is niet voldoende om 2 g Na kg<sup>-1</sup> ds te realiseren mede door het lage N-gehalte van het gras. Afhankelijk van de overige bodem- en bemestingsparameters kan 100 kg Na<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> meer dan een verdubbeling van het Na-gehalte in gras bewerkstelligen waardoor bij proef 6 het gehalte tot boven de 9 g Na kg<sup>-1</sup> ds stijgt. Dit geeft aan dat multi-nutriënt interacties belangrijk zijn om mee te nemen bij het ontwikkelen van een nieuw Na-advies.

Tabel 3.3. Het effect van N-, K-, Na- en P-niv op het Na-gehalte (g kg<sup>-1</sup> ds) van gras op de 8 locaties.

Proef	N-niveau kg N ha <sup>-1</sup>		K-niveau kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>		Na-niveau kg Na <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>			Kgetal	NaPAE	MgPA E 0	NLV
	60	120	70	140	0	50	100				
1*	3,24	3,40	3,77	2,80	2,08	4,17	3,95	30	7	110	145
2*	3,32	4,13	4,08	3,37	2,05	3,95	5,18	30	7	110	145
3	1,05	1,30	1,18	1,17	0,73	1,13	1,68	44	50	379	219
4	5,22	7,35	7,17	5,40	4,65	6,10	8,10	9	42	256	230
5	5,43	6,60	6,77	5,27	4,10	5,78	8,18	9	40	254	230
6	6,43	6,93	6,47	6,92	3,90	7,13	9,27	9	45	275	230
7**	2,18	3,18	2,94	2,43	2,09	2,61	3,35	30			120
8**	1,48	3,26	2,47	2,28	1,85	2,56	2,70	30			120
gemiddeld	<b>3,03</b>	<b>4,26</b>	<b>3,90</b>	<b>3,44</b>	<b>2,50</b>	<b>3,77</b>	<b>4,73</b>				

\* de N-, K- en Na-niveaus zijn resp. 39 kg N ha<sup>-1</sup>, 155 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> en 17 kg Na<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> hoger door de mestgift.

\*\* de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-niveaus zijn 0 en 110 kg ha<sup>-1</sup>. Dit leidt tot gemiddeld respectievelijk 2,26 en 2,80 g Na kg<sup>-1</sup> ds.

Tabel 3.4. Het effect van N-bemesting cq het RE-gehalte op het Na-gehalte van gras op de 8 locaties.

\* de N- en Na-niveaus zijn resp. 39 kg N ha<sup>-1</sup> en 17 kg Na<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> hoger door de mestgift.

Proef	Na-gehalte		RE-gehalte	
	60	120	60	120
1*	3,24	3,40	192	226
2*	3,32	4,13	178	225
3	1,05	1,30	135	151
4	5,22	7,35	175	211
5	5,43	6,60	206	225
6	6,43	6,93	187	216
7**	2,18	3,18	119	144
8**	1,48	3,26	115	140
gemiddeld	<b>3,03</b>	<b>4,26</b>	<b>163</b>	<b>192</b>

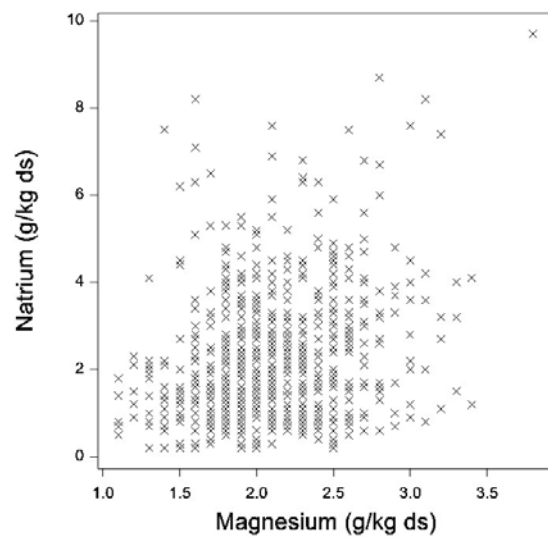
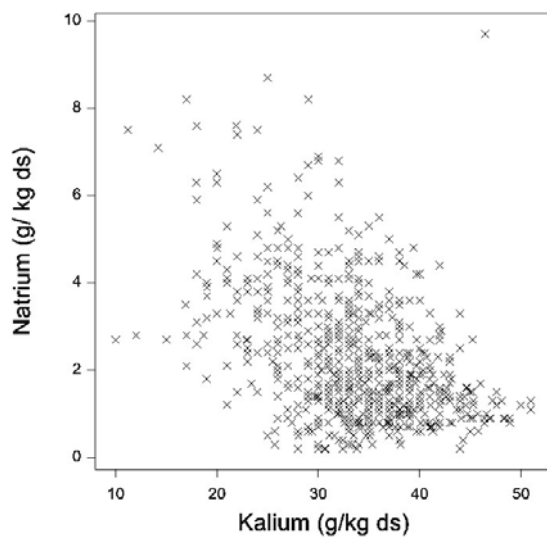
Op de twee locaties in 2006 (proef 7 en 8) is een P-trap aangelegd. Een hogere P-gift leidt tot een hoger Na-gehalte in gras. De opname van extra fosfaationen moet gecompenseerd worden door opname van extra kationen. Niet alleen het Na-gehalte maar ook het K- en Mg-gehalte nemen toe bij P-bemesting.

Tabel 3.5. Het effect van P-bemesting (0 tegen 110 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) op een P-arme grond op de minerale samenstelling van gras (g kg<sup>-1</sup> ds).

Proef	P		Na		RE		K		Mg	
	0	110	0	110	0	110	0	110	0	110
7	2,39	2,63	2,48	2,89	128	135	26,3	26,9	1,41	1,51
8	2,28	2,87	2,04	2,70	131	124	25,5	25,7	1,34	1,43

### 3.2 Grondonderzoek en de gerealiseerde bemesting detailproeven

De monitoringproeven laten een grote bandbreedte zien in Na-, K- Mg- en ruweiwitgehalten.



## 4 Van het huidige Na-bemestingsadvies naar een nieuw advies: achtergrond

(auteurs: D.W. Bussink en R.B. Bakker)

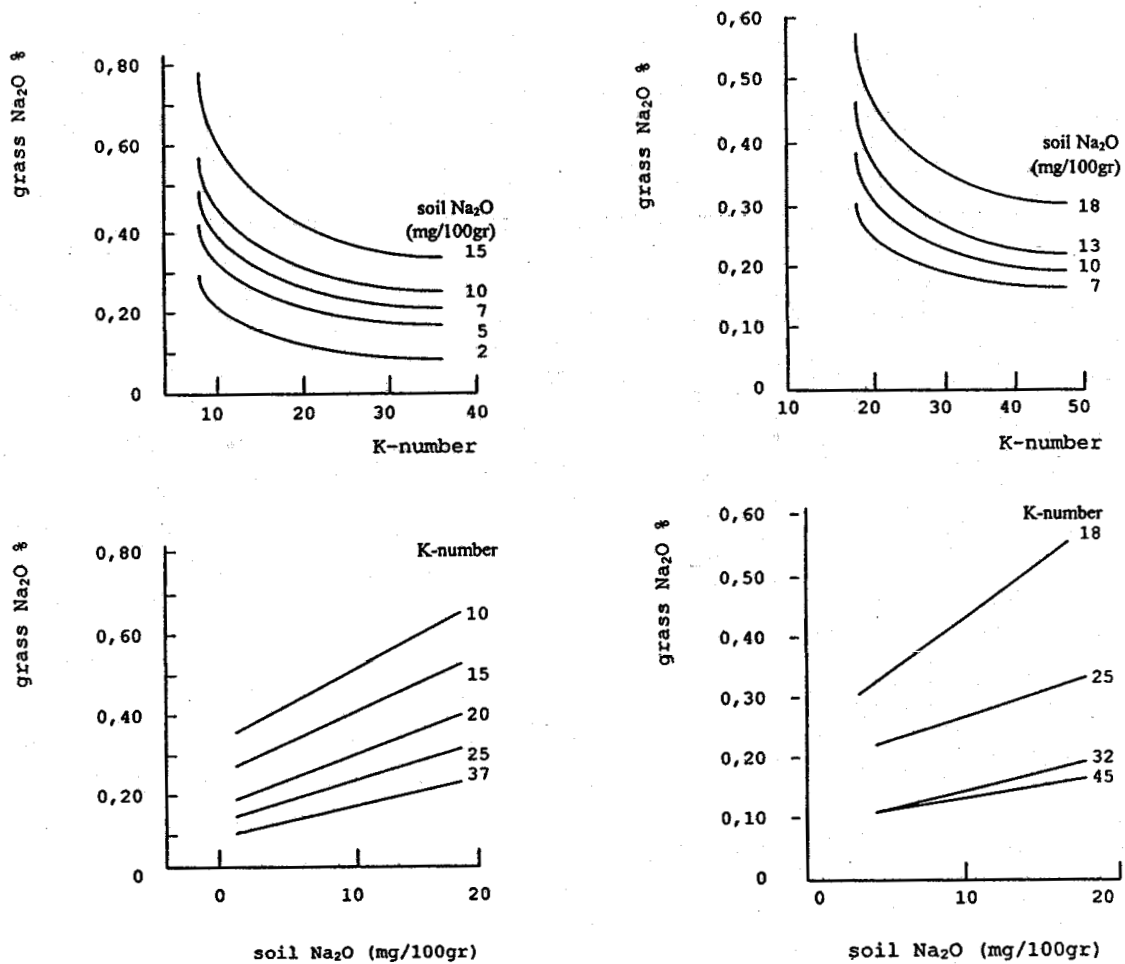
### 4.1 Algemeen

Het huidige bemestingsadvies is alleen afhankelijk van de kali- en natriumtoestand en de grondsoort. Bekend is echter dat ook andere factoren van invloed zijn op het Na-gehalte zoals het Mg-gehalte en de Mg- en N-bemesting. Voor een verbetering van het Na-advies is het gewenst ook rekening te houden met deze multi-nutriëntinteracties. Dit vergt een uniforme bepalingmethode voor bijvoorbeeld het Na-, K- en Mg-gehalte in de grond, bij voorkeur met een zwakke zoutoplossing zoals van 0.01 M CaCl<sub>2</sub>, omdat deze de zoutsterkte van het wortelmilieu het best benadert. Anderzijds is het bufferend vermogen van de grond van belang. Bij de macronutriënten gebruikt men daar de term kationuitwisselingscapaciteit (CEC, cationic exchange capacity) voor. Bepalend voor de opname van kationen door de plant is de concentratie in de bodemoplossing en de concentratie verhoudingen tussen de elementen onderling (de multi-nutriënt benadering). Als een plant kationen opneemt worden deze nageleverd door de vaste fase. De genoemde processen zijn veelal niet lineair. In de literatuur zijn relaties bekend om dit omwisselgedrag te beschrijven. Deze relaties zullen (vereenvoudigd) worden meegenomen in de statistische analyse van de experimentele proefresultaten om aldus een statistisch model te ontwikkelen dat de relatie tussen het Na-gehalte in gras en bodem- en bemestingsparameters goed beschrijft.

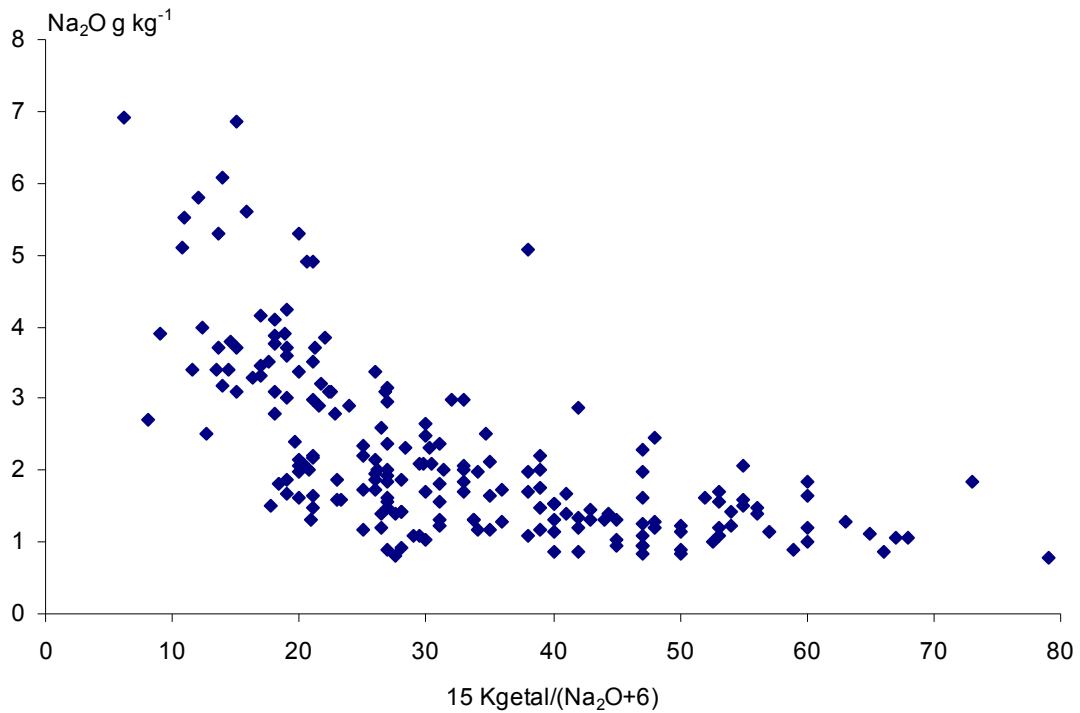
### 4.2 Het huidige Na-bemestingsadvies (1988)

In 1988 is het Na-bemestingsadvies (Henkens, 1988) voor het laatst aangepast. Het advies was grotendeels gebaseerd op werk van Oostendorp & Harmsen (1961 & 1964) en Henkens & Van Luit (1963) op basis van proeven uit de vijftiger en begin zestiger jaren. Later is dit aangevuld met berekeningen van Sluijsmans (1987) en Henkens (1987). Daarbij is ook een advies voor veengronden tot stand gekomen en zijn enkele kleine correcties voor zand en klei doorgevoerd. Voor de exacte achtergronden van het huidige advies wordt verwezen naar Henkens (1988).

