

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 475

Stikstofwerking van mineralenconcentraten op grasland

Veldproeven 2009 en 2010

Mei 2011



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR



Colofon

Uitgever

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2011

Overname van de inhoud is toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.

Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research en Central Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen met het Departement Dierwetenschappen van Wageningen University de Animal Sciences Group van Wageningen UR (University & Research centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

In 2009 and 2010 field experiments took place to determine the N fertilizer value of mineral concentrates.

Keywords

Mineral concentrates, grassland, N fertilizer value, fertilization

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)

J.C. van Middelkoop
G. Holshof

Titel

Stikstofwerking van mineralenconcentraten op grasland

Rapport 475

Samenvatting

In 2009 en 2010 zijn veldproeven op grasland uitgevoerd om de N-werkingscoëfficiënten van mineralenconcentraten te bepalen.

Trefwoorden

Mineralenconcentraten, grasland, N-werkingscoëfficiënt, bemesting

Rapport 475

Stikstofwerking van mineralenconcentraten op grasland

N fertilizer value of mineral concentrates on grassland

J.C. van Middelkoop
G. Holshof

Mei 2011

Voorwoord

In de zomer van 2009 en 2010 zijn we bij het uitvoeren van onze proeven door een aantal mensen bijgestaan met veel enthousiasme en goede raad. Enkelen willen we bij naam noemen. Ten eerste Jan van Lenthe van PPO die een mooi apparaat heeft gebouwd om de concentraten toe te dienen. Het bleek dat de toe te dienen hoeveelheden te groot waren voor een machine voor vloeibare kunstmest en te klein voor een machine voor drijfmest. Ook in het veld bij het uitrijden hebben we heel prettig samengewerkt met Jan. Zelfs toen dat we de concentraten eerst moesten filteren en de geur van de concentraten toch wel doordringend bleek te zijn, was zijn goede humeur onverwoestbaar. Ten tweede Ferdi van der Kolk van Aver Heino die voor ons contact heeft onderhouden met de proefveldhouders Roelofs en Wijnhout en de proeven aldaar heeft uitgevoerd. Ten derde Pierre Bakker van PPO die gezorgd heeft dat de proef in Lelystad uitgevoerd werd naar onze wens. Als het nodig was kon alles op korte termijn geregeld worden. Een veldproef kun je niet alleen uitvoeren en het was zeer prettig dat de mensen waar we van afhankelijk waren enthousiast en flexibel waren.

J.C. van Middelkoop
G. Holshof

Samenvatting

Inleiding

Verwerking van dierlijke mest wordt, naast voermaatregelen en export van mest, gezien als mogelijkheid om de druk op de mestmarkt in Nederland te verlichten. Een van de mogelijkheden is dat mest wordt gescheiden en dat het mineralenconcentraat, dat ontstaat uit omgekeerde osmose (OO) van de dunne fractie, gebruikt wordt als kunstmestvervanger.

Het mineralenconcentraat is een met industrieel proces vervaardigde meststof conform de definitie van kunstmest in de Nitraatrichtlijn. Het is te verwachten dat het concentraat andere kenmerken heeft dan dierlijke mest. Maar tegelijk valt het concentraat ook onder de definitie van dierlijke mest uit de Nitraatrichtlijn, zelfs na bewerking. En daarmee blijft gebruik ervan beperkt door de gebruiksnormen voor dierlijke mest.

Het landbouwbedrijfsleven, het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie en het ministerie van Infrastructuur en Milieu hebben gedurende 2009 en 2010, met instemming van de Europese Commissie, de landbouwkundige, economische en milieukundige effecten van de productie en gebruik van het mineralenconcentraat ter vervanging van kunstmest onderzocht. Dit past in het streven om tot een verantwoorde afzet van dierlijke meststoffen te komen en het past in het streven om mineralenkringlopen verder te sluiten. De gegevens uit het onderzoek dienen voor het overleg met de Europese Commissie over een eventuele permanente voorziening van gebruik van het mineralenconcentraat als kunstmestvervanger. Dit betekent dat mineralenconcentraat dan bovenop de gebruiksnorm voor dierlijke mest maar binnen de totale gebruiksnorm voor stikstof kan worden toegepast.

In de pilots nemen acht producenten deel en honderden gebruikers. Elke producent beheert een installatie waarmee mineralenconcentraat wordt geproduceerd. De gebruikers zijn akkerbouwers en veehouders die het mineralenconcentraat als meststof gebruiken. De gegevens uit het onderzoek dienen ook voor het opstellen van technische dossiers van het concentraat. Dit technische dossier wordt gebruikt voor toetsing van de mineralenconcentraten aan de Europese regelgeving voor minerale meststoffen (EG-meststof¹) en de nationale regelgeving door toetsing aan het Protocol 'Beoordeling stoffen Meststoffenwet' (van Dijk et al., 2009²).

Gedurende 2009 en 2010 zijn in het kader van de pilots de volgende studies uitgevoerd:

- Monitoring van de deelnemende mestverwerkingsinstallaties.
- Landbouwkundige en milieukundige effecten van toepassing van mineralenconcentraten en andere de producten uit deze installaties als meststof.
- Gebruikerservaringen en een economische analyse van het gebruik van mineralenconcentraten in de pilot.
- Life Cycle Analysis (LCA).

De pilots zijn eind 2010 met maximaal 1 jaar verlengd tot eind 2011. In 2011 wordt aanvullend onderzoek uitgevoerd op het gebied van de milieukundige effecten.

Het onderzoek werd gefinancierd door het productschap Zuivel, het productschap Vee en Vlees, het ministerie van EL&I en het ministerie van I&M. De regie van het onderzoek en gerelateerde zaken in de pilot vond plaats door het ministerie van EL&I, het ministerie van I&M, LTO en NVV.

In dit rapport staan de resultaten van Landbouwkundige en milieukundige effecten van toepassing van mineralenconcentraten en andere de producten uit deze installaties als meststof over de jaren 2009 en 2010 op grasland.

¹ EU (2003) VERORDENING (EG) nr. 2003/2003 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 13 oktober 2003 inzake meststoffen

² Dijk, van T.A., J.J.M. Driessen, P.A.I. Ehlert, P.H. Hotsma, M.H.M.M. Montforts, S.F. Plessius & O. Oenema (2009) Protocol beoordeling stoffen Meststoffenwet, versie 2.1, Werkdocument 167, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu, Wageningen, 74 p.

Doel van het onderzoek

In Nederland wordt mest meestal toegediend in de vorm van dunne mest, een mengsel van urine en faeces. De stikstof (N) is verdeeld over minerale N in de vorm van ammonium en organische N. In varkensmest is die verdeling ongeveer 40% organisch en 60% mineraal en in rundermest 50% - 50%. De ammoniakale N is de belangrijkste component die de werkzaamheid van de stikstof bepaalt in het jaar van toedienen.

Na mestverwerking door ultrafiltratie of een gelijkwaardige industriële techniek gevolgd door omgekeerde osmose bestaat de N in het mineralenconcentraat grotendeels uit ammoniakale stikstof. Ehlert en Hoeksma (2011) spreken de verwachting uit dat "mineralenconcentraat door het lage gehalte aan organisch gebonden stikstof niet veel onderdoet voor een volledig minerale stikstofmeststof indien er sprake is van een vergelijkbare mate van vervluchtiging (5%) maar een (aanzienlijk) lagere werkingscoëfficiënt heeft indien de ammoniakvervluchtiging hoger is dan die bij vloeibare kunstmeststoffen. Gemiddeld bedraagt de werkingscoëfficiënt zonder ammoniakverliezen 94%. Door verlies van ammoniak wordt geschat dat de berekende werkingscoëfficiënt zal variëren van 76-90% op bouwland en bij zodebemesting op grasland van 67-81%." Dit is op basis van een theoretische benadering. In deze proef zal getoetst worden of de aangegeven N-werkingscoëfficiënten bereikt worden in het veld op grasland.

Doel van het onderzoek

- Vaststelling van de stikstofwerking van mineralenconcentraten in grasland op zandgrond en kleigrond ten opzichte van de referentie meststof kalkammonsalpeter (KAS).
- Bepaling van de hoeveelheid minerale N in de bodem in het najaar.
- Bijkomend doel in 2010: aanwijzingen vinden waarom de werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten in 2009 lager was dan verwacht.

Materiaal en methode

In voorjaar 2009 en 2010 zijn er proefvelden op blijvend grasland op zand, nabij proefcentrum Aver Heino (Lemelerveld en Heino) en op klei, op proefcentrum Waiboerhoeve (Lelystad) aangelegd. Voor het uitrijden van de concentraten is op het proefbedrijf van PPO-AGV in Lelystad een machine ontwikkeld. Deze machine snijdt met kouters door de graszode en legt de vloeibare meststof in het getrokken sleufje. Het kouter was voor grasland op vijf cm onder maaiveld ingesteld, vergelijkbaar met een goed afgestelde zodenbemester.

Om N-werkingscoëfficiënten van (organische) meststoffen vast te stellen is het gebruikelijk om minimaal één niveau van N bemesting van een referentie meststof en van de te onderzoeken meststof aan te leggen. De niveaus worden dan zo gekozen dat er naar verwachting ongeveer evenveel N voor de plant beschikbaar komt zodat gerekend wordt in hetzelfde N-respons traject. Om na te gaan hoe groot de respons van het gewas is, worden tevens objecten aangelegd waarop geen N gegeven wordt zodat bekend is hoeveel het proefveld zonder N-bemesting produceert. Meerdere N-niveaus hebben de voorkeur omdat de N-werkingscoëfficiënt nauwkeuriger wordt vastgesteld.

Op de proefvelden zijn per jaar drie N-niveaus aangelegd voor alle meststoffen: 100, 200 en 300 kg N per ha. Naast deze met N bemeste objecten zijn er vier objecten zonder N-bemesting aangelegd die nul, één, twee en drie keer gesneden zijn met de machine waarmee de vloeibare meststoffen (inclusief mineralenconcentraten) zijn toegediend. De behandelingen met het snijden van de zode zijn aangelegd om na te gaan of de schade aan het gewas door het snijden terug te vinden is in de opbrengst. Wanneer de schade in het gewas de opbrengst negatief zou beïnvloeden, zou dat de werkingscoëfficiënt van de vloeibare meststoffen verlagen ten opzichte van niet snijden.

In 2009 zijn drie mineralenconcentraten (concentraat A, C en D), de korrelmeststof KAS (kalkammonsalpeter) en vloeibaar ammoniumnitraat toegediend. Alle meststoffen zijn in de snede 1, snede 1+2 en snede 1+2+3 toegediend op drie N-niveaus. De sneden kregen per N-niveau evenveel N zodat objecten die voor 1 snede bemest werden, een lagere N-bemesting kregen dan de objecten die voor 2 of 3 sneden bemest werden. In drie tijdstippen en twee proefjaren verwachten we spreiding te krijgen in de omstandigheden waaronder de concentraten worden toegediend, zoals weer en moment in het groeiseizoen. Totaal zijn er op alle objecten vijf sneden geogst.

In 2009 bleken de werkingscoëfficiënten van de mineralenconcentraten lager te zijn dan verwacht. Om aanwijzingen te krijgen wat hier de oorzaak van was zijn in 2010 meer behandelingen in de proef opgenomen. Nagegaan is of de lage werkingscoëfficiënten toe te schrijven zijn aan snijwerking van de machine, ammoniakemissie en stikstofvorm (ammonium of ammonium+nitraat).

In 2010 zijn eveneens drie mineralenconcentraten (één gelijke als in 2009 en twee andere: concentraat A, B en E), de korrelmeststof KAS en vloeibaar ammoniumnitraat toegediend.

Eveneens zijn de vier objecten zonder N-bemesting aangelegd (nul, één, twee en drie keer gesneden). Daarnaast is een object met 100, 200 en 300 kg N per ha uit KAS dat gesneden werd met de machine zonder mestafgifte, een object met aangezuurd A-concentraat en een object met opgelost ammoniumchloride aangelegd. Het doel van het object met KAS en een gesneden zode is nagaan of de snijwerking van de toedieningsmachine bij behandelingen met een N-bemesting een lagere (of hogere) opbrengst opleverde. Het doel van aanzuren van het A-concentraat was om na te gaan of ammoniakemissie een oorzaak was voor de lage N-werking. Door het verlagen van de pH wordt de ammoniakemissie gereduceerd. Het aanzuren is uitgevoerd met propionzuur. Het object met opgelost ammoniumchloride was om na te gaan of de N-vorm (50 % ammonium 50 % nitraat versus 100 % ammonium) een verklaring kon zijn voor de lage N-werking. Aan het eind van groeiseizoen is minerale N in de bodem in 0-30, 30-60 en 60-90 cm onder maaiveld bepaald, in 2009 alleen op zand, in 2010 zowel op zand als op klei.

De snede opbrengsten in droge stof en in N zijn opgeteld tot jaaropbrengsten. De uiteindelijk gegeven N-bemestingen met concentraten wijken iets af van de ingestelde bemesting omdat de gehalten van de concentraten iets afwijken van de vooraf bekende gehalten. Achteraf zijn de bemestingen met de werkelijk gemeten waarden berekend. Daarom week de werkelijk gegeven N-bemesting iets af van de geplande bemesting.

De resultaten zijn statistisch geanalyseerd met een methode waarbij een model wordt ontwikkeld dat zo goed mogelijk bij de data past (residual maximum likelihood, reml). Hierbij is gerekend met de werkelijk gegeven N.

Met het ontwikkelde model is nagegaan welke factoren significante invloed hadden op de opbrengst van het gras. Vervolgens zijn er droge stofopbrengsten en N-opbrengsten met het model berekend bij de geplande N-giften 0, 100, 200 en 300 kg N per ha. Die opbrengsten zijn gebruikt om de werkingscoëfficiënten te berekenen. De opbrengst bij 0 N-bemesting met en zonder snijden is vergeleken. Wanneer de opbrengst met snijden significant verschilde van die zonder snijden wordt uitgegaan van 2 verschillende opbrengsten bij 0 kg N: één voor de vloeibare meststoffen en één voor KAS. Als er geen significant verschil is wordt uitgegaan van dezelfde opbrengst bij 0 kg N voor alle meststoffen.

Resultaten

De statistische analyse van de resultaten met reml toont aan dat de droge stofopbrengsten en de N-opbrengsten met de referentie meststof KAS significant hoger zijn dan die met de vloeibare meststoffen inclusief de mineralenconcentraten. Dit geldt voor beide jaren op beide locaties.

De droge stof- en N-opbrengst op de gesneden objecten, met en zonder N-bemesting, zijn niet significant verschillend, het snijden met de toedieningsmachine veroorzaakt geen opbrengstdaling. Er is in de berekening van de werkingscoëfficiënten daarom uitgegaan van dezelfde opbrengst bij 0 kg N voor alle meststoffen.

De N-werkingscoëfficiënten zijn berekend op basis van de droge stofopbrengsten en de N-opbrengsten, gemiddeld over de N-bemesting 100, 200 en 300 kg N per ha.

De N-werkingscoëfficiënt op basis van N-opbrengst is de meest zuivere berekening omdat het eiwitgehalte en daarmee het N-gehalte belangrijk is voor de kwaliteit van het gras voor veevoeding.

Om de N-werkingscoëfficiënt te berekenen is de Apparent Nitrogen Recovery (ANR) van alle meststoffen berekend. Die is berekend door:

$$\frac{(N\text{-opbrengst bij N-bemesting}) - (N\text{-opbrengst zonder N-bemesting})}{N\text{-bemesting}} = \text{ANR}$$

De N-werkingscoëfficiënt vervolgens door:

ANR van te onderzoeken meststof / ANR van referentie meststof = N werkingscoëfficiënt

De N-werkingscoëfficiënten van de concentraten zijn ten opzichte van de referentie meststof KAS lager dan verwacht. De berekende N-werkingscoëfficiënt voor de concentraten ten opzichte van KAS is gemiddeld over beide jaren, beide locaties en alle mineralenconcentraten 58%. Het varieerde tussen jaren en mineralenconcentraten van 43% tot 69%. Tussen de locaties was geen verschil.

De berekende N-werkingscoëfficiënt ten opzichte van vloeibaar ammoniumnitraat is gemiddeld 96%. Dit varieerde tussen jaren en mineralenconcentraten van 76 tot 115%. De concentraten werken vrijwel net zo goed als de vloeibare ammoniumnitraat.

Discussie

De dosering van de mineralenconcentraten met de machine was nauwkeurig: de techniek van vloeistofafgifte (debiet) met overdruk en spuitplaatjes was nauwkeurig af te stellen en de trekker wordt regelmatig geijkt op snelheid. Het N-gehalte van de mineralenconcentraten is nauwkeurig bepaald. De uiteindelijke N-gift is naar verwachting nauwkeurig vastgesteld.

Aanzuren met propionzuur heeft de pH te weinig verlaagd om invloed te hebben op de ammoniakemissie (van pH 8 naar pH 7). Aanzuren met propionzuur heeft de opbrengsten op grasland waarschijnlijk verlaagd door toxiciteit van propionzuur voor planten. Op basis van dit proefonderdeel is niet te concluderen of de ammoniakemissie wel of geen oorzaak is voor de lage werking van mineralenconcentraten.

Snijwerking blijkt geen (negatieve) invloed op de opbrengst te hebben gehad, zowel met als zonder N-bemesting. Het is daarom geen oorzaak voor de lage N-werking van mineralenconcentraten.

De opbrengst met (opgeloste) ammoniumchloride blijkt lager te zijn dan met de mineralenconcentraten. Dit is waarschijnlijk het gevolg van een overmaat aan chloor die is toegediend met deze meststof. Op basis van de proef is niet te concluderen dat de ammoniumvorm waarin de N aangeboden wordt met mineralenconcentraten een oorzaak is voor de lage werking van mineralenconcentraten.

Het N-mineraalgehalte in de bodem is niet hoger bij mineralenconcentraten dan bij KAS. Dit is wel de verwachting omdat er een gelijke hoeveelheid N op beide objecten is toegediend maar bij mineralenconcentraten minder is opgenomen. Het is niet duidelijk waar de N blijft, die niet opgenomen is door het gewas.

De N uit mineralenconcentraten blijkt ongeveer even goed te werken als de N uit ammoniumnitraat. De N uit deze vloeibare meststoffen blijkt slechter te werken dan de N uit KAS. In vloeibaar ammoniumnitraat is de N gelijk verdeeld over ammonium en nitraat als in KAS (50%-50%). Het verschil tussen deze twee meststoffen is dat KAS in korrels wordt verdeeld over het gras en vloeibaar ammoniumnitraat als vloeistof in sleuven met 18 cm tussenruimte op het gras wordt gegeven. Het verschil in opbrengst en daarmee de lage werkingscoëfficiënt lijkt te worden veroorzaakt door het feit dat concentraten vloeibaar zijn en ruimtelijk anders worden verdeeld dan korrelmeststoffen.

Toedienen van vloeibare meststoffen geven op grasland vaak een lagere opbrengst dan toedienen van korrelmeststoffen. Mogelijk hangt dit samen met de ruimtelijke verdeling van de N-bemesting. Over de verdeling van N over het grasland is bekend (en tevens te beredeneren) dat dit invloed heeft. Te grote afstand tussen de kouters kan voor een slechtere N-benutting zorgen. In het veld is dit in de proef niet visueel waargenomen maar relatief kleine verschillen kunnen waargenomen worden door nauwkeurige opbrengstbepalingen.

Conclusie

De berekende N-werkingscoëfficiënt van de concentraten ten opzichte van KAS is gemiddeld over beide jaren, beide locaties en alle mineralenconcentraten 58%. Het varieerde tussen jaren en mineralenconcentraten van 43 tot 69%. Tussen de locaties was geen verschil in werkingscoëfficiënt op basis van N-opbrengst.

De berekende N-werkingscoëfficiënt ten opzichte van vloeibaar ammoniumnitraat op basis van N-opbrengst is gemiddeld 96%. Dit varieerde tussen jaren en mineralenconcentraten van 76 tot 115%. De mineralenconcentraten werkten vrijwel net zo goed als de vloeibare ammoniumnitraat. De berekende N-werkingscoëfficiënt van vloeibaar ammoniumnitraat ten opzichte van KAS op basis van N-opbrengst is gemiddeld 60%.

Summary

Introduction

Processing of animal manure is, alongside feed measures, considered to be a method of lowering the pressure on the manure market in the Netherlands. One of the possibilities is the use of mineral concentrates as replacement for chemical fertilizer. Mineral concentrates are products from the processing method involving the separation of manure and production of mineral concentrate, followed by reversed osmosis (RO) from the thin fraction.

The mineral concentrate is an industrially processed fertilizer in accordance with the definition of chemical fertilizer in the Nitrate Directive. Concentrate is expected to have other characteristics than animal manure. While at the same time the concentrate falls under the definition of an animal manure of the same Nitrate Directive, even after processing. This implies that use of the concentrate is limited to N application standards for animal manure.

The agricultural industry, the ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation and the ministry of Infrastructure and Environment, with approval of the European Committee, in 2009 and 2010 examined the agricultural, economic and environmental effect of the production and use of the mineral concentrate as replacement for chemical fertilizer. This in accordance with the ambition to attain a responsible sale of animal manure and improvement of efficiency of nutrient cycles. Data retrieved from this research will facilitate the discussion with the European Committee leading to a possible permanent arrangement for the use of mineral concentrate as fertilizer replacement. This would allow mineral concentrate to be used on top of the N application standard for animal manure while remaining within the N application standard for total N.

These pilot studies included eight producers and hundreds of users. Every producer involved managed an installation producing mineral concentrate. All users were either arable or livestock farmers who use the mineral concentrate as a fertilizer. Data retrieved from this research has been compiled in a technical dossier on mineral concentrate. This technical dossier will be used for an assessment of the mineral concentrates in relation to the European rules for mineral fertilizers (EU-fertilizer³) and the national rules based on the protocol 'Beoordeling stoffen Meststoffenwet' (Assessment substances fertilizer law, van Dijk et al., 2009⁴).

During 2009 and 2010 the following studies were performed within the framework of the pilot studies:

- Monitoring of the participating manure processing installations;
- Agricultural and environmental effects of utilization of mineral concentrates and other products from these installations as fertilizer;
- User experiences and an economic analysis of the utilization of mineral concentrates;
- Life Cycle Analysis (LCA);

At the end of 2010 the pilots were extended by a maximum of one year until the end of 2011. In 2011 additional research will be performed in the field on environmental effects.

This research was financed by the Dairy Board, the Livestock and Meat Board, the ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation and the ministry of Infrastructure and Environment. Management of the research and related business during the pilot studies was performed by the ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation (EL & I), the ministry of Infrastructure and Environment (I&M), Agricultural and Horticultural Organisation (LTO) and the Dutch Pig Farmers Union (NVV).

This report presents the results of the agricultural and environmental effects of fertilizer utilization of mineral concentrates and other products from the installations as fertilizer in 2009 and 2010 on grassland.

³ EU (2003) VERORDENING (EG) nr. 2003/2003 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 13 oktober 2003 inzake meststoffen

⁴ Dijk, van T.A., J.J.M. Driessen, P.A.I. Ehlert, P.H. Hotsma, M.H.M.M. Montforts, S.F. Plessius & O. Oenema (2009) Protocol beoordeling stoffen Meststoffenwet, versie 2.1, Werkdocument 167, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu, Wageningen, 74 p.

Objective of the research

In the Netherlands animal manure is commonly applied as slurry, a mixture of urine and faeces. The nitrogen (N) is divided over mineral N (ammonium) and organic N. Pig slurry comprises about 40 % organic and 60 % mineral N, the ratio in cattle slurry is approximately 50:50. Ammonium N is the most important component that determines the annual N fertilizer application value.

After processing, by separation followed by reversed osmosis the N in the mineral concentrates extracted from the manure exists for the most part out of ammonium N. Ehlert and Hoeksma (2011) stated that "mineral concentrate by the low content of organic bound nitrogen is not inferior to a fully chemical nitrogen fertilizer when there is a comparable degree of volatilization (5%) but has a (considerable) lower fertilizer value if the ammonia volatilization is higher than in case of liquid fertilizers. On average the fertilizer value without ammonia volatilization is 94 %. By ammonia loss the calculated fertilizer value will vary from 76 % to 90 % on arable land and with disc injection on grassland from 67 % to 81 %." This statement was based on a theoretical approach. In this experiment it was the aim to assess whether the indicated N fertilizer value would be actually attained in practice on grassland.

Objectives

- Determination of the N fertilizer value of mineral concentrates on grassland on sand and clay soils compared to the reference fertilizer calcium ammonium nitrate (CAN).
- Determination of the amount of mineral N in the soil in autumn.
- Additional objective in 2010: search for an explanation of the unexpected lower fertilizer value of mineral concentrates in 2009.

Material and method

In the spring of 2009 and 2010 experimental fields were established on permanent grassland on sandy soils, in the close proximity to the experimental farm Aver Heino (Lemelerveld and Heino) and on clay soils, at the experimental farm Waiboerhoeve (Lelystad). In order to apply the concentrates a prototype machine was developed at the experimental farm of PPO-AGV at Lelystad. This machine cuts through the sod with coulter and places the liquid fertilizer in the resulting opening. For use on grassland the coulter was set at 5 cm below surface, comparable with a well-adjusted disc injector.

In the determination of N fertilizer values of (organic) fertilizer it is customary to compare the level of N fertilization of the test fertilizer with a reference fertilizer. The levels are chosen in expectation that equal amounts of N are available to the plant from both fertilizers, so that the crop has a similar response level to both fertilizers. Crop response is also determined for objects without N fertilization in order to establish field production without N fertilization (zero control). More N levels are preferred for accurate determination of the fertilizer value.

Each year three N levels are applied: 100, 200 and 300 kg N per ha on the experimental pastures. Besides the fertilized objects, four objects without N fertilization were included. These objects were uncut or cut one, two or three times with the machine that was used to apply the liquid fertilizers (including the mineral concentrates). Incision treatments involving cutting of the sod were included to determine whether or not the damage to the grass was reflected in the yield. Where the crop damage had a detrimental effect on yield, a lower fertilizer value of liquid fertilizer would be partly declared by cutting.

In 2009, three mineral concentrates (concentrate A, C and D), CAN (calcium ammonium nitrate) granulate and the liquid ammonium nitrate were applied. All fertilizer were applied prior to the first or first + second or first + second + third cut at three N-levels. The cuts received equal amounts of N per N level so that objects fertilized before a single cut, received less N than objects fertilized before double or triple cuts. After three fertilization moments and two experimental years we expect to have variation in field conditions e.g. weather and moment in the growing season. Five cuts were harvested from all objects.

In 2009, the N fertilizer values of the mineral concentrates were lower than expected. In order to determine what could have caused this, more treatments were included in the experiment in 2010. It was investigated whether or not the low fertilizer values could have been caused by mechanical cutting, the ammonia emission and the form of N (ammonium or ammonium+nitrate) applied.

In 2010 three mineral concentrates (one equal to 2009 and two different: concentrate A, B and E), were applied as CAN granulate and liquid ammonium nitrate. Again four objects were included without N fertilization (uncut, single, double and triple cut).

Additionally, one object with 100, 200 and 300 kg N (CAN) per ha was machine cut, an object with acidified A concentrate and an object with soluble ammonium chloride were included in the experiment. The object with CAN and a cut sod was introduced to determine whether or not mechanical cutting with the prototype application machine would affect (lower or increase) yield. Acidification (with propionic acid) of the A-concentrate was to determine whether or not ammonia emission reduced N fertilizer value. This was based on the assumption that lowering of the pH reduces ammonia emission. Soluble ammonium chloride was introduced to determine whether the form of N (50 % ammonium 50 % nitrate versus 100 % ammonium) reduced fertilizer value. At the end of the 2009 growing season, mineral N was analysed in soil samples taken at 0-30, 30-60 and 60-90 cm below surface, on sand and was repeated in 2010 on sand and clay.

Dry matter and N yields from each cut were added to determine annual yields. Actual N fertilization application levels with concentrates differed from those planned as the contents of the concentrates differed slightly from pre-determined contents. Afterwards the fertilizations were recalculated on the basis of the analysed contents.

Results were statistically analysed using residual maximum likelihood (REML) prediction modelling using the Genstat program. The model was developed using the actual application levels of N. This model was able to determine which factors significantly influence grass yield. Additionally, dry matter yields (DMY) and N yields (NY) were predicted with the model using planned N fertilization levels 0, 100, 200 and 300 kg N per ha. These yields were then used to predict N fertilizer values. A comparison could then be performed of the yields from the 0 N fertilization objects with and without cutting. Should these differ significantly, two yields could be selected at 0 N fertilization: one for liquid fertilizers and one for CAN. If no significant difference was forthcoming, the same yield at 0 N could be used for all types of fertilizers.

Results

Statistical analysis of the results using REML shows that DMY and NY are significantly higher on the reference fertilizer CAN in comparison to the liquid fertilizers including the mineral concentrates. This remained true for both years at both locations. DMY and NY from the uncut and cut objects, with and without N fertilization, did not differ significantly. Mechanical cutting using the prototype application machine was not responsible for yield reduction. Calculation of the N fertilizer value for all fertilizers was based on the same yield at 0 kg N.

Nitrogen fertilizer values were calculated based on DMY and NY, averaged over 100, 200 and 300 kg N per ha fertilization. Nitrogen fertilizer value based on NY is more accurate because the protein content and therefore the N content is important for the quality of grass used for livestock feeding.

In order to calculate the N fertilizer value the Apparent Nitrogen Recovery (ANR) of all fertilizers is calculated as :

$$\frac{(\text{N-yield with N fertilizer applied}) - (\text{N-yield without N fertilizer})}{\text{N-fertilizer applied}} = \text{ANR}$$

The N fertilizer value is calculated as:

$$\text{ANR of tested fertilizer} / \text{ANR of reference fertilizer} = \text{N fertilizer value (NFV)}$$

The NFV of concentrates with CAN as reference were lower than expected. The NFV based on CAN, averaged over both years, both locations and all mineral concentrates was 58 %. This fluctuated between years and concentrates in a range from 43 % to 69 %. There was no difference between locations.

The calculated NFV based on liquid ammonium nitrate averaged 96 %. This fluctuated between years and type of mineral concentrate in the range from 76 % to 115 %. Mineral concentrates displayed virtually the same NFV as the liquid ammonium nitrate.

Discussion

Dosage of mineral concentrates using the prototype machine was accurate: the technique was adopted from spraying machines and accurately adjusted to the target flow rate. Tractor speed was

regularly calibrated and N content in mineral concentrates was accurately determined. The ultimate N fertilization is assumed to have been accurately calculated.

Addition of propionic acid did not lower pH enough (pH 8 to pH 7) to be capable of influencing the ammonium emission. Acidification with propionic acid probably decreased the grassland yield because of the toxic effect of propionic acid on plants. Based on these observations it is impossible to conclude whether or not the ammonia emission were responsible for the low NFV of mineral concentrates.

Cutting through the grass sod appears to have had no (negative) influence on the yield, both with and without N fertilization. Cutting is not responsible for the reduction in the NFV of mineral concentrates.

Yields obtained with (soluble) ammonium chloride appear to be lower than those with mineral concentrates. This was probably caused by an excess of chloride, applied with this fertilizer. More on this subject can be found in the report of Ehlert and Hoeksma (2011). Based on the observations from this experiment it is impossible to conclude that N applied as ammonium in the mineral concentrates was responsible for the reduction in NFV of mineral concentrates.

Mineral N content in the soil is not higher after mineral concentrates are applied than after CAN is applied. This was unexpected because although equal amounts of N were applied on both objects those objects receiving mineral concentrates resulted in lower uptakes by the plants it was expected that the excess N resulted in higher mineral N content in the soil. It is not clear where the excess N, not taken up by plants, remains.

Nitrogen in mineral concentrates have an NFV similar to ammonium nitrate. The N in this liquid fertilizer appears to have a lower efficiency than the N from granulated CAN.

Supply of N from liquid ammonium nitrate is equally divided over ammonium and nitrate as in CAN (50%-50%). The difference between these two fertilizers is that CAN is spread as granules over the grass as top dressing and liquid ammonium nitrate is injected as a liquid into slits at intervals of 18 cm width.

Application of liquid fertilizers often results in a lower yield on grassland than application of granulated fertilizers. This is possibly related to the spatial structure of the N fertilizer. It is acknowledged that the spread (dispersion) of N on grassland can influence growing results. If the distance between the coulters is too large this can reduce efficiency of utilization. In practice this was not visually observed in the field but small differences can be observed when yield is accurately assessed.

Conclusion

Estimated NFV of the mineral concentrates based on CAN averaged 58 % over both years, locations and types of mineral concentrate. This fluctuated between years and concentrates in a range from 43 % to 69 %. No differences were observed in NFV based on NY between locations.

Average NFV of the mineral concentrates based on liquid ammonium nitrate was 96 %, over both years and locations and all types of mineral concentrate. This fluctuated between years and type of mineral concentrate in the range from 76 % to 115 %. Mineral concentrates displayed virtually the same NFV as the liquid ammonium nitrate.

The mean calculated NFV for liquid ammonium nitrate based on CAN and accounting for NY yield was 60 %.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methode	3
2.1	Mineralenconcentraten.....	3
2.2	Locaties	3
2.3	Bemesting	3
2.4	Proefveldmachine voor toediening vloeibare meststoffen	4
2.5	Oogst.....	5
2.6	N-mineraal.....	6
2.7	Statistische analyse	6
3	Resultaten	9
3.1	Gehalten en giften van meststoffen	9
3.1.1	Aanzuren van A-concentraat	10
3.2	Proefveldomstandigheden	10
3.2.1	Bodemanalyse van de proefvelden	10
3.2.2	Weer tijdens toedienen en tijdens het groeiseizoen	11
3.3	Bemesting	12
3.4	Droge stofopbrengsten.....	15
3.5	N-opbrengsten	18
3.6	N-werkingscoëfficiënten op basis van droge stofopbrengsten	20
3.7	N-werkingscoëfficiënten op basis van N-opbrengsten.....	25
3.8	N-mineraal in de bodem.....	32
4	Discussie	36
4.1	Dosering van N	36
4.2	N-werkingscoëfficiënt op basis van droge stofopbrengst versus N-opbrengst.....	36
4.3	Spreiding in N-werkingscoëfficiënt ten opzichte van onbewerkte drijfmest	37
4.4	Aanzuren	37
4.5	Ammoniumchloride	37
4.6	Snijwerking van de machine	38
4.7	Ammoniakemissie tijdens uitrijden.....	38
4.8	Nadere analyse van de werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten	38
4.9	N mineraal in de bodem	39
5	Conclusies	40
	Literatuur	41
	Bijlagen	42
Bijlage 1	Bemestingsdata	42
Bijlage 2	Gemeten droge stofopbrengsten en stikstofopbrengsten.....	43

1 Inleiding

Verwerking van dierlijke mest wordt, naast voermaatregelen en export van mest, gezien als mogelijkheid om de druk op de mestmarkt in Nederland te verlichten. Een van de mogelijkheden is dat mest wordt gescheiden en dat het mineralenconcentraat, dat ontstaat uit omgekeerde osmose (OO) van de dunne fractie, gebruikt wordt als kunstmestvervanger.

Het mineralenconcentraat is een met industrieel proces vervaardigde meststof conform de definitie van kunstmest in de Nitraatrichtlijn. Het is te verwachten dat het concentraat andere kenmerken heeft dan dierlijke mest. Maar tegelijk valt het concentraat ook onder de definitie van dierlijke mest uit de Nitraatrichtlijn, zelfs na bewerking. En daarmee blijft gebruik ervan beperkt door de gebruiksnormen voor dierlijke mest.

Het landbouwbedrijfsleven, het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie en het ministerie van Infrastructuur en Milieu hebben gedurende 2009 en 2010, met instemming van de Europese Commissie, de landbouwkundige, economische en milieukundige effecten van de productie en gebruik van het mineralenconcentraat ter vervanging van kunstmest onderzocht. Dit past in het streven om tot een verantwoorde afzet van dierlijke meststoffen te komen en het past in het streven om mineralenkringlopen verder te sluiten. De gegevens uit het onderzoek dienen voor het overleg met de Europese Commissie over een eventuele permanente voorziening van gebruik van het mineralenconcentraat als kunstmestvervanger. Dit betekent dat mineralenconcentraat dan bovenop de gebruiksnorm voor dierlijke mest maar binnen de totale gebruiksnorm voor stikstof kan worden toegepast.

In de pilots nemen acht producenten deel en honderden gebruikers. Elke producent beheert een installatie waarmee mineralenconcentraat wordt geproduceerd. De gebruikers zijn akkerbouwers en veehouders die het mineralenconcentraat als meststof gebruiken. De gegevens uit het onderzoek dienen ook voor het opstellen van technische dossiers van het concentraat. Dit technische dossier wordt gebruikt voor toetsing van de mineralenconcentraten aan de Europese regelgeving voor minerale meststoffen (EG-meststof⁵) en de nationale regelgeving door toetsing aan het Protocol 'Beoordeling stoffen Meststoffenwet' (van Dijk et al., 2009⁶).

Gedurende 2009 en 2010 zijn in het kader van de pilots de volgende studies uitgevoerd:

- Monitoring van de deelnemende mestverwerkingsinstallaties;
- Landbouwkundige en milieukundige effecten van toepassing van mineralenconcentraten en andere de producten uit deze installaties als meststof;
- Gebruikerservaringen en een economische analyse van het gebruik van mineralenconcentraten in de pilot;
- Life Cycle Analysis (LCA).