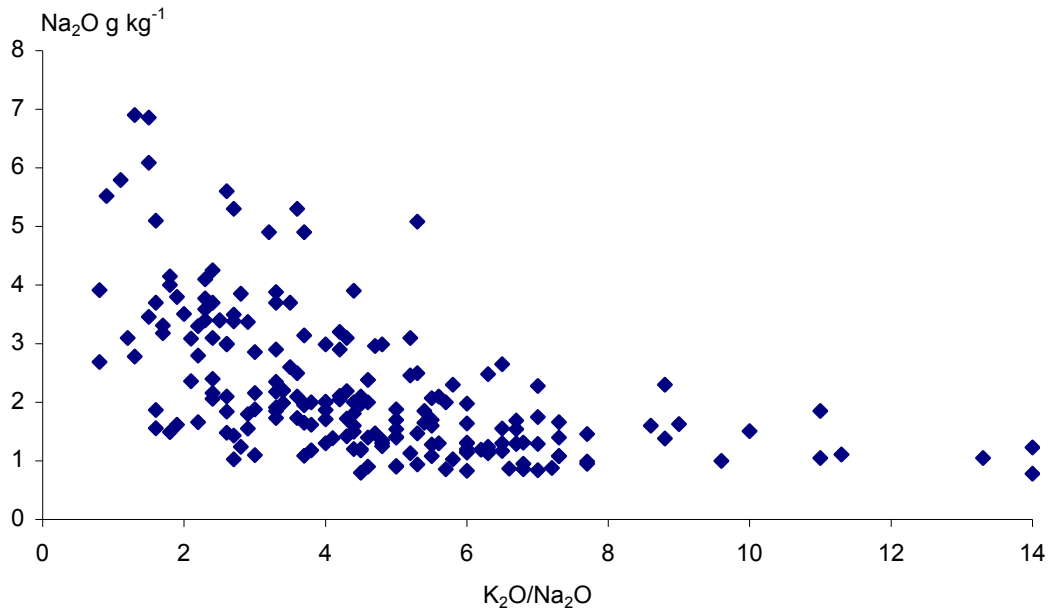
Opgemerkt moet worden dat, hoewel het advies op veel proeven is gebaseerd, er toch een enorme ruis om de tot dusver gehanteerde relaties zit. Henkens & Van Luit (1963) hebben relaties afgeleid zoals die in Figuur 4.1 zijn weergegeven. Deze relaties met de daar achterliggende meetwaarden zijn weergegeven met één formule, waarbij voor zand- en kleigrasland de relatie tussen Na<sub>2</sub>O-gehalte in gras werd weergegeven door respectievelijk  $15K_{\text{getal}}/(Na_2O+6)$  (Figuur 4.2) en  $25K_{\text{getal}}/(Na_2O+14)$ ). Deze relaties voldeden beter dan die van Oostendorp & Harmsen, waarin het Na<sub>2</sub>O-gehalte werd verklaard met behulp van de ratio tussen K<sub>2</sub>O en Na<sub>2</sub>O in de bodem (Figuur 4.3 en Figuur 4.5). Statistische analyse van het verband tussen het Na<sub>2</sub>O-gehalte van gras en het samengestelde bodemkengetal voor zand (Figuren 3.2 en 3.3) en klei (Figuren 3.4 en 3.5) leidde tot een percentage verklaarde variantie van respectievelijk 48 en 22 procent en 25 en 22 procent. Het blijkt dus dat er een grote ruis zit om het samengestelde kengetal.



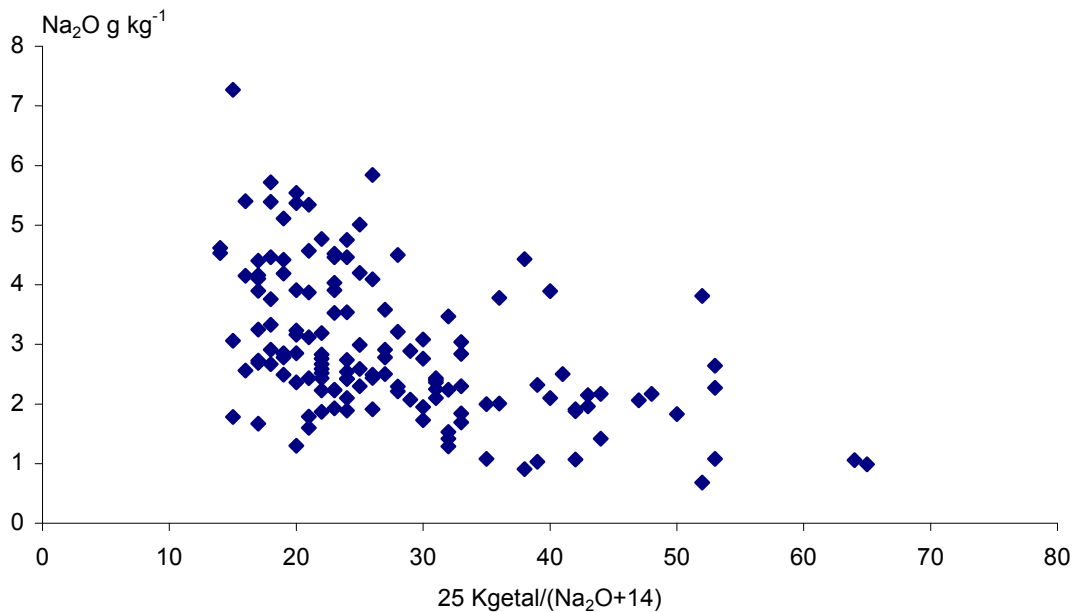
Figuur 4.1. Verband tussen het K-getal van de grond en het Na<sub>2</sub>O-gehalte van gras op zandgrond (links) en kleigrond (rechts) bij verschillende Na-gehalten van de grond (Henkens & Van Luit, 1963).



Figuur 4.2. De relatie tussen Na<sub>2</sub>O in gras op zandgrond en de bodemtoestand volgens Henkens & Van Luit (1963).

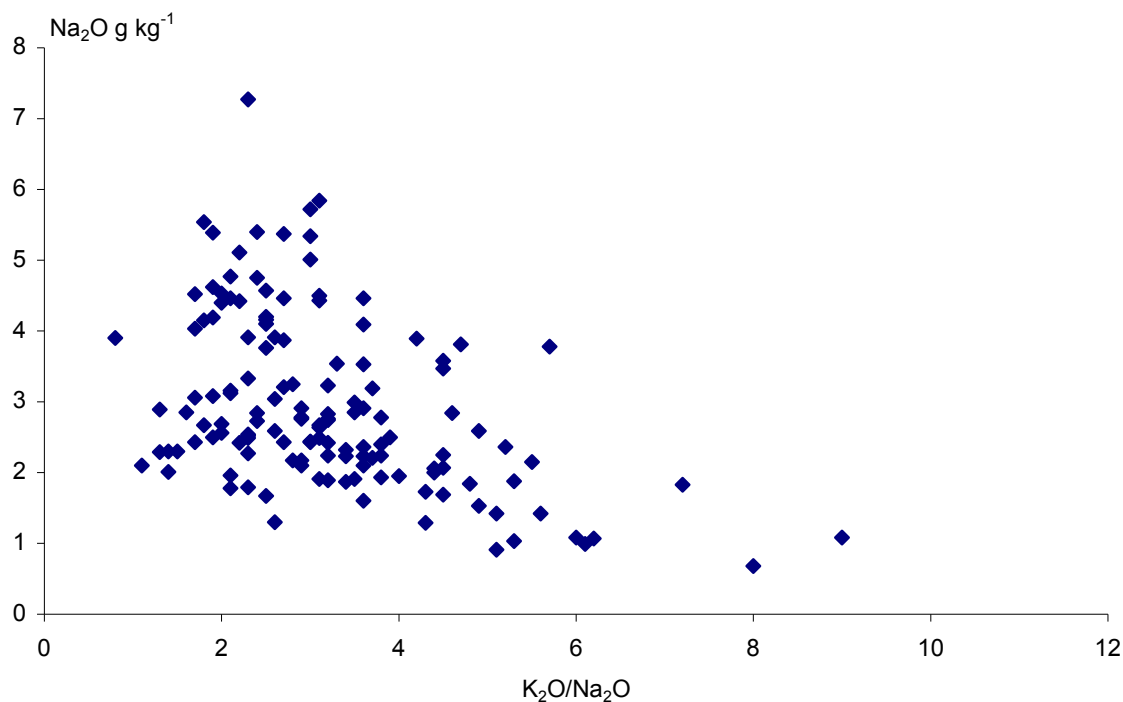


Figuur 4.3. De relatie tussen  $\text{Na}_2\text{O}$  in gras op zandgrond en de ratio tussen  $\text{K}_2\text{O}$  en  $\text{Na}_2\text{O}$  in de bodem (0- 5 cm) volgens Oostendorp & Harmsen (Henkens & Van Luit, 1963).



Figuur 4.4. De relatie tussen  $\text{Na}_2\text{O}$  in gras op kleigrond en de bodemtoestand volgens Henkens & Van Luit (1963).

De aanpassingen in 1988 hebben deze ruis niet of slechts beperkt weg kunnen nemen omdat geen rekening werd gehouden met andere factoren als niveau N-bemesting en de  $\text{MgO}$ -toestand etc. en er werd nog steeds gebruik gemaakt werd van data van Henkens & Van Luit (1963) en van Oostendorp & Harmsen (1961 & 1964). Deze data zijn in de vijftiger en begin zestiger jaren van de vorige eeuw verzameld. In die tijd verschilde het graslandmanagement sterk met de huidige situatie. De N-bemesting is nu veel hoger dan destijds, het groeiseizoen begint vroeger, er wordt gebruik gemaakt van mestplaatsingstechnieken; de bovengrond is homogener geworden (als gevolg van bijvoorbeeld graslandvernieuwing en mestplaatsing), waardoor de bemonsteringsdiepte niet langer 0-5 cm bedraagt



Figuur 4.5. De relatie tussen  $\text{Na}_2\text{O}$  in gras op kleigrond en de ratio tussen  $\text{K}_2\text{O}$  en  $\text{Na}_2\text{O}$  in de bodem (0-5 cm) volgens Oostendorp & Harmsen (Henkens & Van Luit, 1963).

maar een aantal jaren geleden gewijzigd is in 0-10 cm. Om deze redenen is het gewenst om het huidige Na-bemestingsadvies te herzien en daarbij gebruik te maken van recente gegevens en ook rekening te houden met andere parameters (N-, K-, Na- en Mg-bemesting en de N- en Mg-toestand) dan alleen de bodemkengetallen voor K en Na.

#### 4.3 Na-advies op andere grondslag: de multi-nutriënt benadering

Een belangrijke omissie in het bemestingsonderzoek in zijn algemeenheid is dat er tot nu toe vooral 'single'-nutriënt adviezen zijn. Dit wil zeggen dat de interpretatie van het bodemkengetal voor een nutriënt onafhankelijk is van het niveau/beschikbaarheid van andere nutriënten, terwijl algemeen bekend is dat bijvoorbeeld de opname van Na door een gewas niet alleen door K (zoals nu het geval is) maar ook door de overige kationen en anionen in de bodemoplossing en door de stikstofvoorziening wordt bepaald. Hetzelfde geldt vice versa ook voor Mg en andere nutriënten. Multi-nutriënt extractie maakt het mogelijk om elementen in hun onderlinge samenhang te bezien (Van Erp, 2002). Het belang neemt nog toe nu bijvoorbeeld de bemesting met stikstof en fosfaat terugloopt (zie ook Tabel 3.2).

Regressierelaties, zoals beschreven in Tabel 5.4 uit De Boer et al. (2003), waarbij het Na-gehalte afhankelijk is van Na-toestand, K-getal, de cumulatieve N-bemesting, Na-bemesting en K-bemesting en het organischestofgehalte kunnen in principe gebruikt worden om een multi-nutriënt bemestingsadvies voor Na te genereren. Via grondonderzoek zijn van een perceel immers het humusgehalte, het K-getal en de Na-toestand bekend. Indien bekend is welk niveau van N- en K-bemesting een gebruiker wil toepassen is direct te berekenen hoeveel Na via bemesting gegeven dient te worden om een bepaald gehalte in het gewas te bereiken. (Overigens zijn de in Tabel 54 en 55 beschreven relaties in De Boer et al. (2003) minder geschikt, omdat deze zijn ontwikkeld om aan te tonen dat grondbemonstering van de laag 0-10 cm minstens een evengoed of een beter verband heeft met de gewasrespons dan

bemonstering op 0-5 cm diepte. Er zou dan eerst een aanvullende analyse moeten plaatsvinden of nog meer factoren van invloed zijn op het Na-gehalte.) Een probleem daarbij is dat het bemestingsadvies in de "Bemestingsadvies basis" (Anonymus, 2002):

- op verschillende extractiemethodieken berust; en
- dat soms vrij agressieve extractiemiddelen worden gebruikt (Van Erp, 2002).

Dit maakt het moeilijk om interacties tussen bodemparameters goed te kunnen interpreteren. Het K- en Na-gehalte wordt volgens de Bemestingsadviesbasis in hetzelfde extract (0,1 M HCl + 0,2 M oxaalzuur) gemeten, maar daarentegen wordt Mg in 0,5 M NaCl gemeten en bijvoorbeeld de pH in 1 M KCl. Van Erp (2002) bespreekt in zijn proefschrift uitgebreid de tekortkomingen van het huidige grondonderzoek en geeft aan dat extractie bij voorkeur dient te gebeuren met een extractant dat lijkt op de bodemoplossing, zoals met de zwakke zoutoplossing 0,01 M CaCl<sub>2</sub>. Houba et al. (2000) hebben analyseprotocollen ontwikkeld voor extractie met 0,01 M CaCl<sub>2</sub> voor vrijwel alle elementen, met uitzondering van enkele spoorelementen zoals Se. Het grote voordeel van extractie met een zwakke zoutoplossing is dat de resultaten bodemchemisch beter te interpreteren zijn, zoals bijvoorbeeld ook blijkt voor Na-, K- en Mg-interactie in grond (Van Erp, 2002). Hierdoor zijn minder proeven nodig om betere adviezen te ontwikkelen. Ook in dit onderzoek zijn Na, Mg en K juist in het zwakke extract 0,01 M CaCl<sub>2</sub> bepaald om daarmee multi-nutriënt adviezen mogelijk te maken. Niet alleen macronutriënten maar ook micronutriënten kunnen op deze wijze worden bepaald en bodemchemisch worden geïnterpreteerd (Bussink & Temminghoff, 2004).

Het bufferend vermogen van gronden voor kationen speelt daarbij een belangrijke rol bij het ontwikkelen van multi-nutriënt gebaseerde adviezen, vooral als het gaat om K en Mg. Bij de macronutriënten gebruikt men daar de term kationuitwisselingscapaciteit (CEC, cationic exchange capacity) voor. Bepalend voor de opname van kationen door de plant is de concentratie in de bodemoplossing en de concentratie verhoudingen tussen de elementen onderling. Als een plant kationen opneemt worden deze nageleverd door de vaste fase. De genoemde processen zijn veelal niet lineair. Om op basis van de meetdata een statistisch model te kunnen ontwikkelen dient bekend te zijn hoe men deze relaties zou kunnen beschrijven. In het navolgende wordt hier verder op ingegaan.

Meer informatie over de mogelijkheden van multi-nutriënt extractie is te vinden in het proefschrift van Van Erp (2002).

#### 4.4 CEC en omwisselgedrag van kationen

De CEC geeft aan hoeveel kationen worden vastgehouden door negatief geladen bodemdeeltjes. In de bodem dragen drie groepen bij aan het niveau van de CEC:

- Kleimineralen. Kleimineralen bestaan uit zeer dunne (microscopisch kleine) plaatvormige kristallen. Aan de boven- en onderzijde zijn deze negatief geladen en daardoor kunnen ze kationen vasthouden. Aan de randen zijn ze positief geladen en kunnen ze anionen vasthouden.
- Organische stof. Bij organische stof zorgt dissociatie van COOH en OH verbindingen voor de negatieve lading.
- De aanwezigheid van oxiden (Fe en Al).

De hoeveelheid en het soort kleimineraal en de hoeveelheid organische stof bepalen hoofdzakelijk de CEC. Daarnaast heeft de pH van de bodem en de zoutsterkte invloed op het niveau van de CEC.

Naast de CEC is er ook een AEC (anionenuitwisselingscapaciteit). Beide komen gelijktijdig voor. De AEC is in de regel veel kleiner dan de CEC. In het navolgende wordt dieper ingegaan op de materie.

### Oorzaak lading

Wat is de oorzaak van lading deeltjes in de bodem? Bij kleideeltjes wordt de lading veroorzaakt door onvolkomenheden in het binnenste van de kristalstructuur (isomorfe substitutie van kationen met een gelijkwaardige of lagere lading binnen de tetraëders of octaëders van een kleiplaatje) of door preferente adsorptie van bepaalde ionen aan de randen van kleideeltjes. Bij organische stof in de bodem ontstaat de negatieve lading doordat er protonen dissociëren van carboxyl- en hydroxylgroepen (bij hogere pH meer dissociatie en dus een hogere CEC). Bij de oxidedeeltjes (Fe, Al en Mn) staan de O-, OH- of OH<sub>2</sub>-groepen aan de buitenkant in contact met de bodemoplossing. Afhankelijk van de H<sup>+</sup>-concentratie in de bodemoplossing adsorberen ze protonen waardoor het oxide een positieve lading krijgt (bij lage pH), of dissociëren ze protonen (bij hoge pH) waardoor het oxide een negatieve lading krijgt. Dus bij lage pH (hoge H<sup>+</sup>-concentratie) zal de CEC relatief geringer zijn dan bij hogere pH's. Om deze reden ligt het voor de hand om de pH als belangrijke verklarende factor op te nemen in het te ontwikkelen statistisch model.

### Affiniteit

In de vloeistoflaag rondom geladen vaste deeltjes worden de ionen enerzijds aangetrokken door het geladen oppervlak, anderzijds hebben de ionen de neiging zich regelmatig over de vloeistoflaag te verdelen (diffusie). Daardoor zijn de ionen relatief sterk geconcentreerd dicht bij het adsorberende oppervlak. Het geladen, adsorberende oppervlak met daartegen de diffuse wolk van tegengesteld geladen ionen wordt de diffuse (elektrische) dubbellaag (Gouy-Chapman layer) genoemd.

Ruwweg neemt de affiniteit voor adsorptie van bepaalde groepen ionen af zoals hieronder is weergegeven

- Cs<sup>+</sup> > Rb<sup>+</sup> > K<sup>+</sup> > Na<sup>+</sup> > Li<sup>+</sup>
- Ba<sup>2+</sup> > Sr<sup>+</sup> > Ca<sup>2+</sup> > Mg<sup>2+</sup>
- Hg<sup>2+</sup> > Cd<sup>2+</sup> > Zn<sup>2+</sup>

Tweewaardige ionen worden sterker geadsorbeerd dan eenwaardige. Driewaardige (Al<sup>3+</sup>) ionen worden nog veel sterker geadsorbeerd. Zwaardere elementen en/of een hogere lading van het element leiden tot een kleinere ionradius. Hoe kleiner de ionen, hoe dichter ze bij het geladen oppervlak kunnen komen. Overigens hebben kationen als Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> en Zn<sup>2+</sup> ruwweg dezelfde voorkeur voor binding. Voor de transitie-metalen geldt een iets andere volgorde: Cu<sup>2+</sup> > Ni<sup>2+</sup> > Co<sup>2+</sup> Fe<sup>2+</sup> > Mn<sup>2+</sup>. Hier is het niet alleen de ionradius die bepalend is.

### Het omwisselproces

Er vindt uitwisseling plaats tussen de geadsorbeerde kationen en de kationen in oplossing.

Ionenomwisseling vindt plaats bij iedere kwalitatieve of kwantitatieve verandering van het bodemvocht, bijvoorbeeld als gevolg van neerslag, verdamping, bemesting en wortelactiviteit.

Voor het beschrijven van de omwisseling van kationen (anionen) zijn verschillende relaties ontwikkeld zoals, de Gaines-Thomas, Gapon, Vanselow en Tothmund-Kornfeld vergelijking (Bolt, 1982). De Gapon vergelijking is een vrij praktische relatie die veel toegepast wordt voor het beschrijven van omwisseling tussen 1 en 2 waardige ionen. De Gaines-Thomas vergelijking is theoretisch beter onderbouwd.

De Gaponvergelijking voor de omwisseling tussen twee kationen X<sup>m+</sup> en Y<sup>n+</sup> wordt gegeven door:

$$(K_{\text{gapon}})_{AB} = \frac{N_A [X^{m+}]^{1/m}}{N_B [Y^{n+}]^{1/n}}$$

De Gaines-Thomasvergelijking voor omwisseling tussen twee kationen  $X^{m+}$  en  $Y^{n+}$  wordt gegeven door:

$$(K_{GT})_{AB} = \frac{N_A [X^{m+}]^m}{N_B [Y^{n+}]^n}$$

Hierin zijn:

- $N_A$  en  $N_B$  de equivalentfracties van kation X resp. Y aan het complex,
- $[X^{m+}]$  en  $[Y^{n+}]$  is de concentratie of de activiteit van X resp. Y in de bodemoplossing en
- $(K_{gapon})_{AB}$  en  $(K_{GT})_{AB}$  zijn de omwisselconstanten.

De Gaponvergelijking zegt dat de verhouding waarin twee ionen geadsorbeerd zijn, gelijk is aan de verhouding van de concentratie (beter de activiteit) van die ionen in de bodemoplossing vermenigvuldigd met de omwisselconstante (selectiviteitscoëfficiënt). Hoe hoger  $(K_{gapon})_{AB}$  is hoe groter de voorkeur van het adsorberende materiaal voor het ion in de noemer, in dit geval A.

Als voorbeeld de omwisseling van K tegen Calcium

$$(K_{gapon})_{K/Ca} = \frac{N_K (K^+)}{N_{Ca} (Ca^{2+})^{1/2}}$$

In de praktijk wordt vaak concentratie gebruikt in plaats van activiteit. In Bolt (1982) is een overzicht gegeven van omwisselconstanten zoals die gemeten zijn in de literatuur voor 1980 (Er zijn diverse modellen waarmee chemische speciatie in de bodem is uit te rekenen c.q. te benaderen is.)

#### Globale benadering omwisselgedrag kationen in statistisch model.

De constanten genoemd in Bolt (1982) kunnen we niet zonder meer gebruiken omdat we enerzijds met diverse gronden te maken hebben en anderzijds de omwisselconstanten in Bolt vastgesteld zijn onder goed gedefinieerde omstandigheden. De "omwisselconstanten" worden geschat in het te ontwikkelen model. Naar analogie met de Gaponomwisseling zijn de volgende hulpvariabelen meegenomen in de statistische analyse van een uitgebreide gegevensset (zie H5):

- $KM_{grat} = (KPAE/39,098)/(2*(MgPAE/24,305)**0,5)$  vgl. (1)
- $Na_{Krat} = (NaPAE/22,99)/(KPAE/39,098)$  vgl. (2)
- $NaKM_{grat} = (NaPAE/22,99)/KM_{grat}$  vgl. (3)

In deze hulpvariabelen zijn KPAE, NaPAE en MgPAE de analysecijfers in grondonderzoek ( $mg\ kg^{-1}$ ) voor K, Na en Mg. Deze worden gedeeld door de molmassa zodat de 3 hulpvariabelen nu de eenheid  $mmol\ kg^{-1}$  hebben.

## 5 Statische analyse

(auteurs: D.W. Bussink en R.B. Bakker)

### 5.1 De data

Vooronderzoek gaf aan dat de detailproef en de monitoringset kunnen worden samengevoegd. In totaal zijn op die manier 825 records met grondanalyse-, bemestings- en gewasanalysegegevens beschikbaar. De dataset is niet volledig. Dat wil zeggen er zijn missende waarnemingen voor zowel bemestings-, grondonderzoek als gewasanalyse gegevens. Naarmate het te ontwikkelen model meer modeltermen bevat zullen er minder records bij de feitelijke analyse betrokken zijn.

Tabel 5.1. Het totaal aantal percelen over de periode 1999-2008.

Grond	1999	2000	2001	2002	2005	2006	2007	2008	Totaal
10	38	3	22	15	63	175	113	32	461
20	21	2	2	1	45	80	14	0	165
40	19	0	0	0	1	23	21	8	72
45	0	0	0	0	0	0	4	4	8
50	0	0	0	0	0	0	8	2	10
60	25	2	4	0	0	25	10	15	81
62	0	0	0	0	0	0	5	3	8
71	3	0	0	0	0	15	0	2	20
87	6	0	2	0	0	0	0	0	8
	112	7	30	16	109	318	175	66	<b>833</b>

### 5.2 De opzet van de statische analyse

Getracht is het Na-gehalte in het gras te verklaren uit vooral bodem- en bemestingparameters. Gezien de bandbreedte aan Na-gehalten is een logtransformatie toegepast.

Wanneer er een “designed” experiment uitvoert, bijvoorbeeld een split-plot blokkenproef en meerdere jaren achtereen met dezelfde opzet op dezelfde plek kan variantie analyse met de procedure ANOVA (Genstat, 1993) worden uitgevoerd. In dat geval kan bij ANOVA worden opgegeven:

BLOCKSTRUCTURE BLOK / PLOT / SUBPLOT / JAAR

Bij de overall analyse van de data is geen sprake van een designed experiment. Zowel monitoring gegevens van diverse locaties als de praktijkproeven van 2005 en 2006 met meerdere behandelingen per locatie zijn samengevoegd. In dat geval kan het directive REML (residual maximum likelihood) (Genstat 5 Committee, 1993) worden gebruikt. REML schat de behandelingseffecten en de variantiecomponenten in een lineair gemengd model. Dat wil zeggen een model met zowel vaste effecten als random effecten. Bij random effecten kan gedacht worden aan proefjaar, percelen op verschillende locaties etc. REML is bruikbaar in situaties waar normaal gesproken ANOVA wordt gebruikt maar waar de dataset niet gebalanceerd is of er waar sprake is van gecorreleerde data, of indien normaal lineaire regressie zou worden gebruikt, maar waar nu sprake is van meer dan een bron

van variantie of correlatie in de data. Het laatste is hier het geval, waardoor lineaire regressie niet kan. Gezien de opbouw van de dataset, waarbij een perceel soms meerdere jaren voorkomt, het aantal waarnemingen per jaar en perceel niet altijd gelijk is, er locaties zijn met daarbinnen één of meerdere percelen en dat er binnen een locatie varianties van jaar tot jaar kunnen, is als randomterm gekozen:  $RANDOM = \text{klantnummer} / \text{Perceel} + \text{klantnummer} \cdot \text{Jaar}$

met

Klantnummer = identificatie kenmerk voor de locatie.  
 Perceel = identificatie kenmerk voor perceel. Per locatie kunnen soms meerdere percelen aanwezig zijn.  
 Jaar = jaar van de proef. Op sommige locaties komen meer jaren voor in de gegevensreeks.

Dit is de beste keuze omdat daarmee aangegeven wordt dat er klanten zijn met daarbinnen één of meerdere percelen en binnen een klantnummer er varianties van jaar tot jaar kunnen zijn. Bekend is dat het Na-gehalte sterk beïnvloed wordt door de stikstofopname. Bij de analyse is daarom zowel een model gemaakt met het Ruw-eiwitgehalte van het gras als verklarende term (model 1) als wel een model met NLV (model 2) als verklarende term. Dit is mede gedaan vanwege het feit dat in de beschikbare dataset lang niet altijd het NLV is vastgesteld, en daardoor het aantal records voor de ontwikkeling van model 2 12% lager lag.

### 5.3 *Het analyseresultaat*

Het fixed model 1 voor "In (Natrium in gras)" bevat de volgende parameters:

$FIXED = \text{Constant} + \text{Ruw\_eiwit} + \text{Ntot} + \text{pH} + \text{K}_2\text{Odm} + \text{K}_2\text{Okm} + \text{Na}_2\text{Odm} + \text{Na}_2\text{Okm} + \text{NaKrat} + \text{NaKMgrat} + \text{Na}_2\text{Odm} \cdot \text{NaKMgrat} + \text{Na}_2\text{Okm} \cdot \text{NaKMgrat} + \text{NaKrat} \cdot \text{NaKMgrat} + \text{Ruw\_eiwit} \cdot \text{Ntot}$  **vgl. (4)**

Model 1 bestaat uit 8 hoofdtermen en 2 samengestelde termen en 4 interactietermen.

Ruw\_eiwit = het gehalte aan ruw-eiwit in het geogste gras  
 Ntot = de werkzame stikstofbemesting ( $\text{kg N ha}^{-1}$ )  
 pH = de zuurgraad van de grond  
 $\text{K}_2\text{Odm}$  = de K-bemesting met dierlijke mest ( $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ )  
 $\text{K}_2\text{Okm}$  = de K-bemesting met kunstmest ( $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ )  
 $\text{MgOdm}$  = de MgO-bemesting met dierlijke mest ( $\text{kg MgO ha}^{-1}$ )  
 $\text{Na}_2\text{Odm}$  = de  $\text{Na}_2\text{O}$ -gift met dierlijke mest ( $\text{kg Na}_2\text{O ha}^{-1}$ )  
 $\text{Na}_2\text{Okm}$  = de  $\text{Na}_2\text{O}$ -gift met dierlijke mest ( $\text{kg Na}_2\text{O ha}^{-1}$ )  
 NaKrat = samengestelde variabele zie 2  
 NaKMgrat = samengestelde variabele zie 3 en 1

De random componenten waren significant.