De pilots zijn eind 2010 met maximaal 1 jaar verlengd tot eind 2011. In 2011 wordt aanvullend onderzoek uitgevoerd op het gebied van de milieukundige effecten.

Het onderzoek werd gefinancierd door het productschap Zuivel, het productschap Vee en Vlees, het ministerie van EL&I en het ministerie van I&M. De regie van het onderzoek en gerelateerde zaken in de pilot vond plaats door het ministerie van EL&I, het ministerie van I&M, LTO en NVV.

In dit rapport staan de resultaten van Landbouwkundige en milieukundige effecten van toepassing van mineralenconcentraten en andere de producten uit deze installaties als meststof over de jaren 2009 en 2010 op grasland.

⁵ EU (2003) VERORDENING (EG) nr. 2003/2003 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 13 oktober 2003 inzake meststoffen

⁶ Dijk, van T.A., J.J.M. Driessen, P.A.I. Ehlert, P.H. Hotsma, M.H.M.M. Montforts, S.F. Plessius & O. Oenema (2009) Protocol beoordeling stoffen Meststoffenwet, versie 2.1, Werkdocument 167, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu, Wageningen, 74 p.

Doel van het onderzoek

In Nederland wordt mest meestal toegediend in de vorm van dunne mest, een mengsel van urine en faeces. De N is verdeeld over minerale N in de vorm van ammonium en organische N, in dierlijke mest zit (vrijwel) geen N in nitraatvorm. In varkensmest is die verdeling ongeveer 40% organisch en 60% mineraal en in rundermest 50% - 50%. De ammoniakale N is de belangrijkste component die de werkzaamheid van de stikstof bepaalt in het jaar van toedienen. Na mestverwerking door ultrafiltratie of gelijkwaardige industriële techniek gevolgd door omgekeerde osmose bestaat de N in het mineralenconcentraat grotendeels uit ammoniakale N. Ehlert&Hoeksma (2011) spreken de verwachting uit dat “mineralenconcentraat door het lage gehalte aan organisch gebonden stikstof niet veel onderdoet voor een volledig minerale stikstofmeststof indien er sprake is van een vergelijkbare mate van vervluchtiging (5%) maar een (aanzienlijk) lagere werkingscoëfficiënt heeft indien de ammoniakvervluchtiging hoger is dan die bij vloeibare kunstmeststoffen. Gemiddeld bedraagt de werkingscoëfficiënt zonder ammoniakverliezen 94%. Door verlies van ammoniak wordt geschat dat de berekende werkingscoëfficiënt zal variëren van 76-90% op bouwland en bij zodebemesting op grasland van 67-81%.” Dit is op basis van een theoretische benadering.

Doel van het onderzoek

- Vaststelling van de stikstofwerking van mineralenconcentraten in grasland op zandgrond en kleigrond;
- Bepaling van de hoeveelheid minerale N in de bodem in het najaar;
- Bijkomend doel in 2010: aanwijzingen vinden waarom de werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten in 2009 lager was dan verwacht.

In een veldproef op blijvend grasland op kleigrond en zandgrond zijn de werkingscoëfficiënten van mineralenconcentraten van totaal vijf verschillende installaties vastgesteld: in 2009 is de mest van drie installaties gebruikt en 2010 van twee andere installaties dan in 2009 en één concentraat van dezelfde installatie als in 2009.

In voorjaar 2009 en 2010 zijn er proefvelden op blijvend grasland op zand, nabij proefcentrum Aver Heino (Lemelerveld en Heino) en op klei, op proefcentrum Waiboerhoeve (Lelystad).

In 2009 bleken de werkingscoëfficiënten van de mineralenconcentraten lager te zijn dan verwacht. Om aanwijzingen te krijgen wat hier de oorzaak van was zijn in 2010 meer meststoffen in de proef opgenomen.

In november 2009 en november 2010 zijn bodemonsters genomen op de zandgrond en de kleigrond om na te gaan hoeveel minerale stikstof er in het bodemprofiel achterblijft bij gebruik van mineralenconcentraten in vergelijking met ‘gewone’ kunstmest.

2 Materiaal en methode

2.1 Mineralenconcentraten

De mineralenconcentraten zijn geproduceerd met ultrafiltratie (UF) of een gelijkwaardige techniek gevolgd door omgekeerde osmose (OO). In het volledige project zijn de mineralenconcentraten van de verschillende producenten aangeduid met letters. De processtappen waarmee de afzonderlijke concentraten tot stand gekomen zijn en welke letter bij welk mineralenconcentraat hoort, is vermeld door Hoeksma et al. (2011).

In 2009 is in overleg met PPO-AGV een keuze gemaakt voor de concentraten A, C en D. Concentraat B had begin 2009 een (te) hoog chloorgehalte voor aardappelen, de overige concentraten (E-H) waren toen nog geen onderdeel van de pilot. In 2010 zijn de mineralenconcentraten A, B en E gekozen. Het chloorgehalte van concentraat B was in 2010 aanzienlijk lager dan in 2009.

De mineralenconcentraten voor het hele seizoen zijn in beide jaren in het voorjaar aangevoerd en zijn in kuubcontainers buiten opgeslagen.

Direct na binnenkomst zijn de mineralenconcentraten bemonsterd en geanalyseerd om de toe te dienen hoeveelheid te kunnen berekenen (tabel 1).

Tabel 1 N-, P-, K- en S-gehalten van de gebruikte concentraten (g per kg), basis voor de berekening van de N-, P- en K-bemesting in 2009 en 2010

Concentraat	Jaar	N-gehalte	K-gehalte	P-gehalte	S-gehalte
A	2009	6,83	8,01	0,21	0,25
C	2009	8,95	8,11	0,34	0,41
D	2009	5,46	6,19	0,10	0,25
A	2010	6,12	6,43	0,10	0,25
B	2010	6,41	7,10	0,02	0,41
E	2010	4,54	5,89	0,09	0,25

2.2 Locaties

In het voorjaar van 2009 en 2010 zijn twee gelijkmatige percelen met blijvend grasland uitgekozen. Eén op zandgrond, nabij proefbedrijf Aver Heino bij melkveehouders. (2009: Lemelerveld, Bedrijf Roelofs, 2010: Heino, Bedrijf Wijnhout). Eén op kleigrond op de Waiboerhoeve (Lelystad), in 2009 en 2010 op hetzelfde perceel maar wel op een ander deel van dat perceel.

2.3 Bemesting

In de veldproef is de stikstofwerking van mineralenconcentraten (vloeibaar, 0,4-0,9% N, tabel 2) vergeleken met referentiemeststof kalkammonsalpeter (KAS, korrels, 27% N) en referentiemeststof opgeloste (vloeibare) ammoniumnitraat (wordt in dit rapport verder met de code ANvl weergegeven, 18% N op gewichtsbasis).

De N uit mineralenconcentraten bestaat voor 88-97% uit $\text{NH}_4\text{-N}$ (tabel 2), KAS en ANvl bevatten 50% $\text{NO}_3\text{-N}$ en 50% $\text{NH}_4\text{-N}$. Om meer informatie over de werking van N in ammoniumvorm te krijgen, is in 2010 het proefveld ook een volledig ammoniummeststof toegediend in de vorm van ammoniumchloride (verder aangeduid met ACI). Opgeloste ACI bevat 100% $\text{NH}_4\text{-N}$. De ACI is opgelost in water zodat het met dezelfde toedieningsmethode kon worden toegediend als de mineralenconcentraten en de ANvl. De gebruikte oplossing voor ammoniumchloride voor de eerste snede was 2,0% N, voor de tweede en derde snede 1,5% N. De oplossing is zo geconcentreerd mogelijk gehouden. Ook de ANvl is verdund. In 2009 naar 1,5% N in alle sneden en in 2010 naar 3,5% in de eerste snede en 2,5% in de tweede en derde snede. De verschillen in verdunning tussen de jaren was een gevolg van voortschrijdend inzicht. In het eerste jaar is verdund naar een concentratie toe, in het tweede jaar is uitgegaan van een instelling van de machine waardoor er minder versteld hoefde te worden. Er is toen echter een vergissing gemaakt bij het omrekenen naar de juiste dichtheid van de meststof. Daardoor hebben de objecten met ANvl in 2010 meer gekregen dan gepland. Hiervoor is gecorrigeerd in de berekeningen.

Om na te gaan in hoeverre ammoniakvervluchtiging een rol speelde bij het toedienen is van het A concentraat, naast de gewone partij, ook een partij aangezuurd met propionzuur. In het laboratorium is vastgesteld dat toevoegen van 1500 μl propionzuur op 100 ml concentraat zorgde voor een

verlaging van de pH van 8 tot 6. Er is twee keer gemeten en er was verschil tussen deze metingen. Bovendien daalde de pH in het gebied tussen pH 6 en pH 5 erg langzaam. Daarom is in de proef 30 liter propionzuur toegevoegd aan 1000 liter (1m³) concentraat, dubbel zoveel als in de laboratoriumopstelling nodig was om de pH naar 5 te laten dalen. Bij het toedienen van het zuur bleek het concentraat sterk te gaan schuimen, zowel in de laboratoriumopstelling als in de kuubscontainers. Het schuim zakte vanzelf weer in.

Jaarlijks zijn vijf sneden geoogst. De jaarlijkse N-gift is verdeeld over de eerste drie sneden en de N is toegediend op drie niveaus. De N-niveaus en verdeling over de sneden geeft de volgende snedegiften:

- 40, 30, 30 kg N/ha voor respectievelijk de 1^e t/m de 3^e snede, 100 kg N/ha totaal;
- 80, 60, 60 kg N/ha voor respectievelijk de 1^e t/m de 3^e snede, 200 kg N/ha totaal;
- 120, 90, 90 kg N/ha voor respectievelijk de 1^e t/m de 3^e snede, 300 kg N/ha totaal.

De eerste N-gift is toegediend eind maart, zodra de grond bekwaam was. De N-gift voor de tweede en de derde snede is de dag van of na de oogst van een (voorgaande) snede toegediend (zie bijlage 1). KAS is gestrooid met een kunstmeststrooier voor proefvelden. De mineralenconcentraten, de ANVI en de opgeloste ACI zijn toegediend met een speciale voor dit doel ontwikkelde machine.

Vier objecten hebben geen N-bemesting gekregen (blanco), één object zonder behandeling en drie objecten die respectievelijk op 1, 2 of 3 bemestingstijdstippen zijn doorsneden met de machine waarmee de vloeibare meststoffen zijn toegediend, zonder dat er meststof werd toegediend.

Deze onbemeste velden zijn nodig om de stikstofreactie van het gewas op de bemesting te bepalen en het effect van het snijden van de toedieningsmachine in te schatten.

Om na te gaan of er een interactie was tussen het snij-effect van de toedieningsmachine en het effect van het stikstofniveau is in 2010 naast het 'gewone' KAS-object een KAS-object aangelegd dat op drie bemestingstijdstippen is bemest op de drie aangegeven niveaus en waarvan de zode gesneden is met de toedieningsmachine. Het object wordt aangeduid als KAS_snij.

Op alle objecten, inclusief de objecten zonder N-bemesting, is evenveel fosfaat en kali toegediend. Berekend is hoeveel er per concentraat zou worden toegediend. Op alle veldjes is tot de hoogste hoeveelheid, toegediend met concentraat, aangevuld met tripelsuperfosfaat en Kali-40. Nagegaan is of de hoeveelheid zwavel op alle veldjes ook vergelijkbaar was omdat de concentraten zwavel bevatten en op de veldjes zonder concentraten het zwavelhoudende Kali-40 is gegeven. Op alle objecten was de zwavelbemesting dusdanig hoog (ruim boven advies) dat er geen effect van zwavel verwacht mocht worden.

Alle veldjes werden met de trekker bereiden, ook de veldjes waar geen vloeibare meststof is toegediend. Over deze veldjes reed de trekker zonder de machine te laten zakken. Dit is om te voorkomen dat er verschillen zouden ontstaan door al of niet berijden.

Op ieder tijdstip van bemesting zijn de mineralenconcentraten bemonsterd uit de tank van de machine. Bemonstering vond plaats voor het bemesten (na mengen door de machine) en na het bemesten.

De bemesting met de concentraten en vloeibare kunstmest zijn verzorgd door Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO-AGV), zowel op het proefveld op de Waiboerhoeve als bij de melkveehouders Roelofs en Wijnhout. De overige proefveldactiviteiten zijn op de kleilocatie (Waiboerhoeve) verzorgd door PPO en op de zandlocaties (bij Roelofs en Wijnhout) door Praktijkcentrum Aver Heino. Het tijdstip van bemesting in het voorjaar is in overleg met de onderzoekers vastgesteld (bijlage 1). Alle bemestingen (kunstmest en concentraten) zijn per locatie per snede op één dag uitgevoerd. De bemestingen na de eerste snede zijn op of uiterlijk 2 dagen na de dag van oogst van de voorgaande snede uitgevoerd. De grootte van een plot was bruto 3 x 10 m en netto 1,5 x circa 7,5 m. De lengte is na de oogst nagemeten om de gemaaide oppervlakte te bepalen.

2.4 Proefveldmachine voor toediening vloeibare meststoffen

De machine die gebruikt is voor het toedienen van de vloeibare ammonium nitraat en de concentraten is speciaal voor deze proef ontwikkeld door Dhr. J van Lenthe, medewerker van het proefbedrijf van PPO-AGV (Leystad).

De proefveldmachine bestaat uit een tank (voor de meststof), kranen en slangen waarmee het debiet ingesteld kan worden en een balk met daaraan 18 kouters. De werkbreedte van de machine is 3 m. De kouters zijn eenvoudige ijzeren strips met een uiteinde in een hoek van ca. 45 graden waarop een

buisje eindigt waaruit de meststof loopt. Lengte van de strips tot aan de bocht was ongeveer 35 cm, na de bocht circa 20 cm en de dikte was circa 0,5 cm. De diepte waarmee de kouters door de grond getrokken zijn, was instelbaar door instelling met een loopwiel. In de graslandproef zijn de kouters ingesteld op een diepte van 5 cm onder maaiveld, vergelijkbaar met de diepte van een goed afgestelde zodenbemester. De proefveldmachine is weergegeven in afbeelding 1, de kouters in detail en een sleuf in het gras in afbeelding 2.

2.5 Oogst

De objecten zijn vijf keer per jaar geoogst. Het doel was de eerste snede bij ongeveer 3500 kg droge stof per ha (rond half mei) te oogsten in het snelst groeiende veldje. De volgende oogsten waren gepland bij 2500 kg droge stof per ha op het snelst groeiende veldje (na vijf tot zes weken groei, afhankelijk van de groeiomstandigheden). De oogsttijdstippen zijn op het oog vastgesteld door de verzorgende proefbedrijven. Bij de oogst zijn de veldjes gemaaid met de Haldrup proefveld oogstmachine met een dubbele messenbalk met een werkbreedte van 1,50 meter, volgens de standaardprocedures. Per veldje is de opbrengst bemonsterd voor bepaling van het droge stofgehalte, het zandgehalte en het N-gehalte. Het droge stofgehalte is bepaald door een vers monster in te wegen, 48 uur te drogen bij 70 °C in een droogstoof, en het droge monster terug te wegen. Gedroogde monsters zijn opgeslagen in een plastic zak, koel en donker bewaard, aan het eind van het seizoen verstuurd naar het laboratorium ALNN te Ferwert, en aldaar geanalyseerd op (rest)droge stof-, stikstof- en zandgehalte.



Afbeelding 1 Proefveldmachine voor de toediening van vloeibare meststoffen



Afbeelding 2 Kouter van proefveldmachine en sleuf in graszode

2.6 N-mineraal

Om na te gaan of er verschil is in risico op nitraatuitspoeling tussen de concentraten en de overige meststoffen, zijn kort na het groeiseizoen grondmonsters gestoken in de lagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm onder maaiveld, tien steken per veldje. In 2009 is dit alleen op de zandgrond gebeurd, in 2010 zowel op de zandgrond als op de kleigrond. Dit is gebeurd binnen 14 dagen na de oogst van de laatste snede.

In 2009 en 2010 zijn de veldjes die drie sneden zijn bemest (met KAS, ANvi, ACI en de concentraten) bij alle N-niveaus bemonsterd. Tevens zijn de beide blanco's (wel en niet gesneden) bemonsterd. In 2010 zijn tevens de drie N-niveaus en veldjes met drie bemeste sneden bemonsterd van het 'gesneden' KAS-object en het ACI-object. De monsters zijn geanalyseerd op minerale N door ALNN te Ferwert.

2.7 Statistische analyse

Voor de statistische analyse is gebruik gemaakt van de methode Residual maximum Likelihood (reml, Harville, 1977). De analyse is uitgevoerd op twee kenmerken: droge stofopbrengst en N-opbrengst. Voor beide kenmerken zijn de individuele sneden opgeteld tot een volledige jaaropbrengst. De N-opbrengst is berekend door per snede de droge stofopbrengst te vermenigvuldigen met het N-gehalte en de N-opbrengsten van de sneden bij elkaar op te tellen.

Reml is een methode waarbij (lineaire) modellen worden ontwikkeld die zo goed mogelijk bij de data passen. Zo'n model bestaat uit een systematisch deel en een random deel. In het systematische deel komen de factoren die ingesteld zijn en waarvan we de invloed willen kennen en kwantificeren. In het random deel komen factoren waarvan bekend is dat ze invloed hebben maar die niet gekwantificeerd hoeven te worden zoals verschil tussen herhalingen op het proefveld.

In dit geval is de analyse in twee fasen uitgevoerd.

1. In de eerste fase zijn in het systematische deel de hoofdfactoren locatie, oogstjaar, N-gift (werkelijk gegeven hoeveelheden), mestsoorten en aantal malen bemesten toegevoegd. In het random deel is locatie herhaling jaar opgenomen. In deze eerste fase is bepaald of de hoofdfactoren significant zijn. Het doel van deze analyse is om een uitspraak te kunnen doen welke behandelingen significant verschillend zijn. Vervolgens wordt in een tussenstap getoetst of de blanco's (met nul, één, twee en drie maal snijden) significant van elkaar verschillen in opbrengst;
2. De tweede fase bestaat uit het ontwikkelen van een volledig model met alle significante interacties op basis van de gemeten opbrengsten. Dat model is een lijn met de formule: Opbrengst = constante + factor x N-bemesting.

Het model heeft twee functies. De eerste is nagaan of en zo ja welke invloed de N-meststoffen, het oogstjaar, de locatie en het aantal keren bemesten hebben op de hoogte van de constante en de hoogte van de factor waarmee de N-bemesting vermenigvuldigd wordt.

Zo is voor iedere meststof, beide jaren en beide locaties een andere lijn ontwikkeld en nagegaan na of deze lijnen van elkaar verschillen.

De tweede functie van het model is het schatten van de werkingscoëfficiënten op basis van de modelwaarden die met het model uitgerekend kunnen worden. Door dat niet met de ruwe data te doen maar met de modelwaarden wordt gecorrigeerd voor N-giften die niet exact uitgekomen zijn op de waarde die van te voren zijn gepland. Dit kan gebeuren doordat gehalten in meststoffen (mineralenconcentraten) of doseringen anders zijn dan van te voren ingeschat waren. Door gebruik van een dergelijk model tellen bovendien veldjes die duidelijk afwijken van de rest minder zwaar of niet mee.

De blanco's zijn niet bemest met een N-meststof maar horen wel bij een meststof. De blanco's met snijden horen bij de objecten bemest met vloeibare meststoffen en de KAS met snijden. De blanco's zonder snijden horen bij het object bemest met KAS.

De lijnen van de vloeibare meststoffen en van KAS met snijden beginnen bij een N gift van '0' bij de blanco's met snijden, de lijn van KAS bij de blanco zonder snijden.

Wanneer de blanco's in de tussenstap niet significant verschillend blijken te zijn, komen alle lijnen uit hetzelfde punt.

Het verband tussen N-bemesting en grasopbrengst is zowel voor droge stof als voor N op lange trajecten geen rechte lijn maar curvilineair ("kromlijngig", o.a. Vellinga & André, 1999; Mengel and Kirkby, 2001). Bij het toenemen van de N-bemesting stijgt de lijn minder snel, ook wel bekend als de "afnemende meeropbrengst". Over korte trajecten van N-bemesting kan dit vereenvoudigd worden door uit te gaan van een rechtlijnig verband. Om te toetsen of in deze proef het rechtlijnige verband aangehouden kan worden of dat het traject te lang is om daarmee te werken, is de factor N-bemesting in het kwadraat (Ngift²) getoetst.

De richtingscoëfficiënt van de lijnen voor de droge stofopbrengst stellen dan de Apparent N Efficiency (ANE) voor en voor de N-opbrengst de Apparent N Recovery (ANR) (Prins, 1983).

Een ANE over een traject van N-bemesting wordt berekend door de droge stofopbrengst aan het begin van het traject af te trekken van de droge stofopbrengst aan het eind van het traject en dat verschil te delen door het verschil in N-bemesting. De ANR wordt berekend door dezelfde berekening maar dan met de N-opbrengst. De ANE levert dan de kg droge stof per kg N bemesting en de ANR de kg N per kg N bemesting. In deze berekeningen is uitgegaan van trajecten van 0 kg N per ha tot 100, 200 en 300 kg N bemesting per ha.

In formules is dat:

$$\frac{(\text{droge stofopbrengst bij N-bemesting}) - (\text{droge stofopbrengst zonder N-bemesting})}{\text{N-bemesting}} = \text{ANE}$$

en

$$\frac{(\text{N-opbrengst bij N-bemesting}) - (\text{N-opbrengst zonder N-bemesting})}{\text{N-bemesting}} = \text{ANR}$$

De werkingscoëfficiënten op basis van droge stof en de N-opbrengst worden berekend door respectievelijk de ANE en de ANR van de te toetsen meststoffen te delen door die van de referentie meststof, voor dit onderzoek KAS en ANvl (Schröder, 2010).

De N-werkingscoëfficiënt is berekend op basis van droge stofopbrengst:

ANE van te onderzoeken meststof / ANE van referentie meststof = N werkingscoëfficiënt

En de N-werkingscoëfficiënt op basis van N-opbrengst:

ANR van te onderzoeken meststof / ANR van referentie meststof = N werkingscoëfficiënt

Wanneer het verband tussen opbrengst en N-bemesting curvilineair blijkt te zijn en de lijnen van de verschillende meststoffen niet gelijk zijn, is er niet één enkele werkingscoëfficiënt te berekenen maar verschillen op iedere plaats van de curve. De werkingscoëfficiënt zal dan berekend worden voor verschillende bemestingstrajecten: tussen 0 en 100, 0 en 200 en 0 en 300 kg N per ha. De uiteindelijke werkingscoëfficiënt wordt dan berekend door deze drie te middelen.

We zoeken met deze methodiek het model dat het beste bij de data past en de laagste restvariantie geeft. Het kan zijn dat hierdoor een model ontstaat dat niet helemaal overeenkomt met de theorie van een afnemende N opbrengst bij een toenemende N gift. Binnen dit project accepteren we dat omdat we vooral op zoek zijn naar de beste schatter voor de werkingscoëfficiënt vanuit de proefvelddata.

3 Resultaten

3.1 Gehalten en giften van meststoffen

De N-gehalten van de verschillende mineralenconcentraten in 2009 varieerden van 5,1 g N totaal per kg voor concentraat D tot 8,7 g N totaal per kg voor concentraat C (tabel 2). De N-gehalten per concentraat vertoonden binnen de partijen in 2009 weinig variatie (N-gehalte bij snede 1 was bij alle concentraten ongeveer gelijk aan N-gehalte bij snede 2). Het was een vrij homogene constante partij. Daarom zijn in de berekeningen van de gegeven hoeveelheid N gemiddelde gehalten per concentraat gebruikt (Tabel 3). Er zijn geen analyses uitgevoerd in concentraten die voor snede 3 zijn gebruikt.

In 2010 varieerde het N-gehalte van de concentraten tussen ruim 4 g N totaal per kg voor concentraat E tot ongeveer 7 g N per kg voor concentraat B. In 2010 was er meer variatie per mineralenconcentraat tussen de gebruikte kuubcontainers. Vooral concentraat B vertoonde grote verschillen tussen de partijen die voor snede 1 en die voor snede 2 zijn gebruikt. Voor snede 3 is dezelfde kuubcontainer als snede 2 gebruikt. Daarvoor is geen aparte chemische analyse van uitgevoerd. De kuubcontainers zijn willekeurig gekozen, daardoor zijn de verschillen tussen de sneden ook willekeurig. Op zand is het N-gehalte van het B-concentraat in de eerste snede hoger dan in de tweede en op klei andersom. Dit berust op toeval.

Voor de berekening van de gerealiseerde bemesting in 2010 is gebruik gemaakt van de gemeten gehalten in de verschillende partijen in plaats van een gemiddelde voor alle sneden (Tabel 3).

Tabel 2 N-gehalte in g N per kg concentraat en pH van concentraten

Oogstjaar	Locatie	Concentraat	Snede	N-tot	NH ₄ -N	N-org	% NH ₄ -N van N-tot	pH
2009	Zand	A	1	6,71	6,43	0,28	95,8	
	Zand	C	1	8,94	7,89	1,05	88,3	
	Zand	D	1	5,35	4,90	0,45	91,6	
	Zand	A	2	6,56	6,03	0,53	91,9	
	Zand	C	2	8,78	7,78	1,00	88,6	
	Zand	D	2	5,38	4,75	0,63	88,3	
	Klei	A I voor filter	1	6,35				
	Klei	A II na filter	1	6,52				
	Klei	C I voor filter	1	8,57				
	Klei	C II na filter	1	8,41				
	Klei	D I voor filter	1	5,37				
	Klei	D II na filter	1	5,17				
	Klei	A	2	6,81	6,31	0,50	92,7	
	Klei	C	2	8,75	7,75	1,00	88,6	
	Klei	D	2	5,01	4,86	0,15	97,0	
	2010	Zand	A	1	6,63	6,20	0,13	94,9
Zand		A	2	6,54	6,14	0,40	93,9	8,0
Zand		B	1	7,61	7,34	0,27	96,5	7,8
Zand		B	2	6,98	6,80	0,18	97,4	7,8
Zand		E	1	4,23	3,86	0,37	91,3	8,0
Zand		E	2	4,36	3,91	0,45	89,7	7,8
Zand		A_zuur	1	6,57	6,00	0,57	91,3	7,0
Zand		A_zuur	2	6,56	6,01	0,55	91,6	7,3
Klei		A	1	6,56	6,33	0,23	96,5	8,3
Klei		A	2	6,70	6,21	0,49	92,7	8,0
Klei		B	1	6,42	6,15	0,27	95,8	7,9
Klei		B	2	7,18	6,77	0,41	94,3	7,8
Klei		E	1	4,18	3,87	0,31	92,6	8,1
Klei		E	2	4,33	3,95	0,38	90,8	7,9
Klei		A_zuur	1	6,49	6,31	0,18	97,2	6,7
Klei		A_zuur	2	6,61	6,02	0,59	91,1	6,7

Op basis van de analyses in tabel 1 zijn de toe te dienen hoeveelheden van de verschillende concentraten van te voren berekend. De hoeveelheid te geven concentraat varieert tussen de 3,2 en 25,8 m³ per ha. Deze range kan niet behaald worden met een normale praktijkmachine. Met de ontwikkelde proefveldmachine kon dat wel.

De werkelijk toegediende hoeveelheid concentraat is weergegeven in tabel 3.

De gerealiseerde bemesting is achteraf berekend met de analyses van de monsters bij het uitrijden zijn genomen (tabel 7).

Tabel 3 Gerealiseerde giften met concentraten, m³/ha

Jaar	Concentraat	Snedes	N-niveau, kg/ha		
			100	200	300
2009	A	1	5,68	11,35	17,03
	A	2 en 3	4,26	8,51	12,77
	C	1	4,32	8,65	12,97
	C	2 en 3	3,24	6,48	9,73
	D	1	7,16	14,32	21,48
	D	2 en 3	5,37	10,74	16,11
2010	A	1	6,33	12,67	19,00
	A	2 en 3	4,75	9,50	14,25
	B	1	6,04	12,07	18,11
	B	2 en 3	4,53	9,05	13,58
	E	1	8,61	17,23	25,84
	E	2 en 3	6,46	12,92	19,38

Van alle gebruikte concentraten is, naast het N-gehalte, ook het P en K gehalte bepaald, om vast te stellen hoe hoog de aanvullende gift met P en K kunstmest moest zijn op alle objecten. Het doel was om alle objecten een gelijke hoeveelheid P en K te geven. Hierbij is, net als voor N, gerekend met de gehalten die vooraf bekend waren (tabel 1).

In 2009 waren de P- en K-gehalten in de concentraten vooraf en achteraf vrijwel gelijk aan elkaar. Het grootste verschil was het K gehalte in concentraat C. Van te voren was rekening gehouden met 8,11 g K per kg, achteraf bleek dit 0,25 g per kg hoger te zijn. Dit resulteerde in een maximale afwijking van 7,5 kg K per ha, dit is 3% in kalibemesting. Dit verschil is verwaarloosbaar.

In 2010 waren de verschillen wat groter. Het E concentraat bleek 0,04 g P te hebben in plaats van 0,09. Het resulteerde in een gift van ongeveer 2,6 kg P per ha terwijl het circa 6 kg P per ha had moeten zijn. Dit verschil geeft naar verwachting geen verschil in opbrengst.

De grootste afwijking voor K in 2010 was eveneens in het E concentraat. Bij de hoogste N-trap ontstond het grootste verschil tussen gepland en uitgevoerd. Er was berekend dat de gift bij de hoogste N-bemesting circa 383 kg K per ha zou zijn en was uiteindelijk rond de 290 kg K per ha (= 350 kg K₂O/ha). Op de zandlocatie viel de K-toestand van de bodem in de klasse ruim voldoende en op klei zeer hoog. Daar is geen effect van het verschil in kali-bemesting te verwachten.

3.1.1 Aanzuren van A-concentraat

Bij het aanzuren van het A-concentraat ontwikkelde zich direct na toevoegen van het propionzuur schuim. Dit zakte na enige tijd vanzelf weer in. Dit was een gevolg van stof bicarbonaat die in het concentraat aanwezig was.

Het beoogde resultaat, namelijk het voldoende verlagen van de pH tot 5 á 6 van het A-concentraat bleek niet behaald te zijn. De pH in de monsters bleek 6,7 tot 7,3 te zijn. Mogelijk is door de bufferende werking van het concentraat en het gebruik van een zwak zuur de pH na het aanzuren gestegen.

3.2 Proefveldomstandigheden

3.2.1 Bodemanalyse van de proefvelden

In zowel 2009 als 2010 is voor de eerste bemesting een algemeen bodemonster van het gehele proefveld (minimaal 40 steken, laag 0-10 cm) genomen en geanalyseerd. De resultaten van de analyse zijn weergegeven in de tabellen 4 t/m 6. Omdat klei in 2010 van hetzelfde perceel is gebruikt als in 2009, is in 2010 geen nieuw grondmonster genomen. De fosfaat- en kalistoestanden van de

proefvelden vallen minimaal in klasse ruim voldoende. Effecten van fosfaat- en kalibemesting zijn daarom niet te verwachten. De proefvelden hebben een normaal stikstofleverend vermogen (NLV). Er wordt verwacht dat de N-respons op deze proefvelden duidelijk is.

Tabel 4 Analyseresultaten bodemonderzoek 2009, zand (Lemelerveld)

Bepaling	Analyse resultaat	Streeftraject	Beoordeling
Organische stof (%)	5,3		
Fosfaat (P-AL mg P ₂ O ₅ /100 gr droge grond)	45	27 - 55	Ruim voldoende
Kali (K-getal mg K ₂ O per 100 gr droge grond)	32	15 – 23	Hoog
Magnesium (MgO mg/ kg droge grond)	198	137- 219	Voldoende
Natrium (Na ₂ O mg/ 100 gram droge grond)	2	5-8	Vrij laag
Koper (Cu mg/ kg droge grond)	2,8	5.0 – 9.7	Vrij laag
Kobalt (Co mg/ kg droge grond)	<0,1	➤ 0.29	Laag
pH – KCl	6,0	4.8 – 5.5	Vrij hoog
N totaal (mg/ 100 gram droge grond)	204		
NLV (kg N/ha/jaar)	140		

Tabel 5 Analyseresultaten bodemonderzoek 2009, klei (Lelystad)

Bepaling	Analyse resultaat	Streeftraject	Beoordeling
Afslibbaarheid	36 %		
Lutum	24 %		
Organische stof (%)	6,1		
Fosfaat (P-AL mg P ₂ O ₅ /100 gr droge grond)	38	27 - 55	Ruim voldoende
Kali (K-getal mg K ₂ O per 100 gr droge grond)	37	15 – 23	Zeer hoog
Magnesium (MgO mg/ kg droge grond)	358		
Natrium (Na ₂ O mg/ 100 gram droge grond)	5	5-8	Voldoende
Koper (Cu mg/ kg droge grond)	4,2	5.0 – 9.7	Vrij laag
Kobalt (Co mg/ kg droge grond)	0,27	➤ 0.29	Vrij laag
pH – KCl	6,9	4.8 – 5.5	Vrij hoog
N totaal (mg/ 100 gram droge grond)	290		
NLV (kg N/ha/jaar)	130		

Tabel 6 Analyseresultaten bodemonderzoek 2010, zand (Heino)

Bepaling	Analyse resultaat	Streeftraject	Beoordeling
Lutum (%)	7,8		
Organische stof (%)	5,2		
Fosfaat (P-AL mg P ₂ O ₅ /100 gr droge grond)	58	27 - 55	Hoog
Kali (K-getal mg K ₂ O per 100 gr droge grond)	29	15 – 23	Ruim voldoende
Magnesium (MgO mg/ kg droge grond)	237	137- 219	Hoog
Natrium (Na ₂ O mg/ 100 gram droge grond)	1	5-8	Laag
Koper (Cu mg/ kg droge grond)	1,9	5.0 – 9.7	Laag
Kobalt (Co mg/ kg droge grond)	<0,1	➤0.29	Laag
pH – KCl	4,7	4.8 – 5.5	Vrij laag
N totaal (mg/ 100 gram droge grond)	204		
NLV (kg N/ha/jaar)	140		
C/N ratio	12,8		

3.2.2 Weer tijdens toedienen en tijdens het groeiseizoen

Het weerverloop in de eerste maanden van 2009 en 2010 vertoonde veel overeenkomsten. In beide jaren waren januari en februari aan de koude kant en ook de eerste decade van maart was beide jaren koud. Na ongeveer 10 maart werd het in beide jaren snel warmer. Zowel het voorjaar 2009 als 2010 (maart-april en mei) waren zeer zonnig en droog. In beide jaren waren maart en april warmer dan gemiddeld. Mei was in 2009 ook warmer, waardoor het gehele voorjaar als warm kan worden beschouwd (gemiddeld 10,8 °C ten opzichte van 8,9 °C normaal). Mei 2010 was echter veel kouder (meer dan 2 graden) dan normaal, waardoor het voorjaar 2010 ten aanzien van de temperatuur als 'normaal' kan worden beschouwd. Het temperatuurverloop was in 2009 en 2010 in maart en april vrij

constant, dat wil zeggen geen grote schommelingen, maar ook geen echt heel warme dagen. Ook in 2010 was dat het geval, echter mei was beduidend kouder, hetgeen een negatief effect heeft gehad op de groei van met name de tweede snede.

In genoemde voorjaarsperiode zijn zowel de eerste als de tweede snede bemest. In 2009 is de eerste bemesting in de periode 20-24 maart uitgevoerd. Op 20 maart is begonnen waarbij het overdag ruim 11 °C en zonnig was. Echter na de eerste toediening (concentraat D) bleek verstopping op te treden, waardoor de bemesting niet verder kon worden uitgevoerd en alle concentraten moesten worden gefilterd.

De bemesting van de eerste snede is op 23 en 24 maart voortgezet. Tijdens deze dagen was het zwaar bewolkt (23/3) met regen en half bewolkt (24/3 met buien).

Tijdens de bemesting van de tweede snede op 6 (Heino) en 8 mei (Waiboerhoeve) was het ook bewolkt met af en toe lichte regen en 16 °C.

In 2010 is de eerste mest op 30 (14 °C) en 31 maart (10 °C) toegediend. Ook op die dagen was het bewolkt en regenachtig. De mestgift voor de tweede snede heeft in 2010 op 10 en 11 mei plaatsgevonden, eveneens onder een zwaar bewolkte hemel (10 mei wel droog, 11 mei regenachtig en beide dagen slechts 11 °C).

De zomer (juni-juli-augustus) van 2009 was warm (met een zeer regelmatig temperatuurverloop), zonnig en droog, die van 2010 was ook warm (met name juni en de eerste decade van juli) en zonnig, maar veel natter dan 2009.

De derde snede is in 2009 op 8 en 9 juni bemest en in 2010 op 10 en 11 juni. In zowel 2009 als 2010 was het tijdens het bemesten bewolkt en regenachtig en in beide jaren rond de 18 °C.

Op alle toedieningsdagen was het bewolkt en vaak regenachtig weer. We verwachten daarom dat er nauwelijks ammoniakemissie heeft plaatsgevonden tijdens de toediening van de mineralenconcentraten.