Random term	component	s.e.
klantnummer	0,04634	0,02547
klantnummer. Perceel	0,10839	0,01095
klantnummer. Jaar	0,09343	0,02308
residual	0,0289	0,00292

Van de initiële 833 records bleken 738 complete records aanwezig (met een waarde voor de betreffende modelparameter) voor dit model. Het percentage verklaarde variantie van dit model (vergelijking 4), na verwijdering van 21 uitbijters (n= 717) bedraagt 67% (Deze is geschat als  $100 \cdot (1 - (\text{residual model}) / (\text{residual leeg model}))$ ). De standard error (se) van  $\ln(\text{Natrium in gras})$  bedroeg 0,107. Indien de modeltermen in vergelijking 4 met lineaire regressie zouden zijn geschat (wat feitelijk niet juist is) dan is het percentage verklaarde variantie ongeveer vergelijkbaar (62%), maar is de se een factor 4 hoger (0.438). (De bijdrage van de parameters aan het verklarend model is wel anders, maar dat terzijde). Toepassing van de procedure REML leidt dus tot een betere schatting van de invloed zijnde doordat het effect van "omgevingsfactoren" is weggenomen.

#### Toelichting op de modeltermen

Alle modeltermen (Tabel 5.2) zijn sterk significant met uitzondering van de K-bemesting met dierlijke mest. De bemesting met magnesium via kunstmest is niet significant. Dit kan als oorzaak hebben het gering aantal keren dat er MgO-bemesting plaatsvond, waardoor het effect van magnesium niet goed meegenomen kan worden. De verdeling over de jaren van de individuele veldjes is in Tabel 5.3 weergegeven. Ruweiwit is een gewassenmerk. Er is bewust voor gekozen om deze als co-variabele mee te nemen. De Na-opname hangt namelijk sterk af van de stikstofopname. De meest zuivere schatter hiervoor is het ruweiwit gehalte in gras. Door het opnemen van Ruw-eiwit is NLV niet langer significant. De werkzame Ngift is wel significant. Meer stikstof verhoogt het Na-gehalte. Er is een

Tabel 5.2. Het regressiemodel voor  $\log(\text{Na-gehalte})$  1<sup>e</sup> snede gras.

Modeltermen	richtingscoëfficiënt	se	p*
Constant	-0,4995	0,28305	
Ruw_eiwit	0,008182	0,0011467	<0,001
Ntot	0,01545	0,001842	<0,001
pH	-0,2005	0,03507	<0,001
K <sub>2</sub> O <sub>dm</sub>	-0,001155	0,0006124	0,06
K <sub>2</sub> O <sub>km</sub>	-0,001743	0,003674	<0,001
MgO <sub>dm</sub>	-0,008761	0,0033431	0,009
Na <sub>2</sub> O <sub>dm</sub>	0,01977	0,007112	0,006
Na <sub>2</sub> O <sub>km</sub>	0,01013	0,000862	<0,001
NaKrat	1,303	0,1749	<0,001
NaKMgrat	-0,08247	0,024843	<0,001
Na <sub>2</sub> O <sub>dm</sub> . NaKMgrat	-0,0008042	0,00034306	0,019
Na <sub>2</sub> O <sub>km</sub> . NaKMgrat	-0,0006735	0,000142	<0,001
NaKrat . NaKMgrat	-0,004448	0,001787	0,013
Ruw_eiwit . Ntot	-0,000064	1,0539E-05	<0,001

\* de significantie van een modelterm bij weglaten uit het volledige model.

negatieve interactie tussen ruweiwit en stikstofgift. Bij ruweiwitgehalten boven de 241 g kg<sup>-1</sup> ds leidt dit er toe dat het Na-gehalte daalt bij een hogere N-bemesting (het ruweiwitgehalte van gras blijft hier meestal duidelijk onder). Een hogere pH leidt tot een iets lager Na-gehalte. Mogelijk is dit het gevolg van meer Ca in de bodemoplossing (wordt niet gemeten) hetgeen leidt tot een geringere opname van Na.

De bijdrage van de bodem zit in de termen NaKrat, NaKMgrat en NaKrat . NaKMgrat. Naarmate KPAE lager is neemt NaKrat toe en leidt dit tot een hoger Na-gehalte in gras. Naarmate MgPAE lager is daalt

NaKMgrat. De laatste term heeft een min-teken in Tabel 5.2 met als gevolg dat het Na-gehalte stijgt bij een dalend MgPAE-gehalte. Het beste kunnen deze termen gezamenlijk worden beschouwd

Tabel 5.3. Het totaal aantal individuele veldjes in de eindanalyse over de periode 1999-2008.

Grond	1999	2000	2001	2002	2005	2006	2007	2008	Totaal
10	36	3	22	14	61	145	102	29	376
20	21	2	2	1	43	56	6	0	110
40	19	0	0	0	1	22	20	5	48
45	0	0	0	0	0	0	3	0	3
50	0	0	0	0	0	0	0	2	2
60	25	2	4	0	0	17	7	13	43
62	0	0	0	0	0	0	5	3	8
71	3	0	0	0	0	13	0	2	15
87	6	0	2	0	0	0	0	0	2
	110	7	30	15	105	253	143	54	717

(Tabel 5.4). Een stijgend KPAE-gehalte leidt dan tot een lager Na-gehalte in gras (vergelijk rij 1 en rij 3). Een stijgend MgPAE-gehalte leidt dan tot een lager Na-gehalte (vergelijk rij 1 en rij 2). Een stijgend NaPAE-gehalte leidt dan tot een hoger Na-gehalte (vergelijk rij 1 en rij 5).

CEC bleek bij aanwezigheid van de termen NaKrat, NaKMgrat en NaKrat . NaKMgrat geen significante invloed meer te hebben. De bijdrage van de buffercapaciteit is kennelijk al ingebed in deze parameters. Daarnaast bleek uit andere data (niet bijgevoegd) dat er een redelijk correlatie bestaat tussen Na-PAE en de Na-bezetting aan het adsorptiecomplex.

Bemesting met K onderdrukt het Na-gehalte in gras. Daarbij bedraagt het effect van werkzame  $K_2O$  (75 % van totaal  $K_2O$  via dierlijke mest) gegeven met de dierlijke mest 66% van die gegeven met kunstmest (vergelijk de richtingscoëfficiënten in Tabel 5.2). Hierin komt tot uiting dat K met mest veelal via zodebemesting is toegediend, waardoor de werking op het Na-lager is dan van K verstrekt via kunstmest (dus 50% van totaal  $K_2O$  via dierlijke mest in vergelijking tot  $K_2O$  via kunstmest). Bemesting met  $Na_2O$  verhoogt het Na-gehalte van gras. Daarbij werkt dierlijke mest effectiever dan kunstmest, dit in tegenstelling tot  $K_2O$ . Mogelijk is dit het gevolg van het feit dat dierlijke mest eerder is toegediend dan Na via kunstmest en het feit dat Na zeer mobiel is (en zich dus goed verspreid na mesttoediening) en ook minder goed wordt geadsorbeerd door bodemdeeltjes in vergelijking tot kalium (er blijft relatief veel in de bodemoplossing aanwezig). Het effect van Na-bemesting hangt van de bodemtoestand voor Na, K en Mg. Dit komt tot uitdrukking in de modelterm  $Na_2Odm.NaKMgrat$  en  $Na_2Okm.NaKMgrat$ . Naarmate NaKMgrat hoger is daalt het Na-gehalte in gras.

Tabel 5.4. Illustratie van het effect van NaPAE, KPAE en MgPAE op de verandering van log (Na-gehalte in gras).

Rij	NaPAE	KPAE	MgPAE	NaKrat	NaKMgrat	NaKrat.NaKMgrat	Netto effect op log (Na-gehalte)
1	2	10	100	0,340	1,380	0,469	0,327
2	2	10	400	0,340	2,760	0,939	0,211
3	2	20	100	0,170	0,690	0,117	0,164
4	2	20	400	0,170	1,380	0,235	0,107
5	4	10	100	0,680	2,760	1,877	0,650

---

6	4	10	400	0,680	5,519	3,755	0,414
---	---	----	-----	-------	-------	-------	-------

Verhoging van het Mg-gehalte (vergelijk rij 1 en rij 2 in Tabel 5.4) leidt tot een minder sterke daling van het Na-gehalte dan bij K (vergelijk rij 1 en rij 3 in Tabel 5.4). Naarmate het Na-gehalte hoger is heeft verhoging van het Mg-gehalte een sterker onderdrukkend effect op het Na-gehalte in gras (vergelijk rij 1 en rij 2 met rij 5 en rij 6 in Tabel 5.4).

#### 5.4 Het analyseresultaat model 2

Het fixed model 2 voor "ln (Natrium in gras)" bevat de volgende parameters:

$$\text{FIXED} = \text{Constant} + \text{NLV} + \text{Ntot} + \text{pH} + \text{K}_2\text{Okm} + \text{MgOdm} + \text{Na}_2\text{Odm} + \text{Na}_2\text{Okm} + \text{NaKrat} + \text{NaKMgrat} + \text{Na}_2\text{Okm} \cdot \text{NaKMgrat} + \text{NaKrat} \cdot \text{NaKMgrat} + \text{NLV} \cdot \text{Ntot} \quad \text{vgl. (5)}$$

Tabel 5.5 Het regressiemodel voor log(Na-gehalte) 1<sup>e</sup> snede gras (n=633).

Modeltermen	richtingscoëfficiënt	se	p*
constant	0,4121	0,26913	
NLV	0,002804	0,0009662	0,004
Ntot	0,009040	0,0014787	<0,001
pH	-0,2062	0,03765	<0,001
K <sub>2</sub> Okm	-0,001852	0,003778	<0,001
MgOdm	-0,009999	0,0037474	0,008
Na <sub>2</sub> Odm	0,01058	0,007215	0,143
Na <sub>2</sub> Okm	0,01055	0,000882	<0,001
NaKrat	1,378	0,1928	<0,001
NaKMgrat	-0,1037	0,02689	<0,001
Na <sub>2</sub> Okm . NaKMgrat	-0,0006441	0,00014578	<0,001
NaKrat . NaKMgrat	-0,005085	0,0019989	0,011
NLV . Ntot	-0,00002007	8,4379E-06	0,018

\* de significantie van een modelterm bij weglaten uit het volledige model.

De random componenten waren significant.

Random term	component	s.e.
klantnummer	0,03469	0,02598
klantnummer. Perceel	0,12088	0,01285
klantnummer .Jaar	0,08711	0,02531
residual	0,0298	0,00320

Het percentage verklaarde variantie van dit model (vergelijking 5), na verwijdering van 22 uitbijters (n= 633), bedraagt 68% (Deze is geschat als  $100 \cdot (1 - (\text{residual model}) / (\text{residual leeg model}))$ ). De standard error (se) van ln(Natrium in gras) bedroeg 0,106. Indien de modeltermen in vergelijking 5 met lineaire regressie zouden zijn geschat dan is het percentage verklaarde variantie lager (54%), maar is de se een factor 4 hoger (0.456). Toepassing van de procedure REML leidt dus tot een betere schatting van de invloed zijnde doordat het effect van "omgevingsfactoren" is weggenomen.

Model 2 heeft minder parameters dan model 1. Opvallend daarbij is dat de bijdrage van K<sub>2</sub>O uit dunne mest niet meer significant is in model 2. Dit kan het gevolg zijn van een geringe variantie in de toegediende hoeveelheid dierlijke mest. Verder is er nu nog maar een zwakke bijdrage van Na<sub>2</sub>O uit dunne mest aan de verklaring van het Na-gehalte in gras, mogelijk ook vanwege een beperkte variantie

in Na-giften via dierlijke mest. Ter vergelijking is vergelijking 4 (model 1) toegepast op dezelfde datarecords als die van model 2 (n=633). Dan blijkt  $K_2O$  uit dunne mest eveneens niet langer significant te zijn en is er nog maar een zwakke bijdrage van  $Na_2O$ . Mede om deze redenen wordt model 1 (n=717) als vertrekpunt genomen en in het navolgende nader toegelicht, ook met betrekking tot het ontwikkelen van een nieuw Na- bemestingsadvies.

## 6 Discussie Na-bemestingsadvies

(auteurs: D.W. Bussink en R.B. Bakker)

### 6.1 Modevaluatie

Een vraag is hoe het nieuwe advies op basis van model 1 zich verhoudt tot de Bemestingsadviesbasis (Anonymus, 2002). Daartoe is een separate set analyseresultaten van zandgrasland geselecteerd (verkregen via Blgg). Voor deze monsters is per monster uitgerekend wat het Na-advies is gebruik makend van de Bemestingsadviesbasis. Gemiddeld bleek dit  $45 \text{ kg Na}_2\text{O ha}^{-1}$  te bedragen. Vervolgens is het nieuwe advies berekend gebruik door vergelijking 4:

$$\ln(\text{Na-gehalte}) = \text{Constant} + \text{Ruw\_eiwit} + \text{Ntot} + \text{pH} + \text{K}_2\text{Otot} + \text{Na}_2\text{Odm} + \text{Na}_2\text{Okm} + \text{NaKrat} + \text{NaKMgrat} + \text{Na}_2\text{Odm} \cdot \text{NaKMgrat} + \text{Na}_2\text{Okm} \cdot \text{NaKMgrat} + \text{NaKrat} \cdot \text{NaKMgrat} + \text{Ruw\_eiwit} \cdot \text{Ntot}$$

om te schrijven tot:

$$\text{Na}_2\text{Okm} = (\ln(\text{Na-gehalte}) - \text{Constant} - \text{Ruw\_eiwit} - \text{Ntot} - \text{pH} - \text{K}_2\text{Otot} - \text{Na}_2\text{Odm} - \text{NaKrat} - \text{NaKMgrat} - \text{Na}_2\text{Odm} \cdot \text{NaKMgrat} - \text{NaKrat} \cdot \text{NaKMgrat} - \text{Ruw\_eiwit} \cdot \text{Ntot}) / (\text{NaKMgrat} + 1)$$

**vgl. (6)**

(de richtingscoëfficiënten van de modeltermen zijn voor de eenvoud weggelaten in vgl. 6)

Op deze manier is de benodigde aanvullende  $\text{Na}_2\text{O}$ -gift uit kunstmest nu een functie van het gewenste Na-gehalte in gras en van bodem- en bemestingsparameters. De op deze wijze berekende adviezen zijn begrensd op het traject  $0\text{-}110 \text{ kg Na}_2\text{O ha}^{-1}$ . De bemestingsparameters zijn ingesteld zoals in Tabel 6.1 is weergegeven. Er is vanuit gegaan dat in de praktijk de bemesting van de eerste snede met dierlijke

Tabel 6.1. Het gemiddelde advies op basis van een set van 2451 analyseresultaten van zandgrasland (Kgetal gemiddeld 23,5) op basis van de Bemestingsadviesbasis (Anonymus, 2002) en op basis van de nieuwe adviessystematiek bij een bepaalde veronderstelde N-, K- en Mg-bemesting.