Voor de grasgroei was 2010 een groeizamer jaar dan 2009, met name omdat in 2010 meer neerslag is gevallen gedurende het groeiseizoen.

3.3 Bemesting

De N-bemesting op de plots met de concentraten is niet exact de hoeveelheid die gepland was. Er is bij de berekening van de toe te dienen hoeveelheden concentraat uitgegaan van de analyses uit tabel 1. Voor de berekende bemesting is uitgegaan van de gehalten die bepaald waren in de monsters die ter plekke genomen zijn. In 2009 bleken alle concentraten bij toediening een lager N-gehalte te hebben dan in eerdere monsters was aangetroffen waardoor de N-bemestingen iets onder de geplande N-bemestingen uit kwamen. Dat gold ook voor het E-concentraat in 2010. Het A en B concentraat hadden in 2010 bij uitrijden een iets hoger N-gehalte waardoor de N-bemesting wat hoger uitkwam dan gepland. Bij de statistische analyse is gerekend met de werkelijk gegeven hoeveelheid N.

In 2009 ontbreekt de bemesting van het 3^e N-niveau op de kleigrond van de D-concentraat. Dit is een gevolg van de verstoppingen van de machine met de resten van ruwe mest die tijdens transport in de concentraten waren gekomen. De bemestingen waren uitgevoerd maar achteraf bleek de machine verstopt te zijn geweest. Daardoor is niet bekend hoeveel in de eerste snede op dit object is terecht gekomen. De opbrengsten zijn wel bepaald maar buiten de analyse gehouden.

In 2010 is er bij de berekening van de bemesting met de vloeibare ammoniumnitraat (ANVI) een vergissing gemaakt waardoor er meer N op de plots is gegeven dan de bedoeling was. De vloeibare meststof had een dichtheid groter dan 1. Het N-gehalte van de vloeistof was uitgedrukt in % N op gewichtsbasis. In de statistische analyse is met de gerealiseerde N-gift gerekend.

Tabel 7 N-bemesting met concentraten en soorten kunstmest in de opvolgende sneden op zandgrond, kg N per ha

Locatie	Oogstjaar	Meststof	N-niveau	Ngiftsn1	Ngiftsn2	Ngiftsn3	Ngift totaal
Zand	2009	A conc	1	37	28	28	94
Zand	2009	A conc	2	75	56	56	187
Zand	2009	A conc	3	112	84	84	281
Zand	2009	C conc	1	38	28	28	94
Zand	2009	C conc	2	75	56	56	188
Zand	2009	C conc	3	113	85	85	282
Zand	2009	D conc	1	37	27	27	91
Zand	2009	D conc	2	73	55	55	183
Zand	2009	D conc	3	110	82	82	274
Zand	2009	ANvl	1	40	30	30	100
Zand	2009	ANvl	2	80	60	60	200
Zand	2009	ANvl	3	120	90	90	300
Zand	2009	KAS	1	40	30	30	100
Zand	2009	KAS	2	80	60	60	200
Zand	2009	KAS	3	120	90	90	300
Zand	2010	A conc	1	42	31	31	104
Zand	2010	A conc	2	84	62	62	208
Zand	2010	A conc	3	126	93	93	312
Zand	2010	A_zuur conc	1	42	31	31	104
Zand	2010	A_zuur conc	2	83	62	62	208
Zand	2010	A_zuur conc	3	125	93	93	312
Zand	2010	B conc	1	46	32	32	109
Zand	2010	B conc	2	92	63	63	218
Zand	2010	B conc	3	138	95	95	327
Zand	2010	E conc	1	36	28	28	93
Zand	2010	E conc	2	73	56	56	186
Zand	2010	E conc	3	109	84	84	278
Zand	2010	ANvl*	1	61	46	46	154
Zand	2010	ANvl*	2	123	92	92	307
Zand	2010	ANvl*	3	184	139	139	461
Zand	2010	ACI	1	40	30	30	100
Zand	2010	ACI	2	80	60	60	200
Zand	2010	ACI	3	120	90	90	300
Zand	2010	KAS	1	40	30	30	100
Zand	2010	KAS	2	80	60	60	200
Zand	2010	KAS	3	120	90	90	300
Zand	2010	KAS_snij	1	40	30	30	100
Zand	2010	KAS_snij	2	80	60	60	200
Zand	2010	KAS_snij	3	120	90	90	300

*Door een foute correctie voor dichtheid van de meststof is in 2010 meer vloeibaar ammoniumnitraat (ANvl) gegeven dan gepland

Tabel 8 N-bemesting met concentraten en soorten kunstmest in de opvolgende sneden op kleigrond, kg N per ha

Locatie	Oogstjaar	Meststof	N-niveau	Ngiftsn1	Ngiftsn2	Ngiftsn3	Ngift totaal
Klei	2009	A conc	1	37	28	28	94
Klei	2009	A conc	2	75	56	56	187
Klei	2009	A conc	3	112	84	84	281
Klei	2009	C conc	1	38	28	28	94
Klei	2009	C conc	2	75	56	56	188
Klei	2009	C conc	3	113	85	85	282
Klei	2009	D conc	1	37	27	27	91
Klei	2009	D conc	2	73	55	55	183
Klei	2009	D conc	3	-	-	-	-
Klei	2009	ANvl	1	40	30	30	100
Klei	2009	ANvl	2	80	60	60	200
Klei	2009	ANvl	3	120	90	90	300
Klei	2009	KAS	1	40	30	30	100
Klei	2009	KAS	2	80	60	60	200
Klei	2009	KAS	3	120	90	90	300
Klei	2010	A conc	1	42	32	32	105
Klei	2010	A conc	2	83	64	64	210
Klei	2010	A conc	3	125	95	95	316
Klei	2010	A_zuur conc	1	41	31	31	104
Klei	2010	A_zuur conc	2	82	63	63	208
Klei	2010	A_zuur conc	3	123	94	94	312
Klei	2010	B conc	1	39	32	32	104
Klei	2010	B conc	2	77	65	65	207
Klei	2010	B conc	3	116	97	97	311
Klei	2010	E conc	1	36	28	28	92
Klei	2010	E conc	2	72	56	56	184
Klei	2010	E conc	3	108	84	84	276
Klei	2010	ANvl*	1	61	46	46	154
Klei	2010	ANvl*	2	123	92	92	307
Klei	2010	ANvl*	3	184	139	139	461
Klei	2010	ACI	1	40	30	30	100
Klei	2010	ACI	2	80	60	60	200
Klei	2010	ACI	3	120	90	90	300
Klei	2010	KAS	1	40	30	30	100
Klei	2010	KAS	2	80	60	60	200
Klei	2010	KAS	3	120	90	90	300
Klei	2010	KAS_snij	1	40	30	30	100
Klei	2010	KAS_snij	2	80	60	60	200
Klei	2010	KAS_snij	3	120	90	90	300

*Door een foute correctie voor dichtheid van de meststof is in 2010 meer vloeibaar ammoniumnitraat (ANvl) gegeven dan gepland

3.4 Droge stofopbrengsten

In tabel 9 zijn de droge stofopbrengsten van de objecten weergegeven die voor drie sneden bemest zijn, in de bijlagen (tabel 32 en tabel 33) zijn de droge stofopbrengsten van de objecten die voor twee en één snede bemest zijn. Voor het 0 N-niveau bij de vloeibare meststoffen zijn de opbrengsten vermeld die gemeten zijn op de objecten die drie maal gesneden zijn met de machine. Voor KAS is het 0 N-niveau vermeld van de objecten zonder snijden. Daarom is bij toediening van de vloeibare meststoffen allemaal exact dezelfde opbrengst behaald bij 0 kg N per ha en is die bij toediening van KAS anders.

Tabel 9 Gemeten droge stofopbrengst en meeropbrengst (kg ds/ha) op jaarbasis (vijf sneden) van objecten bemest in eerste, tweede en derde snede

Grondsoort/jaar/meststof	Opbrengst				Meeropbrengst t.o.v. 0 N		
	N-niveau						
	0	100	200	300	100	200	300
Zand							
2009							
A conc	5776	7139	8475	10243	1363	2699	4467
C conc	5776	7136	8206	9701	1360	2430	3925
D conc	5776	7453	8613	10539	1677	2837	4763
ANvl	5776	7592	9134	10885	1816	3358	5109
KAS	5828	8399	10052	11247	2571	4224	5419
2010							
A conc	9721	11452	13408	14392	1730	3686	4671
A conc aangezuurd	9721	10855	12264	14054	1134	2542	4333
B conc	9721	12605	13955	15147	2884	4234	5426
E conc	9721	12644	13286	13876	2922	3565	4155
ANvl*	9721	12560		14391	2839		4670
ACI	9721	10840	12266	13908	1118	2544	4187
KAS gesneden zode	9721	11776	15859	16766	2054	6138	7044
KAS	9137	12852	15075	16423	3715	5938	7286
Klei							
2009							
A conc	7019	7922	9739	12375	903	2719	5356
C conc	7019	8038	9538	10959	1018	2519	3940
D conc	7019	7973	10621		954	3602	
ANvl	7019	9231	11483	12825	2211	4463	5806
KAS	7042	10724	13087	15176	3682	6045	8134
2010							
A conc	7814	10661	12623	14522	2847	4809	6708
A conc aangezuurd	7814	10255	12009	14134	2441	4195	6320
B conc	7814	10211	12194	15435	2397	4380	7621
E conc	7814	9531	12319	13568	1717	4505	5754
ANvl*	7814	11242		12880	3428		5066
ACI	7814	10590	11812	13067	2776	3998	5253
KAS gesneden zode	7814	11494	14160	17040	3680	6346	9226
KAS	8119	11720	14970	16946	3602	6851	8827

* Door een foute correctie voor dichtheid van de meststof is in 2010 meer vloeibaar ammoniumnitraat (ANvl) gegeven dan gepland. Daardoor is de middelste N-trap van ANvl gelijk aan de hoogste N-trap van de andere en is de laagste N-trap ruimer bemest dan de andere meststoffen.

Er waren duidelijke verschillen in droge stofopbrengst tussen de N-trappen en de mestsoorten. De significantie van de hoofdeffecten is getoetst in de eerste fase van de statistische analyse (zie 2.7) met Reml (Tabel 10)

Tabel 10 Statistische analyse voor drogestofopbrengsten

Factor	Probability (waarschijnlijkheid)*
Constante	<0,001
Locatie	0,024
Oogstjaar	<0,001
Mestsoort	<0,001
Ngift	<0,001
Ngift.aantal bemestingen	<0,001

*Een probability lager dan 0,05 betekent significante verschillen

Alle hoofdeffecten hebben een significante invloed op de droge stofopbrengst. De interacties zijn hierin niet getoetst, die komen later terug in het volledige model. Alleen het.aantal Ngift-bemestingen is in deze analyse opgenomen omdat N-gift niet zonder deze interactie beschouwd mag worden. De N-gift is als een continue variabele opgenomen. Door interpolatie kunnen op deze manier resultaten van alle N-giften van 0 tot de hoogste gift beschouwd worden. Het maakt echter uit of deze giften in één keer zijn gegeven of verdeeld over drie sneden: 120 kg N alleen in de eerste snede blijkt niet dezelfde opbrengst op te leveren als 120 kg N verdeeld over meerdere sneden. Dat de constante significant is betekent dat de opbrengst bij 0 kg N significant verschilt van 0 kg ds per ha. Wanneer er geen N gegeven wordt, groeit er toch gras door de N die de bodem levert en door depositie aangevoerd wordt.

Uit tabel 10 blijkt dat er significante verschillen zijn maar niet welke kant deze verschillen op wijzen. De opbrengsten op klei waren overall steeds significant hoger dan op zand. In 2010 zijn gemiddeld significant hogere opbrengsten behaald dan in 2009. Een hogere N gift leidde tot een hogere opbrengst. Bij een N-gift verdeeld over drie bemestingen is de droge stofopbrengst hoger dan wanneer diezelfde N-gift in de eerste of in de eerste plus tweede snede gegeven zou worden.

Een belangrijke vraag in dit onderzoek is welke verschillen tussen de mestsoorten significant zijn. Dit is af te lezen uit de effecten-tabel uit de Reml analyse weergegeven in tabel 11. Hierin zijn alleen de meststoffen opgenomen waarvan alle tijdstippen van bemesting zijn uitgevoerd zodat ze zuiver te vergelijken zijn. Dat zijn de concentraten (niet aangezuurd), KAS en ANvl. De opbrengst van het KAS-object is daarbij de referentie. De getallen in de effecten tabel stellen de verschillen met de KAS-behandeling in 2009 en 2010 voor, rekening houdend met de N-bemesting. De overige factoren zijn voor deze meststoffen gelijk. De effecten in tabel 11 worden alleen gepresenteerd om een idee te krijgen van de verschillen tussen mestsoorten.

Tabel 11 Significante verschillen in droge stofopbrengst tussen mestsoorten*

Meststof	Effecten (kg ds/ha)	
	2009	2010
KAS	0 ^b	0 ^b
ANvl	-1000 ^a	-1742 ^a
A conc	-1359 ^a	-1365 ^a
C conc	-1103 ^a	
D conc	-1335 ^a	
B conc		-1163 ^a
E conc		-1400 ^a

*Kleinst betrouwbare verschil (LSD) is 700. Verschillende letters zijn significant verschillend binnen een jaar.

Op het niveau van hoofdeffecten verschillen de opbrengsten van de concentraten in 2009 en 2010 onderling niet. De droge stofopbrengst van de vloeibare ammoniumnitraat (ANvl) verschilt niet significant van de mineralenconcentraten.

KAS heeft in beide jaren een significant hogere droge stofopbrengst dan de andere meststoffen.

Samengevat:

- De droge stofopbrengsten van de objecten bemest met de concentraten zijn onderling vergelijkbaar. Wanneer we alleen de hoofdeffecten beschouwen zijn er geen significante verschillen in droge stofopbrengst tussen de concentraten;
- Op beide grondsoorten is de droge stofopbrengst van de objecten bemest met KAS significant hoger dan van de andere meststoffen;
- De droge stofopbrengsten van vloeibaar ammoniumnitraat zijn vergelijkbaar met die van de concentraten. Wanneer we alleen de hoofdeffecten beschouwen zijn er geen significante verschillen in droge stofopbrengst tussen de concentraten enerzijds en vloeibaar ammoniumnitraat anderzijds;
- De droge stofopbrengsten op de kleigrond zijn hoger dan op de zandgrond;
- De droge stofopbrengsten zijn in 2009 lager dan in 2010.

3.5 N-opbrengsten

In tabel 12 staan de N-opbrengsten van de objecten die voor drie sneden bemest zijn, in de bijlagen (tabellen 34 en 35) staan de overige N-opbrengsten.

Voor het 0 N-niveau bij de vloeibare meststoffen zijn de opbrengsten vermeld die gemeten zijn op de objecten die gesneden zijn met de machine. Voor KAS is het 0 N-niveau vermeld van de objecten zonder snijden. Daarom is bij toediening van de vloeibare meststoffen allemaal exact dezelfde opbrengst behaald bij 0 kg N per ha en is die bij toediening van KAS anders.

Tabel 12 Gemeten N-opbrengst en meeropbrengst (kg N/ha) op jaarbasis (5 sneden) van objecten bemest in eerste, tweede en derde snede

grondsoort/Jaar/meststof	Opbrengst				Meeropbrengst		
	N-niveau 0	100	200	300	100	200	300
Zand							
2009							
A conc	113	139	172	206	23	59	93
C conc	113	140	164	215	27	51	102
D conc	113	145	166	216	32	53	103
ANvl	113	144	176	247	31	63	134
KAS	113	161	225	267	47	112	154
2010							
A	214	264	326	385	50	112	171
A conc aangezuurd	214	251	307	378	37	93	164
B conc	214	278	337	416	64	123	202
E conc	214	276	304	360	62	90	146
ANvl*	214	298		354	84		140
ACI	214	244	290	342	30	76	128
KAS gesneden zode	214	282	407	474	68	194	260
KAS	202	303	382	428	100	180	226
Klei							
2009							
A conc	118	142	173	261	14	46	133
C conc	118	147	178	206	19	51	79
D conc	118	148	194		21	66	
ANvl	118	166	204	265	39	76	137
KAS	131	195	264	376	65	134	245
2010							
A conc	158	222	277	351	64	119	193
A conc aangezuurd	158	212	255	309	54	97	151
B conc	158	207	268	354	49	110	196
E conc	158	204	274	304	46	116	146
ANvl*	158	254		281	96		123
ACI	158	224	244	296	66	86	138
KAS gesneden zode	158	249	334	516	91	176	358
KAS	165	261	368	473	96	183	298

*Door een foute correctie voor dichtheid van de meststof is in 2010 meer vloeibaar ammoniumnitraat (ANvl) gegeven dan gepland. . Daardoor is de middelste N-trap van ANvl gelijk aan de hoogste N-trap van de andere en is de laagste N-trap ruimer bemest dan de andere meststoffen.

Er waren duidelijke verschillen in de N-opbrengsten tussen de N-trappen en de mestsoorten. De significantie van de hoofdeffecten is getoetst in de eerste fase van de statistische analyse (zie 2.7) met Reml (tabel 13).

Tabel 13 Statistische analyse voor N-opbrengsten

Factor	Probability (waarschijnlijkheid)*
Constante	<0,001
Locatie	<0,001
Oogstjaar	<0,001
Mestsoort	<0,001
Ngift	<0,001
Ngift.aantalbemestingen	0,824

*Probability lager dan 0,05 betekent significante verschillen

Alle hoofdeffecten hebben een significante invloed. De interacties zijn hierin niet getoetst, die komen later terug in het volledige model. Alleen het aantal Ngiftbemestingen is in deze analyse opgenomen, omdat N-gift niet zonder deze interactie beschouwd mag worden. N-gift is als een continue variabele opgenomen. Er is gerekend met de hoeveelheid N die werkelijk gegeven is. Door interpolatie kunnen alle N-giften van 0 tot maximum beschouwd worden. Het blijkt voor de N-opbrengst niet uit te maken of deze giften voor één snede zijn gegeven of verdeeld over drie sneden: de N-opbrengst bij een bemesting van 120 kg N per ha alleen in de eerste snede blijkt dezelfde N-opbrengst op te leveren als 120 kg N verdeeld over twee of drie sneden.

Dat de constante significant is betekent dat de opbrengst bij 0 kg N significant verschilt van 0 kg N per ha. Wanneer er geen N gegeven wordt, groeit er toch gras door de N die de bodem levert.

Uit tabel 10 blijkt dat er significante verschillen zijn maar niet welke kant deze verschillen op wijzen. Het bleek dat de opbrengsten op klei overall steeds significant hoger waren dan op zand. Dit komt vooral door de hogere opbrengst op klei bij KAS. In 2010 zijn gemiddeld significant hogere opbrengsten behaald dan in 2009. Een hogere N-gift leidde tot een hogere N-opbrengst.