Bemestings-adviesbasis ( $\text{kg Na}_2\text{O ha}^{-1}$ )	snede	Na-gift mest * ( $\text{kg Na}_2\text{O ha}^{-1}$ )	Gemiddelde $\text{Na}_2\text{O}$ -adviesgift op basis van nieuwe systematiek bij diverse streefwaarden voor Na ( $\text{g kg}^{-1} \text{ ds}$ )				
			2	2,5	3	3,5	4
45	maaïen	0	41	67	87	100	106
45	maaïen	20	9	27	47	65	80
45	weiden	0	45	71	91	102	107
45	weiden	20	11	31	51	69	84
			maaisnede	weidesnede			
			160	200			
			110	80			
			120	120	(bij 75% werking)		
			0	0			
			32,5	32,5			

\* de Na-gift is op 0 gesteld voor mest om te kunnen bepalen wat het "bruto"-advies zou zijn. In werkelijkheid wordt met  $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  ongeveer  $20 \text{ kg Na}_2\text{O ha}^{-1}$  gegeven.

\*\* op basis van  $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ .

mest veelal gelijk is op alle percelen. Het blijkt dat het nieuwe advies op basis van vergelijking 6 gemiddeld aardig goed overeenkomt met dat van de Bemestingsadviesbasis indien een niveau van  $2 \text{ g Na kg}^{-1} \text{ ds}$  in gras wordt nagestreefd (41 en 45 in Tabel 6.1). Met de mest wordt al  $45 \text{ kg Na}_2\text{O ha}^{-1}$  toegediend, waardoor nog slechts ongeveer  $10 \text{ kg}$  aanvulling nodig is met kunstmest om  $2 \text{ g Na kg}^{-1} \text{ ds}$  te realiseren (omdat de Na uit mest een hogere werking heeft dan die uit kunstmest, zie Tabel 5.2 de regressiecoëfficiënten voor  $\text{Na}_2\text{O dm}$  en  $\text{Na}_2\text{Okm}$ ). Indien men een waarde van  $3 \text{ g Na kg}^{-1} \text{ ds}$  zou nastreven is dus op basis van Tabel 6.1 gemiddeld zo'n  $40 \text{ kg}$  extra aan  $\text{Na}_2\text{O}$  nodig per ha.

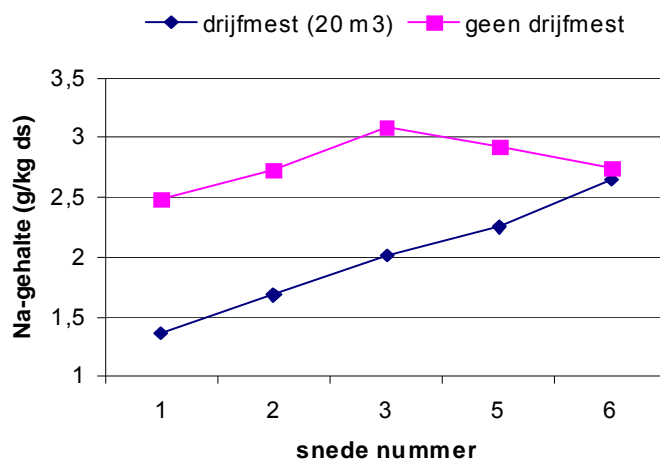
In paragraaf 5.3 is het model 1 weergegeven. Het REML-model kent een bepaalde onzekerheid. Om met 95% zekerheid een waarde  $2,0 \text{ g Na}$  of hoger in gras te realiseren dient uitgegaan te worden van een streefwaarde van  $2,5 \text{ g Na kg}^{-1} \text{ ds}$ . Om met 95% zekerheid een waarde  $2,5 \text{ g Na}$  of hoger in gras te realiseren dient uitgegaan te worden van een streefwaarde van  $3,1 \text{ g Na kg}^{-1} \text{ ds}$ .

In dit onderzoek zijn de grondextracties uitgevoerd met behulp van  $0,01 \text{ M CaCl}_2$ . Een directe vergelijking met het extractieprotocol zoals in de Bemestingsadviesbasis (Anonymus 2002) is aangegeven is derhalve niet mogelijk. Wel is in 2005 een oriënterende vergelijking uitgevoerd voor een set van 135 monsters (Bussink et al., 2005). Daaruit bleek dat multi-nutriënt extractie duidelijke voordelen had. Het Na-gehalte in gras kon beter op basis van multi-nutriënt extractie worden voorspeld dan op basis van extracties zoals aangegeven in de Bemestingsadviesbasis (Anonymus, 2002). Dat was mede de aanleiding voor dit onderzoek.

## 6.2 Latere sneden

Het bemestingsadvies is in principe gebaseerd op de eerste snede. Dit heeft een aantal redenen. Van de verstrekte gift  $\text{Na}_2\text{O}$ -gift wordt maar een beperkt deel opgenomen in de eerst volgende snede. Een verhoging van het Na-gehalte van gras met  $1 \text{ g kg}^{-1} \text{ ds}$  betekent op jaarbasis een extra Na-opname van  $15 \text{ kg}$  of wel een extra opname van  $20 \text{ kg Na}_2\text{O ha}^{-1}$  bij een jaarproductie van  $15 \text{ ton ds}$  per ha. Dit is dus slechts een klein deel van wat is toegediend.

Verder neemt later in het seizoen het Na-gehalte van gras sowieso toe. Deels kan dat te maken hebben met een geringe antagonistische werking van K. Immers een groot deel van via mest toegediende K wordt in de eerste snede opgenomen. De kationcompetitie is daardoor lager in de tweede snede. Ter illustratie is Figuur 6.1 bijgevoegd. Deze figuur laat zien dat het Na-gehalte elke snede stijgt na een eenmalige dierlijke mestgift voor de eerste snede. Aan het eind van het groeiseizoen is deze weer vrijwel gelijk aan de situatie zonder dierlijke mest voor de eerste snede.



Figuur 6.1. Het effect van dierlijke mest op het Na-gehalte van gras gedurende het groeiseizoen (NMI, 1992).

### 6.3 Rekening houden met de bemestingspraktijk

Tot nu toe wordt er bij de bemestingsadvisering alleen een advies gegeven en wordt er niet vastgesteld of het advies ook is opgevolgd. Om te kunnen sturen op een gewenst Na-gehalte via de nieuwe systematiek is het dus van belang om niet alleen de grondanalysecijfers voor Na, Mg en K te kennen, maar ook om te weten hoe er bemest gaat worden. Als input hiervoor zou de geadviseerde hoeveelheid MgO en K<sub>2</sub>O op basis van het grondonderzoek gebruikt kunnen worden. Deze hoeveelheden zouden dan verrekend kunnen worden met de verschillende scenario's van mogelijke hoeveelheden te geven dierlijke mest (bijv. 0, 15, 20, 25 en 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) en de daarin aanwezige hoeveelheid MgO en K<sub>2</sub>O en Na<sub>2</sub>O. Naar de toekomst zijn interactieve toepassingen denkbaar. De gebruiker logt in bij het grondanalyzelaboratorium en vult voor zijn percelen hoeveel dierlijke mest er is gebruikt of zal worden gebruikt. Ook wordt de streefwaarde voor RE opgegeven evenals het gewenste Na-gehalte in gras. De gebruiker krijgt vervolgens direct een Na-advies (opm. natuurlijk dient zoiets niet alleen voor natrium te worden ontwikkeld maar ook voor andere elementen om een nog meer op maat bemesting mogelijk te maken, daarbij ook rekening houdend met de weersomstandigheden, ruimtelijke variabiliteit, perceelshistorie. In Bijlage 2 is dit conceptueel aangegeven. In de tuinbouw zijn dergelijke systemen in opkomst).

### 6.4 Conclusies

- De multi-nutriënt benadering leidt tot een duidelijk betere voorspelling van het Na-gehalte in gras op basis van bodem- en bemestingskenmerken dan de huidige grondslag voor het Na-bemestingsadvies.
- Het is goed mogelijk om te sturen op een gewenst Na-gehalte van gras door naast de Na-toestand rekening te houden met de K- en Mg-toestand van de bodem, de pH, de N-, en K- en Mg-bemesting en een gewenst ruweiwitgehalte. Een nieuwe systematiek is hiervoor afgeleid, waarbij het 95% betrouwbaarheidsinterval voor een streefwaarde van 2,5 g Na kg<sup>-1</sup> ds ligt tussen ongeveer 2,0 en 3,1 g Na kg<sup>-1</sup> ds.
- Over een groot range aan grondmonsters is het bemestingsadvies bij de nieuwe systematiek en een streefwaarde van 2 g Na kg<sup>-1</sup> ds gemiddeld over alle monsters ongeveer gelijk aan het advies op basis van de Bemestingsadviesbasis. Voor praktische toepassingen zou uitgegaan kunnen worden van een streefwaarde van 2,5 g Na kg<sup>-1</sup> ds indien rekening wordt gehouden met de onzekerheid in het voorspellen van het Na-gehalte.
- In dit onderzoek is de eerste snede werking van natrium in dierlijke mest bijna twee keer zo effectief als die uit kunstmest. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het feit dat dierlijke mest veel vroeger in het seizoen wordt toegediend dan natrium.

## 7 Opzet- en uitvoering voederproef en opbouwgegevenset

(auteurs: H. Valk en A. Klop)

### 7.1 Proefvoerders

#### Graskuilen

Bij het zoeken naar geschikte percelen werd gekeken naar de homogeniteit en de grootte van het perceel alsmede het Na-gehalte in de voorafgaande snedes. Dit Na-gehalte mocht niet lager uitkomen dan 1,5 g Na kg<sup>-1</sup> ds, zodat het controlevoer (0 bemesting) niet onder de Na-behoeftenorm van 1,5 kg<sup>-1</sup> ds zou uitkomen. Met de bemestingstrappen werd getracht om het Na-gehalte uitgaande van 1,5 g steeds met 1 g kg<sup>-1</sup> ds te laten stijgen tot 4,5 g Na kg<sup>-1</sup> ds als hoogste waarde. Rekening houdend met het bovenstaande en met de hoeveelheid graskuil die nodig was per behandeling in de opnameproef, was er bij ASG niet mogelijk om een aaneengesloten stuk grasland te vinden waarop de bemestingstrappen konden worden aangelegd. Daarom zijn twee verschillende percelen gebruikt (120 en 145), die het meest met elkaar in overeenstemming waren. Het grasland van beide percelen was ca 2,5 jaar oud. Deze percelen waren vooraf één keer gemaaid en waren per perceel vrij homogeen met dezelfde voorgeschiedenis. Omdat niet kon worden ingeschat wat het effect zou zijn van weidezout op het Na-gehalte, werd er met verschillende hoeveelheden bemest, zodat later de graskuilen met het gewenste Na-gehalte konden worden uitgeselecteerd. Op perceel 120 zijn 3 (0, 200 en 450 kg weidezout per ha) en op perceel 145 zijn 4 bemestingstrappen aangelegd (0, 125, 300 en 550 kg weidezout per ha). De beide percelen werden verder alleen bemest met kunstmest (KAS) in een hoeveelheid van 97 kg N/ha (zie Bijlage 1). Er werd geen drijfmest gebruikt.

Perceel 120 werd gemaaid op 10 juni en perceel 145 op 28 juni bij een vergelijkbare groeiduur. Tijdens de veldperiode waren de inkuilomstandigheden gunstig, waarna het materiaal bij een geschat ds-gehalte van 50% is ingekuild in vierkante balen. Een aantal balen werden gewogen en met een aangenomen ds-gehalte, werd de ds-opbrengst per vierkante baal en per bemestingstrap geschat. Van het verse voorgedroogde gras zijn monsters genomen met het doel om inzicht te krijgen in de mate waarin het Na-gehalte tussen de bemestingstrappen verschilde. Op basis van die uitkomsten (zie Bijlage 1) is in eerste instantie een keuze gemaakt welke afzonderlijke partijen gebruikt zouden gaan worden. Dat waren 120-1, 120-2, 120-3, 145-3 en 145-4, waarbij 145-1 en 145-2 afvielen omdat het Na-gehalte van die partijen vergelijkbaar was met het Na-gehalte van 120-1. Op 25 juli heeft BLGG deze uitgekozen partijen bemonsterd, waaruit bleek dat het Re-gehalte in de partijen afkomstig van perceel 145 dermate laag was, dat dit niet als enige ruwvoer aan melkvee kon worden gevoerd (zie Bijlage 1). Daarop is besloten om de partijen te mengen met elkaar, waarbij ook de partijen 145-1 en 145-2 nodig waren, ondanks het feit dat ze niet door Blgg waren onderzocht (gegevens ontbreken in Bijlage 1).

#### Mengvoer

Naast graskuil kregen de dieren in de melkstal 5 kg mengvoer per dier per dag, verstrekt in twee porties van 2,5 kg. Het mengvoer had de volgende samenstelling (op productbasis): 940 VEM, 95 DVE, 1 OEB, 148 g Re en 4 g Na. Ervan uitgaande dat de dieren 14 kg ds graskuil en 5 kg brok opnamen, bevatte het rantsoen ruim 14% Re en 0 OEB. Het wat lage ruw eiwit gehalte in het rantsoen werd gecompenseerd door zeer ruim boven de DVE norm te voeren. Voor de proef werden dieren gebruikt die gemiddeld 25 kg meetmelk gaven en die bij bovengenoemde opnames iets boven de VEM norm en 17% boven de DVE norm werden gevoerd.

## 7.2 Proefdieren

Voor de proef zijn 32 koeien geselecteerd die verdeeld werden in 8 blokken van 4 vergelijkbare dieren. Binnen een blok werden de dieren at random verdeeld over de vier behandelingen hetgeen resulteerde in 4 proefgroepen met 8 dieren per groep. In Tabel 7.1 zijn gemiddelden weergegeven van verschillende kenmerken voor de vier groepen proefdieren waarmee de proef is uitgevoerd.

Tabel 7.1. Enige kenmerken van de vier groepen proefdieren aan het begin van de proef, weergegeven als het gemiddelde van de 8 dieren per groep.

	Groep 1	Groep 2	Groep 3	Groep 4
Lactatie nr	2,6	2,4	2,6	2,4
Lactatiestadium (dgn)	287	240	238	224
Kg melk	24,4	24,7	23,8	23,3
Vet (%)	4,51	4,34	4,29	4,50
Eiwit (%)	3,82	3,71	3,68	3,72

## 7.3 Proefopzet

Met de beschikbare partijen graskuil kon gekozen worden voor een proefopzet met 4 behandelingen. Op basis van de Na-gehalten, bepaald door het ASG-lab (zie Bijlage 1), werden de partijen van perceel 120 en 145 met elkaar gemengd op een zodanige wijze dat er aan de doelstelling van een verschil van  $1 \text{ g Na kg}^{-1} \text{ ds}$  tussen de behandelingen, kon worden voldaan. Tevens is er voor gezorgd dat er tussen de behandelingen een min of meer gelijke hoeveelheid van perceel 120 en 145 werd verstrekt. Dit resulteerde erin dat de verschillen in chemische samenstelling en voederwaarde (zie Bijlage 1 BLGG resultaten) klein waren tussen de behandelingen. De verhoudingen waarin de partijen zijn gemengd voor het realiseren van de 4 behandelingen, Na-1 t/m Na-4, zijn weergegeven in Tabel 7.2. Tevens is daarbij aangegeven wat de berekende gehalten aan Natrium, Ruw eiwit en suiker waren in het mengsel.

De vier mengsels zoals die in Tabel 7.2 zijn aangeduid waren uitgangspunt voor 4 behandelingen. Behandeling Na-1 was de controle behandeling, die bestond uit graskuil van perceel 120 en 145 zonder extra bemesting met weidezout. In de behandelingen 2, 3 en 4 zijn partijen graskuil gevoerd die bemest waren met oplopende hoeveelheden weidezout.

De proefperiode duurde 68 dagen en was verdeeld in 4 perioden van 17 dagen. Elke periode van 17 dagen was opgedeeld in een voor- of gewenningsperiode van 10 dagen en een hoofdperiode van 7 dagen. In elke periode kreeg elke groep één behandeling (graskuil) toegewezen, zodanig dat aan het einde van de proef alle groepen alle behandelingen hadden gekregen, volgens een zogenaamd Latijns Vierkant proefopzet.

De koeien kregen graskuil *ad lib* gevoerd via ruwvoerbakken (RIC bakken), waarmee de individuele voeropname werd vastgelegd. De ruwvoerbakken waren 24 uur per dag toegankelijk, uitgezonderd tijdens het bijvullen en bij het verwijderen van de voerresten. In het stalgedeelte liepen de koeien in één groep en hadden ze 16 RIC bakken. Elke groep van 8 dieren kreeg toegang tot 4 ruwvoerbakken (RIC bakken), waarin het mengsel werd verstrekt volgens het bovenstaande schema. Gedurende de hele proefperiode hield elke groep dezelfde RIC bakken. De ruwvoermengsels werden één keer per dag samengesteld en gemengd met een voermengwagen.

Tabel 7.2. Overzicht van de verhouding van de graskuil partijen in de mengsels voor de behandelingen, en de berekende samenstelling van de mengsels.

	Mengsel Na-1	Mengsel Na-2	Mengsel Na-3	Mengsel Na-4
Partij				
Graskuil 120-1	0,7	0,2		
Graskuil 120-2		0,4	0,4	
Graskuil 120-3			0,2	0,6
Graskuil 145-1	0,3			
Graskuil 145-2		0,4		
Graskuil 145-3			0,4	
Graskuil 145-4				0,4
Totaal	1,0	1,0	1,0	1,0
Chemische samenstelling ruwvoermengsels (g/kg ds)				
Na	1,56	2,60	3,65	4,45
Ruw eiwit <sup>1</sup>	120	123	124	122
Suiker <sup>1</sup>	123	138	145	141

<sup>1</sup>: Uitgerekend uitgaande van de analyses van Blgg (zie Bijlage 1).

In het volgende schema zijn de behandelingen per proefgroep per periode weergegeven.

	Groep 1	Groep 2	Groep 3	Groep 4
Periode 1	Na-3	Na-2	Na-4	Na-1
Periode 2	Na-1	Na-4	Na-3	Na-2
Periode 3	Na-2	Na-3	Na-1	Na-4
Periode 4	Na-4	Na-1	Na-2	Na-3

Van de graskuilmengsels zijn in de hoofdperioden dagelijks monsters genomen voor de bepaling van het drogestofgehalte met behulp van een droogstoof. Daarmee werd, met de voeropname, de droge stofopname per koe berekend.

In iedere hoofdperiode zijn tevens dagelijks monsters genomen van de afzonderlijke partijen graskuil, die na afloop van iedere hoofdperiode werden gepoold en aangeboden bij ALNN voor analyse op ds, ras, Na, K, Ca, P en Mg. Na afloop van de proef waren er dus 4 analyse resultaten per partij, die vervolgens per partij werden gemiddeld. Vervolgens werd binnen ieder perceel getoetst (t-toets) of de verschillende bemestingsniveaus in een verschillende chemische samenstelling hadden geresulteerd. Voor de voeropname werd het gemiddelde van de hoofdperiode (7 dagen) gebruikt voor de statistische verwerking van de gegevens.

De koeien werden twee keer per dag in de melkstal gemolken. Tijdens de gehele proefperiode werd de melkgift per melkmaal geregistreerd. In de hoofdperiode zijn melkmonsters genomen voor de bepaling van vet-, eiwit- en lactose, die ook zijn verwerkt in de statistische analyse.

In periode 2 en 4 is de mest van alle koeien gescoord volgens de methode die te vinden is op de website van Vetvice: [www.vetvice.nl](http://www.vetvice.nl). Bij deze visuele beoordeling werd gekeken naar de dikte en de mate van vertering van de mest. Met de waarnemingen kon geen statistische evaluatie gedaan worden omdat de beoordeling slechts in twee van de vier perioden gedaan is.

## 8 Resultaten

(auteurs: H. Valk en A. Klop)

### 8.1 Na-gehalte, droge stofopbrengst en chemische samenstelling bepaald in graskuil monsters genomen tijdens het voeren

De resultaten van de bemestingsproef zijn samengevat in Tabel 8.1. In Tabel 8.1 is ook het aantal balen per bemestingstrap weergegeven. De ds-opbrengst per partij is geschat uit het aantal geogste balen en uitgaande van 225 kg ds per baal. De oppervlakte van de bemestingstrappen binnen een perceel waren gelijk en ondanks dat de ds-opbrengst niet exact is gemeten, deed de bemesting met weidezout de opbrengst op perceel 120 duidelijk afnemen. Op perceel 145 werd dit niet gevonden.

De analyse resultaten zoals die in de volgende tabellen zijn gepresenteerd, hebben betrekking op de waarnemingen tijdens de hoofdperiode. De gemiddelde ds-, ruw as- en minerale samenstelling van de afzonderlijke graskuilen staan weergegeven in Tabel 8.1.

Tabel 8.1. Aantal balen, de geschatte drogestof opbrengst, het gemiddelde drogestof- en ruw as gehalte en de gemiddelde minerale samenstelling van de afzonderlijke graskuilen die werden bemonsterd tijdens het voeren en geanalyseerd door ALNN.

Graskuil	120-1	120-2	120-3	145-1	145-2	145-3	145-4
Na-bemesting (kg NaCl/ha)	0	200	450	0	125	300	550
Na-gehalte graskuil (g/kg ds)	1,8 (0,1) <sup>a</sup>	4,2 (0,3) <sup>b</sup>	5,4 (0,6) <sup>c</sup>	1,8 (0,2) <sup>a</sup>	1,6 (0,2) <sup>a</sup>	2,6 (0,4) <sup>b</sup>	3,5 (0,2) <sup>c</sup>
Aantal balen	41	35	30	39	41	53	42
Opbrengst (kg ds per veld)	9225	7875	6750	8775	9225	11925	9450
Drogestof (g/kg)	502 (9) <sup>1</sup>	498 (12)	506 (17)	647 (19)	629 (29)	619 (10)	607 (38)
Ruw as in g/kg ds	106 (2) <sup>a</sup>	119 (3) <sup>b</sup>	123 (5) <sup>c</sup>	96 (5) <sup>a</sup>	106 (5) <sup>b</sup>	110 (5) <sup>bc</sup>	113 (3) <sup>c</sup>
<i>Mineralen in g/kg ds</i>							
P	3,5 (0,1)	3,5 (0,1)	3,4 (0,1)	2,9 (0,2)	2,8 (0,2)	3,1 (0,1)	3,2 (0,2)
K	33,4 (0,1) <sup>a</sup>	35,6 (0,5) <sup>b</sup>	35,5 (1,1) <sup>b</sup>	28,3 (1,9) <sup>a</sup>	29,4 (2,7) <sup>a</sup>	33,2 (1,2) <sup>b</sup>	35,0 (1) <sup>c</sup>
Ca	4,7 (0,1) <sup>a</sup>	5,3 (0,3) <sup>b</sup>	5,6 (0,0) <sup>c</sup>	6,3 (0,6) <sup>a</sup>	5,1 (0,6) <sup>b</sup>	6,0 (0,4) <sup>a</sup>	6,3 (0,3) <sup>a</sup>
Mg	1,4 (0,1)	1,4 (0,1)	1,4 (0,1)	1,3 (0,1)	1,1 (0,1)	1,3 (0,1)	1,3 (0,1)

<sup>1</sup>: tussen haakjes de spreiding rond het gemiddelde op basis van 4 waarnemingen.

<sup>a,b,c</sup>: gemiddelden in een rij binnen een perceel met een verschillend lettertype zijn significant ( $P < 0,05$ ) verschillend.

Uit Tabel 8.1 blijkt dat een hogere bemesting met weidezout een significant positief effect op het Na-gehalte van het gras op beide percelen. Dit was ook voor het K-gehalte het geval, waarbij op perceel 145 het effect kwantitatief groter was. Verder blijkt uit Tabel 8.1 dat weidezoutbemesting het ruw as-gehalte significant deed toenemen op de beide percelen, terwijl het ds-gehalte gelijk bleef. Op perceel 120 nam het Ca-gehalte significant toe bij een toenemende bemesting met weidezout, terwijl op 145 geen effect werd gevonden op het Ca-gehalte. Het P- en Mg gehalte werd niet door de weidezout bemesting beïnvloed. De minerale samenstelling van partij 145-2 viel enigszins buiten de verwachte dosis-respons verwachting.

## 8.2 Rantsoen gegevens en voeropname

In Tabel 8.2 staat de gerealiseerde gevoerde verhouding van de graskuil partijen in de mengsels, zoals die voor de 4 behandelingen zijn samengesteld. In dezelfde tabel staat de minerale samenstelling van het ruwvoermengsel van elke behandeling. Het Na gehalte nam steeds toe met ongeveer 1 gram, van 1,8 gram per kg drogestof voor Na-1 tot 4,7 gram voor behandeling Na-4. De Kalium en Calcium gehalten namen eveneens toe bij hogere bemesting met weidezout op grasland.

Tabel 8.2. Mengverhouding van de graskuil mengsels per behandeling (in % van de drogestof), het Na-gehalte en de minerale samenstelling van de gevoerde ruwvoermengsels (in g/kg ds).

Graskuil	Na-1	Na-2	Na-3	Na-4
120-1	74,4	21,5		
120-2		43,7	43,4	
120-3			21,9	64,8
145-1	25,6			
145-2		34,8		
145-3			34,7	
145-4				35,2
Na	1,8	2,8	3,9	4,7
Ruw as	104	112	117	121
P	3,4	3,3	3,3	3,3
K	32,1	33,0	34,8	35,5
Ca	5,1	5,1	5,6	5,8
Mg	1,3	1,3	1,4	1,3

De voeropname van ruwvoer en mengvoer staat in Tabel 8.3. De mengvoeropname was voor alle dieren gelijk en maakte dus geen deel uit van de behandeling. De ruwvoeropname bestond uitsluitend uit graskuil. In deze proef was de totale opname van het graskuilmengsel het belangrijkste onderwerp van de behandelingen. Daarom is alleen de totale ruwvoeropname binnen het Latijnse Vierkant (gecorrigeerd voor dierverschillen) statistisch getoetst. Van het graskuilmengsel met het hoogste Na gehalte in het rantsoen (Na-4) namen de koeien minder op ten opzichte van Na-1 en Na-2. Het gemiddelde niveau van de voeropname was lager dan de 14 kg ds die was verwacht.

Tabel 8.3. Totale voeropname per behandeling met het aandeel graskuil en mengvoer daarin.

		Na-1	Na-2	Na-3	Na-4	P-	Isd
Graskuil 120-x	Kg ds	8,6	7,5	7,3	7,1	-	-
Graskuil 145-x	Kg ds	2,9	4,0	3,9	3,9	-	-
Totaal graskuil	Kg ds	11,5 <sup>b</sup>	11,5 <sup>b</sup>	11,2 <sup>ab</sup>	11,0 <sup>a</sup>	0,010	0,3
Mengvoer	Kg ds	4,3	4,3	4,3	4,3	-	-
Voeropname totaal	Kg ds	15,8	15,8	15,5	15,3	-	-

## 8.3 Melkproductie en mestscore

De proefopzet met een Latijns vierkant (LV) is uitstekend geschikt voor het toetsen van opnameverschillen, maar met betrekking tot melkproductie is voorzichtigheid geboden. Immers, er mogen bij een LV-opzet geen zgn. nawerkingseffecten optreden, wat betekent dat het effect op een

respons variabele van de ene behandeling niet mag doorwerken op het effect van de andere behandeling. In een LV krijgen alle diergroepen alle behandelingen en dus moet er bij een LV-opzet voldaan zijn aan de eis van homogeniteit van variantie. Voor een parameter als melkproductie is het moeilijk om aan de eis van homogeniteit van variantie te voldoen. Wanneer één van de behandelingen resulteert in een daling van de melkgift, dan zou die daling volledig gecompenseerd moeten worden door de volgende behandeling. Echter, een eventuele daling in melkgift bij dieren in een positieve energie balans wordt meestal niet gecompenseerd.

Tabel 8.4 geeft de melkproductie gegevens weer van de proefgroepen als gemiddelde per behandeling over de hele periode. De grootste productie daling trad op bij de aanvang van de proef toen de dieren alleen graskuil en mengvoer kregen. De gemiddelde melkgift van de proefgroepen daalde in hoofdperiode 1 met ongeveer 7 kg ten opzichte van de melkgift bij de indeling van de proefdieren (Tabel 8.4). Tijdens de proef daalde de gemiddelde melkgift per proefgroep nog eens met 4 kg, zodat de dieren gemiddeld aan het einde van de proef 12 -15 kg melk per dag gaven. Melkvet- en melkeiwit namen toe met een stijging van het Na-gehalte in de kuil.

Tabel 8.4. Melkproductie per behandeling.

	<b>Na-1</b>	<b>Na-2</b>	<b>Na-3</b>	<b>Na-4</b>
Kg melk	15,2	15,1	14,3	14,8
Vet %	5,05	5,02	5,11	5,14
Eiwit %	3,86	3,87	3,91	3,96
Lactose %	4,37	4,33	4,32	4,31

In Tabel 8.5 is de gemiddelde mestscore weergegeven. Ondanks dat er geen statistische analyse is uitgevoerd, zijn er aanwijzingen dat de mest van de dieren op het controle rantsoen wat dikker (consistenter) was in vergelijking met de andere behandelingen. Mestvertering was volgens de visuele methode niet verschillend tussen de behandelingen.