Een belangrijke vraag in dit onderzoek is welke verschillen tussen de mestsoorten significant zijn. Daarom is de effectentabel uit de Reml analyse weergegeven in tabel 14. Hierin zijn alleen de meststoffen opgenomen waarvan alle tijdstippen van bemesting zijn uitgevoerd. Dat zijn de concentraten (niet aangezuurd), KAS en ANvl.

Vergelijkbaar met de droge stofopbrengst is getoetst welke verschillen tussen de mestsoorten significant zijn. Daarom is de effecten-tabel uit de Reml analyse weergegeven in tabel 14. Hierin zijn alleen de meststoffen opgenomen waarvan alle tijdstippen van bemesting zijn uitgevoerd. Dat zijn de concentraten (niet aangezuurd) KAS en ANvl. Hierbij is rekening gehouden met de hoogte van de N-bemesting.

De getallen in de effecten tabel stellen de verschillen met de opbrengst bij KAS in 2009 en 2010. KAS is daarbij dus de referentie. De overige factoren zijn voor deze meststoffen gelijk. De effecten in tabel 14 worden alleen gepresenteerd om een idee te krijgen van de verschillen tussen mestsoorten.

Tabel 14 Significante verschillen in N opbrengst tussen mestsoorten*

	Effecten (kg N/ha/jaar)	
	2009	2010
KAS	0 ^b	0 ^b
Vloeibaar ammonium nitraat	-36,7 ^a	-51,8 ^a
A conc	-43,1 ^a	-46,8 ^a
C conc	-49,5 ^a	
D conc	-37,7 ^a	
B conc		-41,6 ^a
E conc		-45,9 ^a

*Kleinst betrouwbare verschil (LSD) is 17,2. Verschillende letters zijn significant verschillend binnen een jaar.

Op het niveau van hoofdeffecten zijn in beide jaren de N-opbrengsten van de concentraten en het vloeibaar ammonium nitraat onderling niet significant verschillend. De N-opbrengst van de KAS is significant hoger dan van de overige meststoffen.

Samengevat:

- De N-opbrengsten van de objecten bemest met de concentraten zijn onderling vergelijkbaar;
- Op beide grondsoorten is de N-opbrengst van de objecten bemest met KAS significant hoger dan van de andere meststoffen;
- De N-opbrengsten van vloeibaar ammoniumnitraat zijn vergelijkbaar met die van de concentraten.

3.6 N-werkingscoëfficiënten op basis van droge stofopbrengsten

De N-werkingscoëfficiënten worden in de tweede fase van de statistische analyse, zoals aangegeven in 2.7, berekend met behulp van een model dat ontwikkeld is op basis van de data.

Eerst wordt in de tussenstap bepaald of de nulpunten van de veldjes waarin nul, één, twee of drie keer gesneden is met de proefveldmachine, significant verschillen. Uit de reml analyse blijkt er geen significant verschil in droge stofopbrengst te zijn tussen de veldjes die nul, één, twee of drie keer zijn gesneden (tabel 15). De respons lijnen van droge stofopbrengst op N starten daarom in hetzelfde punt, ongeacht de uitrijmethode.

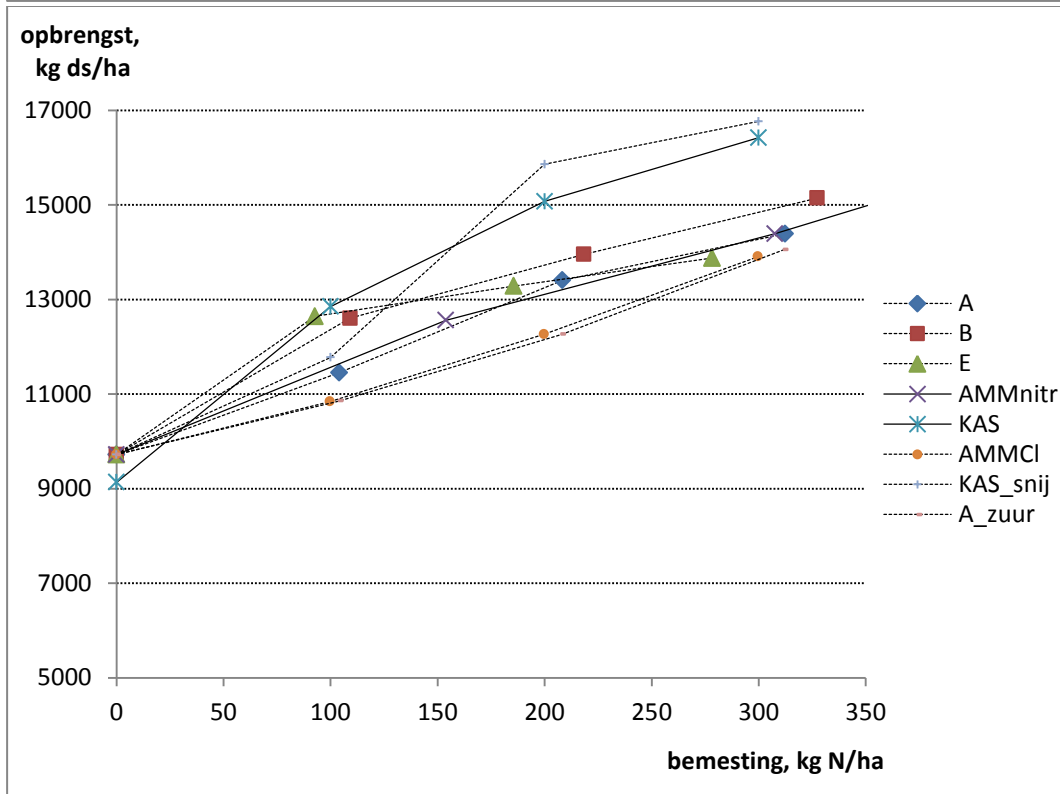
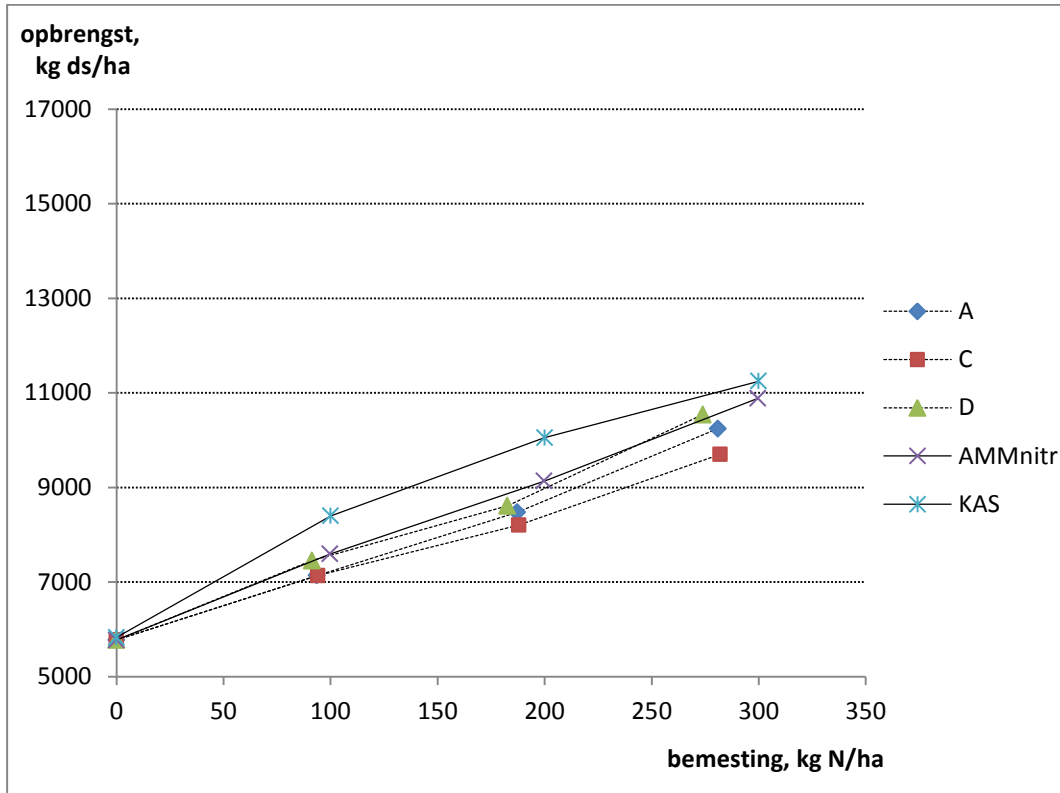
Tabel 15 Reml model, toetsing voor snij-effect op objecten zonder N-bemesting

Fixed term	Probability (waarschijnlijkheid) *
Locatie	0,986
Oogstjaar	0,355
SNIJDEN	0,737
Locatie.SNIJDEN	0,750
Oogstjaar.SNIJDEN	0,935
SNIJDEN.aantalbem	0,205
Locatie.SNIJDEN.aantalbem	0,104
Oogstjaar.SNIJDEN.aantalbem	0,441

*Probability lager dan 0,05 betekent significante verschillen

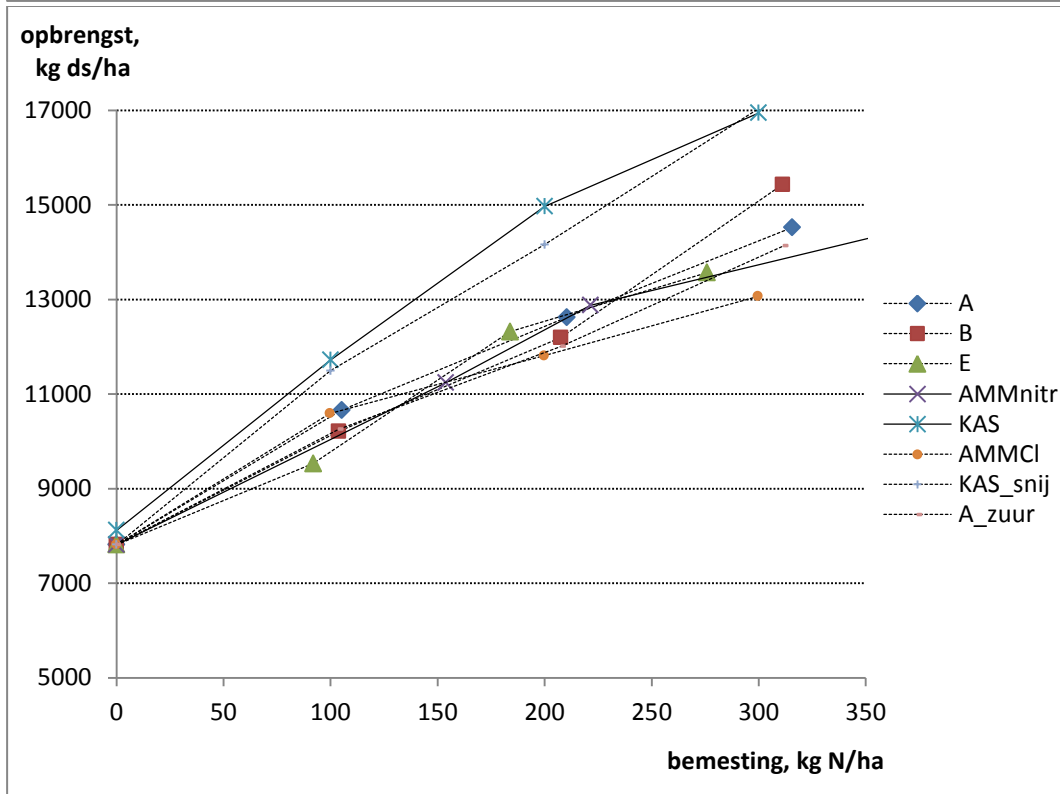
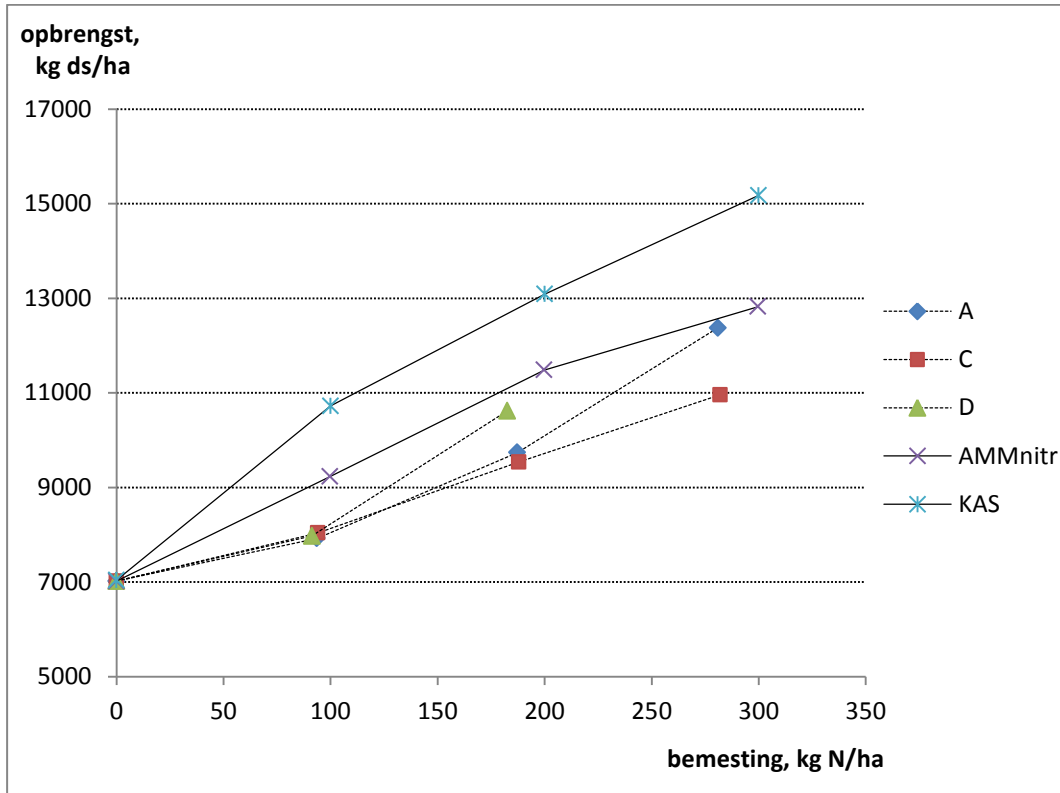
Vervolgens wordt getoetst of de verbanden tussen N-gift en droge stofopbrengst curvilineair of lineair zijn. Om dat te testen is de factor Ngift² ingevoegd. Deze factor bleek significant. De verbanden tussen N-gift en droge stofopbrengst zijn curvilineair.

Visueel lijken vooral de lijnen op basis van de werkelijke gegevens voor KAS naar beneden af te buigen bij de hogere giften (figuren 1 en 2).



A, B, C, D, E: concentraten; AMMnitr: vloeibaar ammoniumnitraat; KAS: ammoniumnitraat korrels; AMMCl: opgelost ammoniumchloride; KAS_snij: ammoniumnitraat korrels en gesneden zode met toedieningsmachine; A_zuur: concentraat A aangezuurd met propionzuur.

Figuur 1 Droge stofopbrengst (gemeten waarde) bij toediening van concentraten en kunstmeststoffen op zand bij drie sneden bemesten, 2009 (bovenste figuur) en 2010. (onderste figuur).



A, B, C, D, E: concentraten; AMMnitr: vloeibaar ammoniumnitraat; KAS: ammoniumnitraat korrels; AMMCl: opgelost ammoniumchloride; KAS_snij: ammoniumnitraat korrels en gesneden zode met toedieningsmachine; A_zuur: concentraat A aangezuurd met propionzuur.

Figuur 2 Droge stofopbrengst (gemeten waarde) bij toediening van concentraten en kunstmeststoffen op klei bij drie sneden bemesten, 2009 en 2010.

Met behulp van een uitgebreid Reml model zijn de interacties getoetst.

In het Reml-model voor de droge stofopbrengst met interacties blijven de hoofdeffecten significant, behalve locatie (tabel 16). De verschillen tussen de locaties worden wel teruggevonden in de interacties met oogstjaar en N-gift. Hoewel Locatie als hoofdeffect niet significant is maar interacties met Locatie wel, betekent het dat er wel significante verschil is tussen klei en zand. Dit verschil wordt echter helemaal verklaard door een verschil in reactie op N en verschillen tussen de oogstjaren. Er is geen rest-verschil meer over tussen de locaties dat niet door deze interacties wordt verklaard. N-gift blijkt zoals verwacht een belangrijke factor te zijn voor de droge stofopbrengst. Dat N-gift in veel van de interacties terugkomt wil zeggen dat de respons van het gras op de gegeven N-bemesting afhangt van een aantal andere factoren zoals locatie en mestsoort. Ook het aantal bemestingen heeft invloed op de N-respons van het gras.

Dat de factor Ngift² (N-gift in het kwadraat) betekent dat het verband tussen N-gift en droge stofopbrengst curvilineair is. De interacties met Ngift² zijn niet significant. Dat betekent dat de vorm van de afbuiging niet verschilt tussen locaties, mestsoorten, oogstjaren en aantal bemestingen.

Tabel 16 Reml model, significante factoren voor droge stofopbrengsten

Fixed term	Probability (waarschijnlijkheid) *
Locatie	0,286
Ngift	<0,001
Oogstjaar	<0,001
Mestsoort	<0,001
Ngift2	0,003
Locatie.oogstjaar	0,004
Locatie.Ngift	<0,001
mestsoort.Ngift	<0,001
Ngift.aantalbem	<0,001
mestsoort.Ngift.aantalbem	0,006

*Probability lager dan 0,05 betekent significante verschillen

Omdat een continue model is ontwikkeld met reml, kunnen op elk N-bemestingsniveau opbrengsten geschat worden. Met het model zijn de opbrengsten geschat bij 0, 100, 200 en 300 kg N per ha bij driemaal bemesten voor de 2 jaren en de twee locaties. Daarmee zijn de ANE's berekend voor de 2 jaren op zand en klei voor de verschillende meststoffen.