Tabel 8.5. Mestscore gemiddeld per behandeling van periode 2 en 4.

	<b>Na-1</b>	<b>Na-2</b>	<b>Na-3</b>	<b>Na-4</b>
Mestdikte	3,2	2,8	2,9	2,7
Mestvertering	2,6	2,8	2,8	2,7

## 9 Discussie voederproef

(auteurs: H. Valk en A. Klop)

### 9.1 *Effect van weidezoutbemesting op het Na-gehalte, de grasopbrengst en de chemische- en minerale samenstelling van het gras*

De bemestingsproef in het voorliggende onderzoek onderzocht het effect van weidezoutbemesting op het Na-gehalte van het gras. Het is echter ook interessant om in de discussie te kijken of het onderzoek onderbouwde informatie kan opleveren ten aanzien van andere kenmerken van het gras, zoals opbrengst en chemische- en minerale samenstelling.

Op beide percelen deed Na-bemesting met weidezout het Na-gehalte in de droge stof van het gras toenemen. Dit is in overeenstemming met de literatuur (Marschner, 1995; Chiy and Phillips, 1993). Echter, de mate waarin het Na-gehalte steeg door weidezoutbemesting, verschilde tussen beide percelen. Zo nam op perceel 120 het Na-gehalte toe met 0,8 g/100 kg weidezout per ha, terwijl dat op perceel 145 maar 0,3 g/100 kg weidezout per ha was (hoogste minus 0 bemesting). Naast een toename van het Na-gehalte steeg op perceel 145 ook het K-gehalte, wat mogelijk heeft geleid tot een minder sterke toename van het Na-gehalte.

Het effect van weidezoutbemesting op de grasopbrengst was niet eenduidig. Op perceel 120 nam de ds-opbrengst af door weidezoutbemesting, terwijl op perceel 145 de ds-opbrengst niet door weidezout bemesting werd beïnvloed. Het is niet duidelijk hoe deze verschillen in opbrengst verklaard moeten worden. In hoeverre de bodemvruchtbaarheid (bijvoorbeeld K-toestand) en/of andere factoren (bijvoorbeeld weersomstandigheden tijdens de groei) een rol hebben gespeeld op de gerealiseerde ds-opbrengst, is niet bekend en kan niet uit de gegevens van deze proef worden gehaald.

Het verschillende effect van weidezoutbemesting op de ds-opbrengst binnen eenzelfde bedrijf op twee naastgelegen percelen met 2,5 jaar oud grasland (op basis van hetzelfde grasmengsel), is een interessant onderwerp voor nader onderzoek. Uit literatuur blijkt dat er een verschil in plantensoort of -ras onder kan liggen. Door Marschner (1995) worden plantensoorten ingedeeld als zout tolerant (natrofiel) of zout gevoelig (natrofoob). Het effect van Na bemesting op natrofiële soorten leidt tot een vervanging van K<sup>+</sup> door Na<sup>+</sup> en soms tot een hogere opbrengst (als de K-voorziening van de bodem laag is). Het effect op natrofobe soorten is dat K<sup>+</sup> niet wordt vervangen en dat de opbrengst daalt of gelijk blijft. De daling in opbrengst wordt toegeschreven aan een sterke toename van het Na-transport richting de spruit, waardoor de metabole functies in de spruit worden onderdrukt (Marschner, 1995). Uitgaande van de verschillen in ds-opbrengst zou perceel 120 natrofobe soorten bevatten en perceel 145 natrofiële soorten. Dit zou betekenen dat de grasbestanden in beide percelen zich in 2,5 jaar tijd geheel anders hebben ontwikkeld. Dit is waarschijnlijk niet het geval omdat op basis van vervanging van K<sup>+</sup> door Na<sup>+</sup>, het perceel 145 niet echt als natrofiel kan worden aangemerkt. Overigens kan perceel 120 wel als natrofoob worden aangemerkt. Immers, hier nam de ds-opbrengst sterk af en steeg het Na-gehalte sterk, terwijl K<sup>+</sup> niet door Na<sup>+</sup> werd vervangen (K-gehalte nam iets toe). Marschner (1995) geeft aan dat zijn indeling niet al te strikt moet worden genomen, gezien de grote verschillen die er kunnen zijn tussen rassen binnen een soort ten aanzien van de vervanging van K<sup>+</sup> door Na<sup>+</sup>. Bovendien treedt die vervanging alleen op als de K-voorziening laag is (Bussink et al., 2005), maar daarvan was in deze proef geen sprake gezien de hoogte van het K-gehalte in het gras. Overigens kan weidezoutbemesting een positieve invloed hebben op het K-gehalte van gras (Chiy et al., 1999 en Cusnahan et al., 1995).

Chiy et al. (1999) speculeren dat de aanwezige K<sup>+</sup> in de wortels en de oudere spruiten wordt vervangen door Na<sup>+</sup> en dat de jonge spruiten relatief meer K<sup>+</sup> bevatten.

Weidezout bemesting had op beide percelen een positief effect op het ras-gehalte, hetgeen ook werd gevonden door Chiy et al. (1999). Op perceel 120 deed weidezoutbemesting de suiker fractie toe- en de NDF, ADF, ADL en Ruwe celstof fracties afnemen (Bijlage 1). Philips et al. (2001) vonden een positief effect van Na bemesting op de wateroplosbare koolhydraatfractie en op de verteerbaarheid van de celwandfractie. In het voorliggende onderzoek waren de effecten op de celwandfracties eenduidig in de richting van een hogere verteerbaarheid. Er kon echter geen statistisch onderbouwd effect op de verteerbaarheid worden aangetoond.

Op perceel 145 was het Re-gehalte laag en de suiker fractie hoog, hetgeen veelal samen opgaat (Valk, 2002). Dit lage Re-gehalte had niet direct te maken met een lage N-bemesting (97 kg N/ha), zoals in de proeven van Valk (2002), maar kwam mogelijk meer door de weersomstandigheden tijdens de groeiduur van het gewas. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat een Re-gehalte van iets meer dan 90 g/kg ds bij een dergelijk N-bemestingsniveau wel erg laag was, waarvoor niet direct een verklaring kan worden gegeven.

Het Ca-gehalte steeg significant op perceel 120, terwijl op perceel 145 geen verband tussen weidezoutbemesting en het Ca-gehalte kon worden aangetoond. Cusnahan et al. (1995) vonden ook een stijging van het Ca-gehalte na bemesting met keuzenzout, terwijl Chiy and Phillips (1993) geen effect op het Ca-gehalte vonden. In Bussink et al. (2005) worden proeven van het NMI aangehaald waar ook geen effect van Na-bemesting op het Ca-gehalte werd gevonden. Niet duidelijk is waarom het Ca-gehalte in het ene geval wel en in het andere geval niet door Na-bemesting wordt beïnvloed. In overeenstemming met verschillende literatuurbronnen aangegeven door Bussink et al. (2005) werd het Mg-gehalte niet door Na-bemesting beïnvloed.

## 9.2 *Effecten van Na-bemesting op de voeropname, de melkproductie en de mestscore*

Het mechanisme dat zorgt voor een verhoogde voeropname bij toenemend Na-gehalte in gras zou via een hogere wateropname kunnen lopen. Een hogere Na-opname leidt tot een hogere wateropname, waardoor de pensfermentatie en/of penskinetiek zodanig verandert dat de ds-opname stijgt. Berger et al. (1980) vonden bij schapen een hogere passage door de pens als het voer meer Na<sup>+</sup> bevatte. Chiy et al. (1993) vonden een hogere passage in de pens van de vloeibare delen door een hogere wateropname als reactie op een hogere Na-opname. Ook vonden zij in hetzelfde onderzoek dat de passage door de pens van de totale pensinhoud en van de vaste delen daarin, niet werd beïnvloed. De passage van de vaste delen in de pens was niet verschillend bij verschillende Na-niveaus in het rantsoen. Dit is in overeenstemming met Schneider et al. (1988), die op een rantsoen van 50% snijmaïs en 50% mengvoer vonden dat alleen de vloeibare fase sneller de pens passeerde.

De hogere ds-opname werd door Chiy et al. (1993) verklaard uit een hogere doorspoelsnelheid van de pensinhoud als reactie op de hogere wateropname, die leidde tot een betere pensvertering. De literatuur geeft echter geen eenduidige onderbouwing van deze theorie. Schneider et al. (1988) vonden een positief effect van Na-bemesting op de graskuilopname (zelfs tot 5,5 g Na/kg ds). In het onderzoek van Chiy en Phillips (1991, 1993) met weidende melkkoeien, werd ook een hogere grasopname vastgesteld op percelen waarvan het Na-gehalte in het gras toenam. Daarentegen vonden Cusnahan et al. (1995) geen positief effect op de grasopname wanneer het Na-gehalte in het gras steeg van 2,4 naar 3,6 g Na kg<sup>-1</sup> ds. Ook het voorliggende onderzoek kan deze theorie niet bevestigen.

Weidezoutbemesting leidde weliswaar tot een duidelijke verhoging van het Na-gehalte in gras (van 1,8 tot 4,7 g Na kg<sup>-1</sup> ds) en daarmee in het rantsoen (van 2,4 tot 4,5 g Na kg<sup>-1</sup> ds), maar dit verschil in gerealiseerde Na-opname had eerder een negatief dan een positief effect op de graskuilopname. Opgemerkt moet worden dat het laagste Na-gehalte wel duidelijk boven de fysiologische behoefte ligt (zeker indien op rantsoenniveau gekeken wordt 2,4 g Na kg<sup>-1</sup> ds). Op basis van de resultaten van dit onderzoek moet gesteld worden dat een Na-gehalte tussen 1,8 en 2,8 g Na kg<sup>-1</sup> ds kennelijk optimaal is. Het betrof echter een voerproef op stal en geen opnameproef onder beweiding zoals bij Ernst (1970). Aanvullend onderzoek kan uitsluitsel geven of bij beweiding de effecten sterker zijn en wat precies de oorzaak is van beïnvloeding van de voeropname door het Na-gehalte.

In het voorliggende onderzoek waren door het opmengen van de partijen de mineralengehalten (behalve die van Na) nagenoeg gelijk (Tabel 4). Daarmee kan worden gesteld dat in deze proef puur het effect van Na op de voeropname is gemeten. Wetenschappelijk gezien is deze proefopzet door het opmengen van de graskuilen, de beste manier om het effect van één enkele factor - in dit geval Na - op een respons variabele te onderzoeken. Immers, als alleen de partijen van perceel 120 waren genomen, dan nam naast het Na- ook het suiker gehalte in het rantsoen toe (Bijlage 1). Gebaseerd op recent onderzoek van Valk et al. (2006) zou door de stijging van de suiker fractie een hogere ds-opname mogen worden verwacht. Ook de lagere NDF-, ADF-, Ruwe celstof- en ADL gehalten in de graskuil partijen van perceel 120 als gevolg van Na-bemesting (Bijlage 1), wijzen in de richting van een mogelijk positief effect op de graskuil opname. Het is aannemelijk dat niet zozeer de toename in het Na-gehalte leidt tot een hogere opname, maar dat met name de secundaire effecten van Na-bemesting, voor zover aanwezig, de stijging in de voeropname veroorzaken. Dit is in overeenstemming met (Chiy and Phillips, 1991) die vaststelden dat extra toevoeging van zout aan het mengvoer geen effect had op de opname en de melkproductie. Het in het voorliggende onderzoek puur testen op het effect van Na-gehalte in het rantsoen zou kunnen verklaren waarom er geen stijging van de voeropname werd waargenomen, maar er is geen goede verklaring te geven voor de geconstateerde verlaging van de voeropname als gevolg van een toenemend Na-gehalte in het rantsoen. Partij 120-3 week qua chemische- en minerale samenstelling, behalve dan ten aanzien van het Na-gehalte, niet af van de andere gevoerde partijen. Wel was de OEB opname van 0 aan de lage kant. Het Re-gehalte in de ds varieerde tussen de behandelingen van 13,6% (Na-1) tot 14,1% (Na-4) en was daarmee hoger dan het kritische Re-gehalte van 12% voor melkveerantsoenen. Bij Re-gehalten onder die 12% neemt de kans toe dat de voeropname daalt (Forbes, 1995). Naast het wat lagere Re-gehalte in het rantsoen en de berekende OEB opname van 0, werd er ongeveer 20% boven de DVE-norm gevoerd, waarmee eventuele tekorten in de Re-voorziening werden gecompenseerd.

De melkproductie bleek de voeropname nagenoeg te volgen (behalve voor behandeling Na-3). Dat betekent dat de melkgift daalde bij een stijging van het Na-gehalte in de kuil (Tabel 6). Door de daling in de melkplas productie namen de gehalten aan melkvet- en melkeiwit iets toe (verdunningseffect).

De mestdikte leek af te nemen oftewel de mest werd visueel dunner met een stijging van het Na-gehalte. Chiy et al. (1993) konden echter geen effect van Na op het ds gehalte in de mest aantonen. Een visueel dikkere mest hoeft dus niet direct te betekenen dat de mest dan ook meer ds bevat.

### 9.3 Conclusies

Uit het onderzoek kwamen een aantal interessante aspecten van het effect van weidezoutbemesting op grasland op het Na-gehalte van gras naar voren. Ten eerste nam niet alleen het Na-gehalte, maar ook het K-gehalte in graskuil toe. Een vervanging van K<sup>+</sup> door Na<sup>+</sup> zoals weergegeven in de literatuur, trad niet op. Hierbij speelt mogelijk de K-voorziening van de bodem een rol. In deze proef was deze goed tot zeer goed, terwijl onderzoek in de literatuur veelal is uitgevoerd bij een matige/slechte K-toestand van de bodem. Ten tweede nam de ds-opbrengst af met toenemende hoeveelheid weidezoutbemesting. Daarvoor kon geen directe oorzaak worden gegeven. Ten derde namen de suikerfractie toe en de ruw eiwit-, NDF-, ADF-, en ADL fracties af door bemesting met zout. Zeker het verhogend effect op de suikerfractie en daarmee de verwachting dat daardoor de graskuil opname zal toenemen is zeer interessant, maar kon in deze proef niet bevestigd worden. Nader onderzoek moet uitwijzen welke factoren bepalend zijn voor het effect van zout bemesting op de ds-opbrengst en de chemische samenstelling.

Met betrekking tot de relatie tussen het Na-gehalte van gras en de voeropname werd vastgesteld dat een stijging van het Na-gehalte in rantsoen geen positief effect heeft op de ds-opname van ingekuild gras. Op basis van de resultaten moet gesteld worden dat een Na-gehalte tussen 1,8 en 2,8 g/kg ds kennelijk optimaal is.