Tabel 17 Reml model berekening van droge stofopbrengst (kg per ha) en ANE*, zand

Oogstjaar	Meststof	Ngift				ANE		
		0	100	200	300	100	200	300
2009	A conc	5587	7423	9069	10298	18,4	17,4	15,7
	C conc	5587	6860	8273	9268	12,7	13,4	12,3
	D conc	5587	7394	9112	10412	18,1	17,6	16,1
	AN	5587	7621	9355	10671	20,3	18,8	16,9
	KAS	5587	8412	10820	12810	28,3	26,2	24,1
	2010	A conc	9524	11360	13007	14235	18,4	17,4
B conc		9524	11419	13496	15154	19,0	19,9	18,8
E conc		9524	11687	13227	14350	21,6	18,5	16,1
AN		9524	11558	13292	14608	20,3	18,8	16,9
KAS		9524	12350	14757	16747	28,3	26,2	24,1
A conc zuur		9524	10858	12652	14028	13,3	15,6	15,0
ACI		9524	11154	12598	13623	16,3	15,4	13,7
KAS_snij		9524	12336	15029	17304	28,1	27,5	25,9

*ANE = (opbrengst bij gift – opbrengst bij 0) / N gift = kg ds per kg N

Tabel 18 Reml model berekening van droge stofopbrengst (kg per ha) en ANE*, klei

Oogstjaar		Ngift				ANE		
2009	Meststof	0	100	200	300	100	200	300
	A conc	6910	9047	10994	12523	21,4	20,4	18,7
	C conc	6910	8484	10197	11493	15,7	16,4	15,3
	D conc	6910	9018	11037	12637	21,1	20,6	19,1
	AN	6910	9245	11279	12896	23,4	21,8	20,0
	KAS	6910	10036	12745	15035	31,3	29,2	27,1
2010	A conc	8174	10311	12258	13787	21,4	20,4	18,7
	B conc	8174	10370	12747	14705	22,0	22,9	21,8
	E conc	8174	10638	12479	13902	24,6	21,5	19,1
	AN	8174	10509	12543	14160	23,4	21,8	20,0
	KAS	8174	11300	14009	16299	31,3	29,2	27,1
	A conc zuur	8174	9809	11903	13580	16,4	18,6	18,0
	ACI	8174	10105	11849	13175	19,3	18,4	16,7
	KAS_snij	8174	11287	14281	16856	31,1	30,5	28,9

*ANE = (opbrengst bij gift – opbrengst bij 0) / N gift = kg ds per kg N

Door de ANE's van de mineralenconcentraten en de vloeibare kunstmeststoffen te delen door die van KAS bij dezelfde N-bemesting zijn de N-werkingscoëfficiënten berekend. Tevens zijn die ten opzichte van de ANvl berekend.

Tabel 19 Werkingscoëfficiënten van concentraten ten opzichte van KAS en vloeibaar ammoniumnitraat op zand op basis van droge stofopbrengst, uitgedrukt in fractie

Ngift	N-werkingscoëff. ten opzichte van KAS				N-werkingscoëff. t.o.v. vloeib. amm. nitr				
	Meststof	100	200	300	Gemidd.	100	200	300	Gemidd.
2009	A conc	0,65	0,67	0,65	0,66	0,90	0,92	0,93	0,92
	C conc	0,45	0,51	0,51	0,49	0,63	0,71	0,72	0,69
	D conc	0,64	0,67	0,67	0,66	0,89	0,94	0,95	0,92
	AMMnitr	0,72	0,72	0,70	0,71	1,00	1,00	1,00	1,00
	KAS	1,00	1,00	1,00	1,00	1,39	1,39	1,42	1,40
2010	A conc	0,65	0,67	0,65	0,66	0,90	0,92	0,93	0,92
	B conc	0,67	0,76	0,78	0,74	0,93	1,05	1,11	1,03
	E conc	0,77	0,71	0,67	0,71	1,06	0,98	0,95	1,00
	AMMnitr	0,72	0,72	0,70	0,71	1,00	1,00	1,00	1,00
	KAS	1,00	1,00	1,00	1,00	1,39	1,39	1,42	1,40
	A conc zuur	0,47	0,60	0,62	0,56	0,66	0,83	0,89	0,79
	AMMCI	0,58	0,59	0,57	0,58	0,80	0,82	0,81	0,81
	KAS_snij	1,00	1,05	1,08	1,04	1,38	1,46	1,53	1,46

Tabel 20 Werkingscoëfficiënten van concentraten ten opzichte van KAS en vloeibaar ammoniumnitraat op klei op basis van droge stofopbrengst, uitgedrukt in fractie

	N-werkingscoëff ten opzichte van KAS				N-werkingscoëff. t.o.v. vloeib amm. nitr.			
	100	200	300	Gemidd.	100	200	300	Gemidd.
2009								
A conc	0,68	0,70	0,69	0,69	0,92	0,93	0,94	0,93
C conc	0,50	0,56	0,56	0,54	0,67	0,75	0,77	0,73
D conc	0,67	0,71	0,70	0,70	0,90	0,94	0,96	0,93
AMMnitr	0,75	0,75	0,74	0,74	1,00	1,00	1,00	1,00
KAS	1,00	1,00	1,00	1,00	1,34	1,34	1,36	1,34
2010								
A conc	0,68	0,70	0,69	0,69	0,92	0,93	0,94	0,93
B conc	0,70	0,78	0,80	0,76	0,94	1,05	1,09	1,03
E conc	0,79	0,74	0,70	0,74	1,06	0,99	0,96	1,00
AMMnitr	0,75	0,75	0,74	0,74	1,00	1,00	1,00	1,00
KAS	1,00	1,00	1,00	1,00	1,34	1,34	1,36	1,34
A_zuur conc	0,52	0,64	0,67	0,61	0,70	0,85	0,90	0,82
AMMCI	0,62	0,63	0,62	0,62	0,83	0,84	0,84	0,83
KAS_snij	1,00	1,05	1,07	1,04	1,33	1,40	1,45	1,39

De N-werkingscoëfficiënten ten opzichte van KAS van de vloeibare meststoffen, inclusief concentraten, zijn allemaal lager dan 100%.

Tussen bemesten met KAS zonder en met snijden van de zode is het verschil klein. Gemiddeld is de opbrengst bij KAS met snijden 4% hoger dan bij KAS zonder snijden.

Met ANvl als referentiemeststof zijn de werkingscoëfficiënten van de concentraten hoger dan met KAS als referentiemeststof.

De N-werkingscoëfficiënten van de mineralenconcentraten op basis van de droge stofopbrengst en met KAS als referentiemeststof variëren in 2009 op zand tussen 49 en 66%.

In 2010 tussen 66 en 74%. Met vloeibare ammoniumnitraat als referentie varieert de N werkingscoëfficiënt in 2009 tussen 69 en 92% en in 2010 tussen 92 en 103%.

De werkingscoëfficiënten van de mineralenconcentraten op basis de droge stofopbrengst en met KAS als referentiemeststof variëren in 2009 op klei tussen 54 en 70%. In 2010 tussen 69 en 76%.

Met vloeibare ammoniumnitraat als referentie varieert de N werkingscoëfficiënt in 2009 tussen 73 en 93% en in 2010 tussen 93 en 103%.

3.7 N-werkingscoëfficiënten op basis van N-opbrengsten

De N-werkingscoëfficiënten op basis van de N-opbrengsten worden op dezelfde manier berekend als voor de droge stofopbrengst. In de tweede fase van de statistische analyse wordt, zoals aangegeven in 2.7, berekend met behulp van een model dat ontwikkeld is op basis van de data.

Eerst wordt in de tussenstap bepaald of de nulpunten van de veldjes waarin nul, één, twee of drie keer gesneden is met de proefveldmachine, significant verschillen. Uit de analyse blijkt er net geen significant verschil in droge stofopbrengst te zijn tussen de veldjes die nul, één, twee of drie keer zijn gesneden (tabel 21). Bij nadere beschouwing blijkt de N-opbrengst alleen bij drie keer snijden op de klei-locatie net niet significant lager te zijn dan bij nul keer snijden.

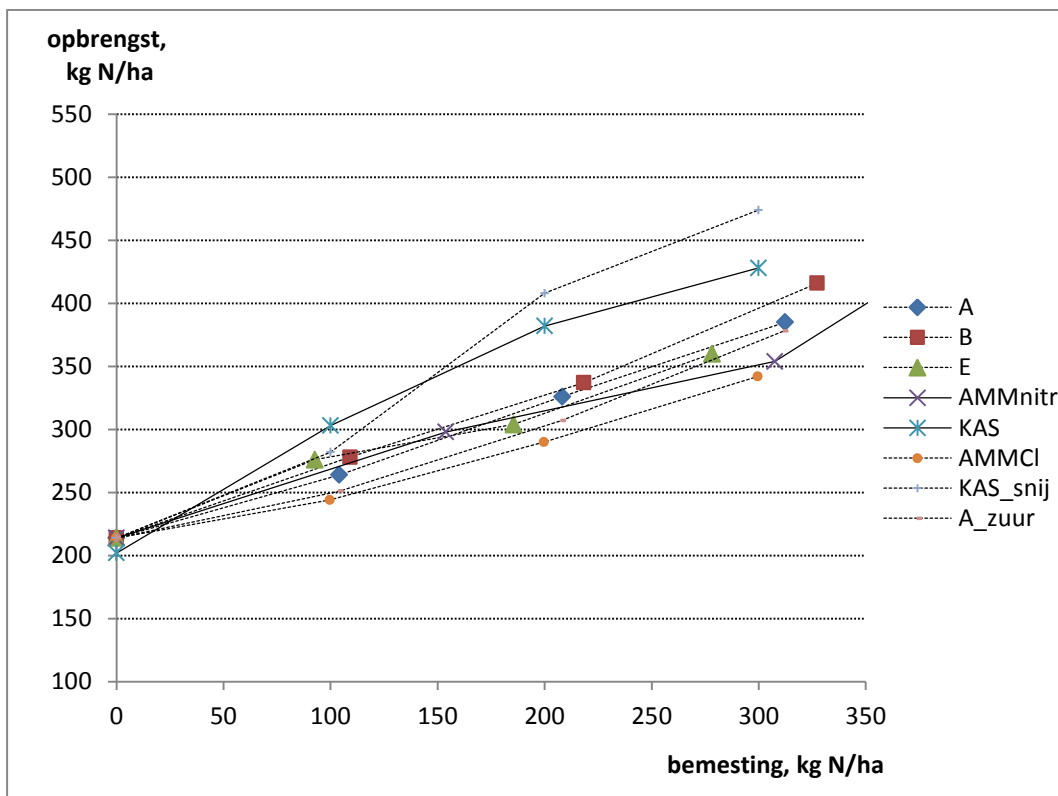
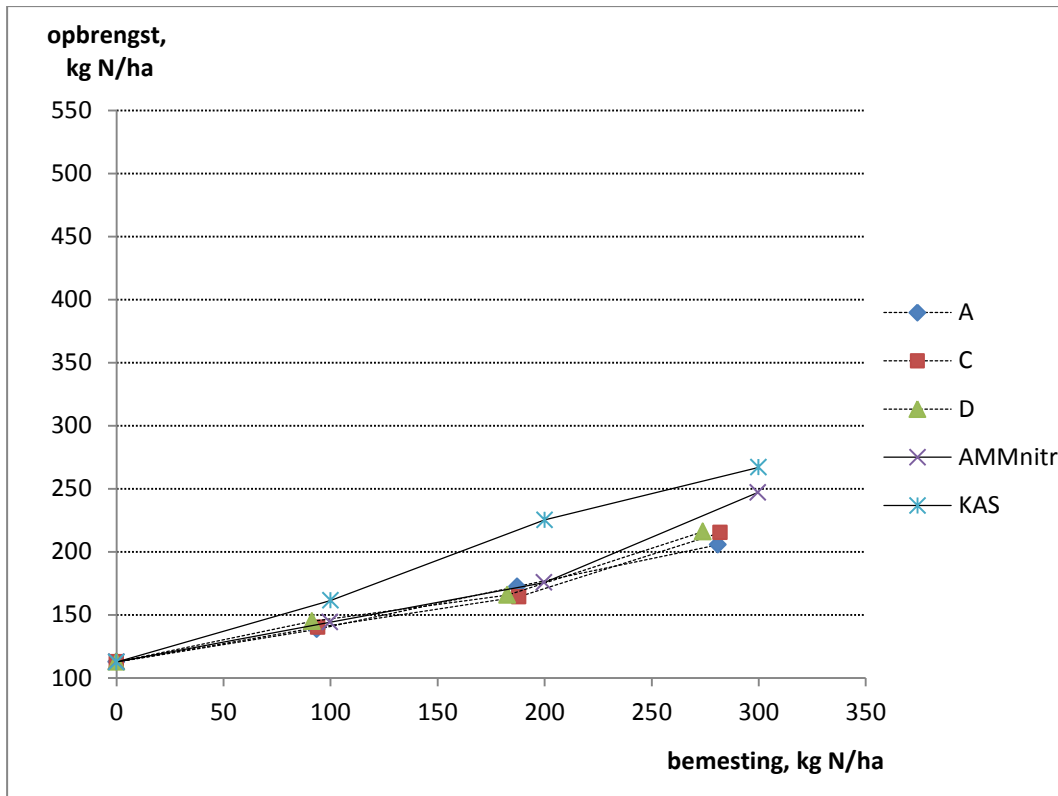
De respons lijnen van droge stofopbrengst op N starten daarom in hetzelfde punt, ongeacht de uitrijmethode.

Tabel 21 Reml model, toetsing voor snij-effect op objecten zonder N-bemesting

Fixed term	Probability (waarschijnlijkheid)*
Locatie	0,785
Oogstjaar	0,295
SNIJDEN	0,786
Locatie.SNIJDEN	0,742
Oogstjaar.SNIJDEN	0,932
SNIJDEN.aantalbem	0,389
Locatie.SNIJDEN.aantalbem	0,077
Oogstjaar.SNIJDEN.aantalbem	0,428

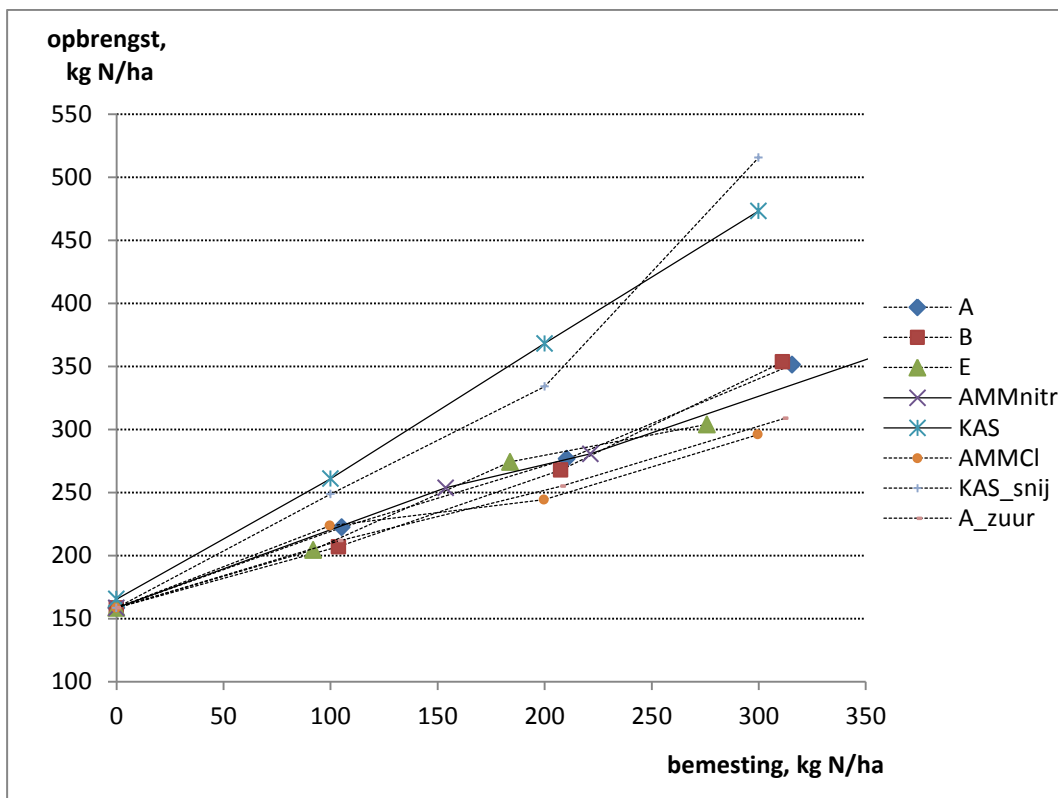
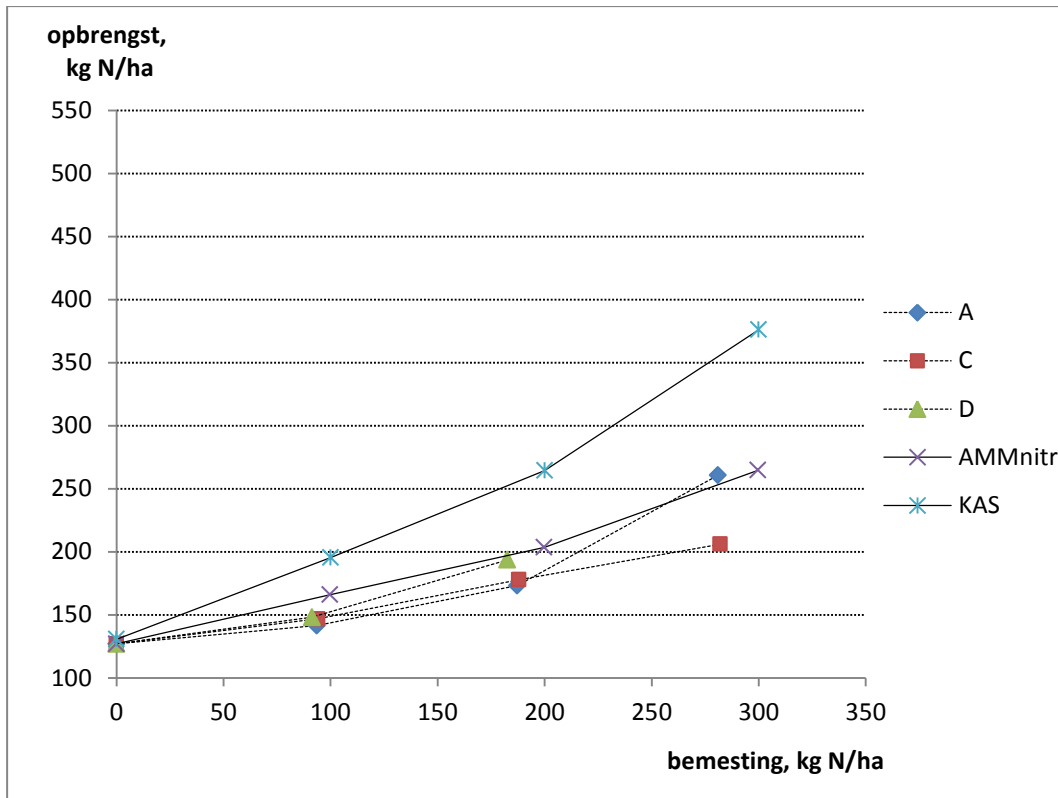
*Probability lager dan 0,05 betekent significante verschillen.