Het onderzoek toetste puur het effect van een verschillend Na-gehalte in het rantsoen op de voeropname. Daarbij werden de overige factoren zoveel mogelijk gelijk zijn gehouden. De in de literatuur vermelde positieve effecten van Na-gehalte op de voeropname konden niet bevestigd worden. De literatuur betreft veelal proeven, waarbij naast verschillen in Na ook andere factoren in gras verschillen. Die resultaten kunnen daarom niet zondermeer vergeleken worden met de in het voorliggend onderzoek uitgevoerde proef.

## Literatuur

- Anonymus (2002) Adviesbasis bemesting grasland en voedergewassen. Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen Lelystad, § 2.1.6
- Berger LL, Klopfenstein TJ and Britton RA (1980) Effect of sodium hydroxide treatment on rate of passage and rate of ruminal fibre digestion. *J. Animal Science*, Vol. 50:745-749
- Bolt GH (1982) *Soil Chemistry, Part B: Physico-Chemical Models (Developments in Soil Science)* by G. H. Bolt Elsevier Elsevier, Amsterdam 502 pp
- Bussink DW, Valk H, en Bakker RB, (2005) Naar een nieuwe Na-behoeftenorm voor melkvee en een verantwoorde Na-bemesting op grasland. NMI-rapport 896.02.
- Bussink DW & Bakker RB (2009). Naar een nieuwe Na-behoeftenorm voor melkvee en een verantwoorde Na-bemesting op grasland. Deel1: Ontwikkeling van een bemestingsadvies NMI-rapport 896.05
- Bussink DW & Temminghoff EJM (2004) Soil and tissue testing for micronutrient status. *Proceedings of the International Fertiliser Society no 547, York, UK*, 43 pp
- Boer HC de, Bussink DW & Schils RLM (2003) Herziening bemonsteringsdiepte grasland. Praktijkrapport rundvee 33, ASG, Lelystad 47 pp
- Chiy PC & Phillips CJC (1991) The effects of sodium chloride application to pasture or its direct supplementation, on dairy cow production and grazing preference. *Grass and Forage Science*, Vol. 46: 325-331
- Chiy PC & Phillips CJC (1993) Sodium fertilizer application to pasture. 1. Direct and residual effects on pasture production. *Grass and Forage Science*, Vol. 48:189-202
- Chiy PC, Phillips CJC & Omed HM (1993) Sodium fertilizer application to pasture. 3. Rumen dynamics. *Grass and Forage Science*, Vol. 48: 249-259
- Chiy PC, Avezinius JA & Phillips CJC (1999). Sodium fertilizer application to pasture. 9. The effects of combined or separate applications of sodium and sulphur fertilizers on herbage composition and dairy cow production, *Grass and Forage Science*, Vol. 54: 312-321
- Cusnahan A, Bailey JS & Gordon FJ (1995) Some effects of sodium application on the yield and chemical composition of pasture grown under different conditions of potassium and moisture supply. *Plant and Soil*, Vol. 176: 117-127
- Ernst P (1970) Natriumdüngung zu Grünland. *Die Milchpraxis* 10, 22-23
- Ernst P (1980) Natriummangel in Weidefutter weit verbreidet! *Der Tierzüchter* 5, 205-206
- Forbes JM (1995) *Voluntary food intake and diet selection in farm animals*. CAB Int., Wallingford, UK
- Genstat Committee (1993) *Genstat 5 Release 3 Reference Manual*. Oxford Science Publications, Clarendon Press, Oxford, 796 pp
- Henkens CH & Van Luit B (1963) Bepaling van de natriumtoestand van grasland met behulp van grondonderzoek. *Verslagen van landbouwkundige onderzoeken, Wageningen*, 1-52
- Henkens PCLM (1987) Voorstel voor nieuwe richtlijnen voor de natriumbemesting van grasland. *Nota Consulentenschap Bodem-, Water- en Bemestingszaken*. Wageningen, 18 pp
- Henkens PCLM (1988) Nieuwe richtlijnen voor de natriumbemesting van grasland. *De buffer* 34, 38-50
- Houba VJG, Temminghoff EJM, Gaikhorst GA & Van Vark W (2000) Soil analysis procedures using 0.01 M calcium chloride as extraction reagent. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 31, 1299-1396
- Marschner H (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. Second edition, Academic Press, London.
- Oostendorp D & Harmsen HE (1961) Natriumbemesting op grasland. *PAW, Gestencilde verslagen van interprovinciale proeven* 81

- Oostendorp D & Harmsen HE (1964) De invloed van kalium- en natriumtoestand van de grond op het natriumgehalte van weidegras. PAW, Mededeling 92, Wageningen, 1-19
- Phillips CJC, Tenlep SYN, Pennell K, Omed H & Chiy PC (2001) The effect of applying sodium fertilizer on the rate of digestion of perennial ryegrass and white clover incubated in rumen liquor, with implications for ruminal tympany in cattle. *Veterinary Journal*, Vol. 161: 63-71
- Sluijsmans CMJ (1987) Voorstel voor een nieuw natriumadvies voor grasland. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren, nota 166, 1-20
- Schneider PL, Beede DK & Wilcox CJ (1988) Effects of supplemental potassium and sodium salts on ruminal turnover rates, acid-base and mineral status of lactating dairy cows during heat stress. *J. Animal Science*, Vol 66:126-135
- Valk H (2002) Nitrogen and Phosphorus supply of dairy cows. Proefschrift Universiteit Utrecht.
- Valk H, Klop A, Hindle VA & Mathijssen-Kamman AA (2006) Invloed van voeropname niveau op de pensfermentatie en vertering van twee hoogverteerbare graskuilen aangevuld met mengvoeders bestaande uit langzaam- of snel fermenteerbare grondstoffen. ASG-rapport nr
- Van Erp PJ (2002) The potentials of multi-nutrient soil extraction with 0.01 M CaCl<sub>2</sub> in nutrient management. Proefschrift, Wageningen, 237 pp

## Bijlage 1. Proeven 2005 en 2006

### Groningen 2005 (zeeklei)

Locatie P1 en P2: MTS Bakker, Bovenrijgerweg 13, 9797 TD Thesinge (Veldjesgrootte: 18x18m)

Locatie P3 en P4: J. Mulder, Middelberterweg 6, 9723EV Groningen (Veldjesgrootte: 18x18m)

Behandelingen: 2 N-, 2 K- en 3 Na-trappen=12 veldjes per locatie

Veldjes K1 en K2 = 70 en 140 kg K<sub>2</sub>O/ha = 117 en 234 kg Kali-60/ha

Veldjes N1 en N2 = 60 en 120 kg N/ha = 222 en 444 kg KAS/ha (op P1 en P3 = 285 en 570 kg ASS/ha)

Veldjes Na0, Na1 en Na2 = 0, 50 en 100 kg Na<sub>2</sub>O/ha = 0, 100 en 200 kg graszout per ha

P3: Perceel ASS bij huis

	K1	K2	
N1	12	1	Na1
N1	11	2	Na2
N1	10	3	Na0
N2	9	4	Na2
N2	8	5	Na0
N2	7	6	Na1

P2: Perceel KAS Groningen

	K1	K2	
N1	36	25	Na1
N1	35	26	Na2
N1	34	27	Na0
N2	33	28	Na2
N2	32	29	Na0
N2	31	30	Na1

P1: Perceel KAS Thesinge

	K1	K2	
N1	24	13	Na1
N1	23	14	Na2
N1	22	15	Na0
N2	21	16	Na2
N2	20	17	Na0
N2	19	18	Na1

P4: Perceel ASS bij ring

	K1	K2	
N1	48	37	Na1
N1	47	38	Na2
N1	46	39	Na0
N2	45	40	Na2
N2	44	41	Na0
N2	43	42	Na1

Oogstdata 28 april 2005

**Noord-Brabant 2005 (zandgrond)**

Locatie: P1 en P2 C. van Dongen, Oosteind

Veldjesgrootte: 18x18m

Basisbemesting met dierlijke 1<sup>e</sup> snede: 39 kg N/ha, 155 kg k<sub>2</sub>O/ha

Datum bemesting met kunstmest 1<sup>e</sup> snede: P1 en P2 op .....

Datum oogst eerste snede: 24 april 2005

Behandelingen: 2 N-, 2 K- en 3 Na-trappen=12 veldjes

Veldjes K1 en K2 = 70 en 140 kg K<sub>2</sub>O/ha = 117 en 234 kg Kali-60/ha

Veldjes N1 en N2 = 60 en 120 kg N/ha = 222 en 444 kg KAS/ha (op P1 en P3 = 285 en 570 kg ASS/ha)

Veldjes Na0, Na1 en Na2 = 0, 50 en 100 kg Na<sub>2</sub>O/ha = 0, 100 en 200 kg graszout per ha

P1

N1	N2	N1	N2	N1	N2
K1 7	K1 8	K1 9	K1 10	K1 11	K1 12
K2 1	K2 2	K2 3	K2 4	K2 5	K2 6
Na2	Na0	Na1	Na2	Na0	Na1

P2

N1	N2	N1	N2	N1	N2
K1 19	K1 20	K1 21	K2 22	K2 23	K2 24
K2 13	K2 14	K2 15	K1 16	K1 17	K1 18
Na2	Na0	Na1	Na2	Na0	Na1

Groningen 2006 (zeeklei)

Locatie P21 en P22: MTS Bakker, Bovenrijgerweg 13, 9797 TD Thesinge

Behandelingen: 2 N-, 2 K-, 2P- en 3 Na-trappen=24 veldjes per locatie

Veldjes K1 en K2 = 0 en 100 kg K<sub>2</sub>O/ha = 0 en 166 kg Kali-60/ha

Veldjes N1 en N2 = 60 en 120 kg N/ha = 222 en 444 kg KAS/ha

Veldjes P1 en P2 = 00 en 110 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha = 0 en 245 kg tripel/ha

Veldjes Na0, Na1 en Na2 = 0, 50 en 100 kg Na<sub>2</sub>O/ha = 0, 100 en 200 kg graszout per ha

**Overzicht perceel 21 voor**

	P0	P1	P0	P1	
N1	1	2	3	4	Na1
N1	5	6	7	8	Na2
N1	9	10	11	12	Na0
N2	13	14	15	16	Na2
N2	17	18	19	20	Na0
N2	21	22	23	24	Na1
	K0	K0	K1	K1	

Veldjesgrootte: 10x25m

**Overzicht perceel 22 achter**

	P1	P0	P1	P0	
N2	25	26	27	28	Na1
N2	29	30	31	32	Na2
N2	33	34	35	36	Na0
N1	37	38	39	40	Na2
N1	41	42	43	44	Na0
N1	45	46	47	48	Na1
	K1	K1	K0	K0	

Overige bemestingen: 100 kg kieseriet/ha (25 kg MgO/ha en 20 kg S/ha)

Datum oogst eerste snede: 26 mei 2006

## Bijlage 2. Naar nieuwe adviezen algemeen



Het belang van bemesten: de juiste hoeveelheid, op de juiste plaats en het juiste tijdstip neemt toe. Dat begint bij grondonderzoek en kennis van de respons op meststoffen. Aanvullend is van belang te weten wanneer en hoe er bemest dient te worden. Met deze 3 factoren wordt nu veelal wel rekening gehouden in de bemestingsadvisering. Kwaliteitsverbeteringen zijn zeker als het gaat om de relatie tussen grondonderzoek en opbrengstrespons mogelijk.

Met de weersomstandigheden wordt slechts beperkt rekening gehouden in advisering. Anderzijds neemt de kwaliteit van weersvoorspellingen (T en neerslag) sterk toe. Om hiermee te kunnen werken neemt ook het belang van ICT sterk toe. Deze rol wordt nog sterker indien bij de advisering rekening wordt gehouden met de ruimtelijke variabiliteit (dit wordt door sommigen precisiebemesting genoemd) en terugkoppeling in het seizoen met grond en gewasproductie gegevens, hetgeen nog vrijwel niet gebeurt. Een laatste stap die mee kan helpen bij een betere advisering is het betrekken van de perceelshistorie in de advisering. Op dat moment kun je spreken van **precisiebemesting** met daarin een cruciale rol voor ICT.

**Bijlage 3. Teeltgegevens, chemische- en minerale samenstelling en voederwaarde van de graskuilen, uitgedrukt in g/kg drogestof tenzij anders aangegeven**

<b>Graskuil</b>	<b>120-1</b>	<b>120-2</b>	<b>120-3</b>	<b>145-1</b>	<b>145-2</b>	<b>145-3</b>	<b>145-4</b>
<i>Bemesting</i>	97	97	97	97	97	97	97
<i>Kg N/ha</i>							
<i>Bemesting</i>	0	200	450	0	125	300	550
<i>Kg NaCl/ha</i>							
<i>Maaidatum</i>	10-6-2005	10-6-2005	10-6-2005	28-6-2005	28-6-2005	28-6-2005	28-6-2005
<i>Natrium analyse</i>							
<i>(voorgedroogd gras)</i>							
<u>Analyse/bron<sup>1</sup></u>							
Na (g/kg ds)	1,60	4,12	5,37	1,47	1,59	2,31	3,07
<i>Chemische samenstelling</i>							
<i>(graskuil)</i>							
<u>Analyse/bron<sup>2</sup></u>							
Drogestof (g/kg)	528	506	516	-	-	653	605
Ruw eiwit <sup>3</sup>	133	149	141	-	-	91	93
Ruwe celstof	275	263	260	-	-	270	274
Ruw vet	26	29	29	-	-	25	25
Ruw as	102	116	120	-	-	101	103
Suikers	99	118	132	-	-	178	155
Zetmeel	-	-	-	-	-	-	-
NDF	533	536	519	-	-	538	563
ADF	320	296	290	-	-	309	314
ADL	29	27	26	-	-	32	33
NH <sub>3</sub> (% van RE)	7	6	6	-	-	3	3
VC-OS <sup>4</sup> (%)	75,4	76,5	74,9	-	-	73,2	72,0
<i>Mineralen</i>							
<u>Analyse/bron<sup>2</sup></u>							
P	3,4	4,0	3,3	-	-	2,9	3,0
K	31	37	34	-	-	28	30
Ca	4,7	5,9	5,6	-	-	6,2	6,2
Na	1,6	4,1	4,4	-	-	2,2	2,8
Mg	1,4	1,5	1,4	-	-	1,2	1,2
<i>Voederwaarde</i>							
<u>Berekening/bron<sup>2</sup></u>							
VEM	857	863	837	-	-	822	805
DVE	73	75	71	-	-	60	58
OEB	-2	13	7	-	-	-39	-35
FOS	588	580	566	-	-	585	573

<sup>1</sup>) analyse door CenE lab ASG

<sup>2</sup>) partij analyse door BLGG

<sup>3</sup>) eiwit in graskuilen exclusief ammoniak

<sup>4</sup>) Verteringscoëfficiënt van organische stof