Vervolgens wordt getoetst of de verbanden tussen N-gift en N-opbrengst curvilineair of lineair zijn. Om dat te testen is de factor N_{gift}^2 ingevoegd. Deze factor bleek significant. De verbanden tussen N-gift en droge stofopbrengst zijn curvilineair. In de figuren 3 en 4 lijken vooral de KAS-lijnen licht af te buigen bij een hogere N-bemesting. Andere lijnen zoals de lijn van KAS op klei in 2009 lijken hol te lopen. Dit sluit niet aan bij de theorie van een afnemende meeropbrengst bij een hogere gift.



A, B, C, D, E: concentraten; AMMnitr: vloeibaar ammoniumnitraat; KAS: ammoniumnitraat korrels; AMMCl: opgelost ammoniumchloridel; KAS_snij: ammoniumnitraat korrels en gesneden zode met toedieningsmachine; A_zuur: concentraat A aangezuurd met propionzuur.

Figuur 3 Stikstofopbrengst (gemeten waarden) bij toediening van concentraten en kunstmeststoffen op zand, 2009 en 2010



A, B, C, D, E: concentraten; AMMnitr: vloeibaar ammoniumnitraat; KAS: ammoniumnitraat korrels; AMMCl: opgelost ammoniumchloridel; KAS_snij: ammoniumnitraat korrels en gesneden zode met toedieningsmachine; A_zuur: concentraat A aangezuurd met propionzuur.

Figuur 4 Stikstofopbrengst (gemeten waarden) bij toediening van concentraten en kunstmeststoffen op klei, 2009 en 2010

Op dezelfde manier als bij de droge stofopbrengsten is met Reml een model ontwikkeld dat de N-opbrengsten van het gras schat. Een opmerkelijk verschil met het model van de droge stofopbrengst is dat het aantal bemestingen bij de N-opbrengst veel minder invloed heeft (tabel 22). In de pre-analyse bleek al dat aantal bemestingen als hoofdeffect niet significant was (tabel 13). Pas in de derde graads interactie komt het aantal bemestingen als factor naar voren. Bij nadere beschouwing blijkt dat slechts in één situatie (één concentraat in 1 jaar) de N-opbrengst net significant hoger is bij eenmaal bemesten dan bij drie keer bemesten. Dit wordt als toeval beschouwd. Kennelijk maakt het (binnen de grenzen van deze proef) niet zoveel uit voor de N-opbrengst hoe de N bemesting over de eerste drie sneden verdeeld wordt. Voor de berekening van de modelwaarden is deze interactie uit het model gelaten.

Locatie als hoofdeffect is niet significant maar een interactie met Locatie wel. Dit betekent dat er wel significant verschil is tussen klei en zand. Dit verschil wordt echter helemaal verklaard door verschillen tussen de oogstjaren. Er is geen rest-verschil meer over tussen de locaties dat niet door deze interactie wordt verklaard.

De factor Ngift² blijkt significant te zijn maar is positief. Dit betekent dat het model schat dat de lijnen hol lopen. Dit is komt niet overeen de theorie (Mengel and Kirkby, 2001). In paragraaf 2.7 is uitgelegd dat we dit accepteren.

Tabel 22 Reml model, significante factoren voor N-opbrengsten

Fixed term	Probability*
Locatie	0,138
Oogstjaar	<0,001
Mestsoort	<0,001
Ngift	<0,001
Ngift ²	<0,001
Locatie.oogstjaar	0,004
mestsoort.Ngift	<0,001
mestsoort.Ngift.aantalbem	0,017

*Probability lager dan 0,05 betekent significante verschillen

Het significante effect van mestsoort.Ngift geeft aan dat de respons van de verschillende mestsoorten op N niet gelijk is binnen het zelfde N gift-traject.

Omdat een continue model is ontwikkeld met reml, kunnen op elk N-bemestingsniveau opbrengsten geschat worden. Met het model zijn de N-opbrengsten geschat bij 0, 100, 200 en 300 kg N per ha bij driemaal bemesten voor de 2 jaren en de twee locaties. Daarmee zijn de ANR's berekend voor de 2 jaren op zand en klei voor de verschillende meststoffen.

De factor 'Locatie' heeft bij N-opbrengst alleen een significante invloed op het niveau. De interactie met N-gift en mestsoort is niet significant. Bij de berekening van de ANR op zand en klei is het niveau gelijkgetrokken omdat de opbrengst bij 0 kg N per ha eraf getrokken is. Daardoor zijn de ANR's op zand en klei gelijk. Daaruit volgt dat ook de berekende N-werkingscoëfficiënten op basis van N-opbrengst gelijk zijn.

Tabel 23 Reml model berekening van N-opbrengst (kg per ha) en ANR*, zand

Oogstjaar		Ngift				ANR		
2009	Meststof	0	100	200	300	100	200	300
	A conc	97,4	140,1	187,1	242,7	0,43	0,45	0,48
	C conc	97,4	132,3	165,8	207,9	0,35	0,34	0,37
	D conc	97,4	138,8	177,4	224,5	0,41	0,40	0,42
	AN	97,4	140,5	190,2	248,7	0,43	0,46	0,50
	KAS	97,4	170,7	252,6	343,2	0,73	0,78	0,82
2010	A conc	215,9	258,7	305,6	361,2	0,43	0,45	0,48
	B conc	215,9	263,1	324,5	394,6	0,47	0,54	0,60
	E conc	215,9	261,2	311,7	370,9	0,45	0,48	0,52
	AN	215,9	259	308,8	367,2	0,43	0,46	0,50
	KAS	215,9	289,2	371,1	461,7	0,73	0,78	0,82
	A_ zuur conc	215,9	249,4	298,2	355,6	0,34	0,41	0,47
	ACI	215,9	252,5	290,9	337,9	0,37	0,38	0,41
	KAS_snij	215,9	284,2	394,6	513,5	0,68	0,89	0,99

*ANR = (opbrengst bij gift – opbrengst bij 0) / N gift = kg N per kg N

Tabel 24 Reml model berekening van N-opbrengst (kg per ha) en ANR*, klei

Oogstjaar		Ngift				ANR		
2009	Meststof	0	100	200	300	100	200	300
	A conc	121,4	164,2	211,1	266,7	0,43	0,45	0,48
	C conc	121,4	156,3	189,8	231,9	0,35	0,34	0,37
	D conc	121,4	162,8	201,4	248,6	0,41	0,40	0,42
	AN	121,4	164,5	214,3	272,7	0,43	0,46	0,50
	KAS	121,4	194,7	276,6	367,2	0,73	0,78	0,82
2010	A conc	175,3	218	265	320,6	0,43	0,45	0,48
	B conc	175,3	222,5	283,9	354	0,47	0,54	0,60
	E conc	175,3	220,6	271,1	330,3	0,45	0,48	0,52
	AN	175,3	218,4	268,1	326,6	0,43	0,46	0,50
	KAS	175,3	248,6	330,5	421,1	0,73	0,78	0,82
	A_ zuur conc	175,3	208,7	257,6	315	0,33	0,41	0,47
	ACI	175,3	211,9	250,2	297,2	0,37	0,37	0,41
	KAS_snij	175,3	243,6	353,9	472,9	0,68	0,89	0,99

*ANR = (opbrengst bij gift – opbrengst bij 0) / N gift = kg N per kg N

Door de ANR's van de mineralenconcentraten en de vloeibare kunstmeststoffen te delen door die van KAS zijn de N-werkingscoëfficiënten berekend. Tevens zijn die ten opzichte van de ANVI berekend.

Tabel 25 Werkingscoëfficiënten van concentraten ten opzichte van KAS en vloeibaar ammoniumnitraat op zand op basis van N-opbrengst, uitgedrukt in fractie

Ngift Meststof	N-werkingscoëff. ten opzichte van KAS				N-werkingscoëff. t.o.v. vloeib. amm. nitr.			
	100	200	300	Gemidd.	100	200	300	Gemidd.
2009								
A conc	0,58	0,58	0,59	0,58	0,99	0,97	0,96	0,97
C conc	0,48	0,44	0,45	0,46	0,81	0,74	0,73	0,76
D conc	0,56	0,52	0,52	0,53	0,96	0,86	0,84	0,89
AMMnitr	0,59	0,60	0,62	0,60	1,00	1,00	1,00	1,00
KAS	1,00	1,00	1,00	1,00	1,70	1,67	1,62	1,67
2010								
A conc	0,58	0,58	0,59	0,58	0,99	0,97	0,96	0,97
B conc	0,64	0,70	0,73	0,69	1,10	1,17	1,18	1,15
E conc	0,62	0,62	0,63	0,62	1,05	1,03	1,02	1,04
AMMnitr	0,59	0,60	0,62	0,60	1,00	1,00	1,00	1,00
KAS	1,00	1,00	1,00	1,00	1,70	1,67	1,62	1,67
A_zuur conc	0,46	0,53	0,57	0,52	0,78	0,89	0,92	0,86
AMMCI	0,50	0,48	0,50	0,49	0,85	0,81	0,81	0,82
KAS_snij	0,93	1,15	1,21	1,10	1,58	1,92	1,97	1,83

Tabel 26 Werkingscoëfficiënten van concentraten ten opzichte van KAS en vloeibaar ammoniumnitraat op klei op basis van N-opbrengst, uitgedrukt in fractie

	N-werkingscoëff. ten opzichte van KAS				N-werkingscoëff. t.o.v. vloeib. amm. nitr.			
	100	200	300	Gemidd.	100	200	300	Gemidd.
2009								
A conc	0,58	0,58	0,59	0,58	0,99	0,97	0,96	0,97
C conc	0,48	0,44	0,45	0,46	0,81	0,74	0,73	0,76
D conc	0,56	0,52	0,52	0,53	0,96	0,86	0,84	0,89
AMMnitr	0,59	0,60	0,62	0,60	1,00	1,00	1,00	1,00
KAS	1,00	1,00	1,00	1,00	1,70	1,67	1,62	1,67
2010								
A conc	0,58	0,58	0,59	0,58	0,99	0,97	0,96	0,97
B conc	0,64	0,70	0,73	0,69	1,10	1,17	1,18	1,15
E conc	0,62	0,62	0,63	0,62	1,05	1,03	1,02	1,04
AMMnitr	0,59	0,60	0,62	0,60	1,00	1,00	1,00	1,00
KAS	1,00	1,00	1,00	1,00	1,70	1,67	1,62	1,67
A_zuur conc	0,46	0,53	0,57	0,52	0,77	0,89	0,92	0,86
AMMCI	0,50	0,48	0,50	0,49	0,85	0,81	0,81	0,82
KAS_snij	0,93	1,15	1,21	1,10	1,58	1,92	1,97	1,83

De N-werkingscoëfficiënten ten opzichte van KAS van de vloeibare meststoffen inclusief concentraten zijn allemaal lager dan 100 % (tabel 25 en 26).

Tussen bemesten met KAS zonder en met snijden van de zode is weinig verschil. Gemiddeld heeft het object KAS met snijden een 10 % hogere N-opbrengst dan het object KAS (zonder snijden).

Met ANvl als referentiemeststof zijn de werkingscoëfficiënten van de concentraten hoger dan met KAS als referentiemeststof.

De N-werkingscoëfficiënten van de mineralenconcentraten op basis van de N-opbrengst en met KAS als referentiemeststof variëren in 2009 op beide grondsoorten tussen 46 en 58%. In 2010 tussen 58 en 69%. Gemiddeld is de N-werkingscoëfficiënt ten opzichte van KAS 58%.

Met vloeibare ammoniumnitraat als referentie varieert de N werkingscoëfficiënt in 2009 tussen 76 en 97% en in 2010 tussen 97 en 115%.

Gemiddeld is de N-werkingscoëfficiënt ten opzichte van ANvl 96%.

3.8 N-mineraal in de bodem

De resultaten van de analyses van N-mineraal in de bodem van 2009 op zand en van 2010 op zand en klei zijn gegeven in de tabellen 28 t/m 30.

De statistische analyse is uitgevoerd met reml (tabel 27). Getoetst is Locatie, Locatie.oogstjaar, mestsoort, Ngift en bodemlaag. Oogstjaar is niet apart getoetst omdat in het eerste jaar alleen zand bemonsterd is en in het tweede jaar beide locaties. Dan is het niet zinvol om oogstjaar als hoofdeffect te toetsen. Alleen Locatie en bodemlaag blijken significant. Er is geen verschil tussen de mestsoorten, N-giften en de twee jaren op zand.

Tabel 27 Reml model, significante factoren voor N-mineraal in de bodem

Fixed term	Probability*
Locatie	0,002
Oogstjaar.Locatie	0,397
Mestsoort	0,982
Ngift	0,860
bodemlaag	<0,001

*Probability lager dan 0,05 betekent significante verschillen

De N-mineraal in de bodem van de mineralenconcentraten is dus niet hoger dan die van KAS. Dit zou wel verwacht worden omdat er veel minder N in het geoogste gras wordt teruggevonden. Er is ook geen duidelijk oplopende hoeveelheid N-mineraal met het toenemen van de bemesting.

Gezien de grote verschillen in N-opname door het gewas zou verwacht worden dat de N-mineraal significant lager zou zijn bij de behandelingen met KAS. Dat is niet zo.

Ondanks de hogere opbrengst in 2010 is het N mineraal gehalte in de bodem in 2010 niet significant verschillend dan in 2009. Het niveau van N-mineraal van klei 2010 is vergelijkbaar met dat van zand in 2010.

De hoeveelheid N-mineraal neemt wel sterk af met de diepte, in de laag 60-90 cm zit gemiddeld over locaties en jaren 14 kg N per ha, terwijl in 0-30 cm diepte gemiddeld over de locaties en jaren 71 kg N per ha zit.

Tabel 28 N mineraal (kg N per ha) in de bodem, zand, 2009

Meststof	Bodemlaag cm	N-niveau 0	100	200	300
A conc.	0-90		100	66	43
	0 - 30		78	24	29
	30 - 60		21	25	14
	60 - 90		0	16	0
C conc.	0-90		94	95	97
	0 - 30		36	35	37
	30 - 60		42	39	39
	60 - 90		15	21	20
D conc	0-90		80	93	63
	0 - 30		62	36	34
	30 - 60		18	18	30
	60 - 90		0	39	0
KAS	0-90		83	52	108
	0 - 30		18	18	42
	30 - 60		47	14	44
	60 - 90		19	20	22
ANvl	0-90		35	109	79
	0 - 30		23	33	35
	30 - 60		13	35	26
	60 - 90		0	42	19
Blanco	0-90	111			
	0 - 30	39			
	30 - 60	47			
	60 - 90	25			
Blanco met snijden machine	0-90	67			
	0 - 30	57			
	30 - 60	10			
	60 - 90	0			

Tabel 29 N mineraal (kg N per ha) in de bodem, zand 2010

Meststof	Bodemlaag cm	N-niveau 0	100	200	300
A conc.	0-90		134	162	156
	0 - 30		81	86	87
	30 - 60		47	65	47
	60 - 90		6	11	23
B conc.	0-90		148	170	169
	0 - 30		72	82	61
	30 - 60		69	72	87
	60 - 90		8	17	21
E conc.	0-90		160	116	191
	0 - 30		78	70	95
	30 - 60		68	40	86
	60 - 90		14	6	10
KAS	0-90		164	165	164
	0 - 30		91	67	81
	30 - 60		46	83	75
	60 - 90		27	15	9
ANvl	0-90		171	150	140
	0 - 30		70	85	71
	30 - 60		79	40	49
	60 - 90		23	25	21
Blanco	0-90	123			
	0 - 30	68			
	30 - 60	42			
	60 - 90	12			
Blanco met snijden machine	0-90	144			
	0 - 30	82			
	30 - 60	55			
	60 - 90	7			
A_zuur conc.	0-90		169	159	113
	0 - 30		73	106	68
	30 - 60		91	48	39
	60 - 90		5	5	6
ACI	0-90		139	198	134
	0 - 30		79	66	78
	30 - 60		53	81	48
	60 - 90		6	50	8
KAS_snij	0-90		149	138	118
	0 - 30		72	84	59
	30 - 60		63	47	46
	60 - 90		14	8	12

Tabel 30 N mineraal (mg per l verse grond) in de bodem, klei 2010

Meststof	Bodemlaag cm	N-niveau	0	100	200	300
A conc.	0-90			98	115	149
	0-30			66	80	86
	30-60			21	26	53
	60 - 90			11	9	10
B conc.	0-90			104	102	139
	0-30			71	73	107
	30-60			23	19	26
	60 - 90			10	9	6
E conc.	0-90			155	127	110
	0-30			98	92	77
	30-60			44	28	23
	60 - 90			13	7	10
KAS	0-90			147	123	142
	0-30			103	89	78
	30-60			33	25	44
	60 - 90			11	11	20
ANvl	0-90			104	160	166
	0-30			76	90	110
	30-60			18	56	43
	60 - 90			10	13	13
Blanco	0-90		126			
	0-30		81			
	30-60		25			
	60 - 90		20			
Blanco met snijden machine	0-90		109			
	0-30		72			
	30-60		30			
	60 - 90		8			
A_zuur conc	0-90			110	102	170
	0-30			77	72	96
	30-60			23	21	51
	60 - 90			10	9	23
ACI	0-90			121	99	112
	0-30			61	54	75
	30-60			43	20	28
	60 - 90			17	24	9
KAS_snij	0-90			130	115	134
	0-30			77	75	78
	30-60			33	29	34
	60 - 90			20	12	22

4 Discussie

4.1 Dosering van N

Een belangrijk aandachtspunt in deze proef is de nauwkeurigheid van de hoeveelheid meststof die is toegediend. Het is wenselijk dat de toegediende hoeveelheid nauwkeurig vastligt. Een (kleine) afwijking in gift ten opzichte van gepland is niet erg, zolang bekend is hoe groot deze afwijking is. De nauwkeurigheid van toedienen is afhankelijk van de machine waarmee de meststoffen toegediend zijn. In dit onderzoek is voor toediening van de vloeibare meststoffen (inclusief de mineralen-concentraten) gewerkt met een machine die speciaal hiervoor gemaakt is. Op basis van de afgifte van elementen en de rijsnelheid wordt de dosering bepaald.

De afgifte van de elementen is enkele malen nauwkeurig bepaald, zowel aan het begin van het seizoen als aan het eind van het seizoen. De afgifte is bepaald met een zogenaamde 'afdraaioproef'. Er zijn een aantal mogelijkheden om de juiste dosering in te stellen.

1. Spuitplaatje. Er zijn drie verschillende spuitplaatjes per element gemonteerd, die door middel van een kraan kunnen worden ingeschakeld. De stand van de kraan is duidelijk aan de buitenkant te veranderen en af te lezen;
2. Afgiftedruk: in deze proef kon worden gekozen uit 1 of 1,5 bar. Deze druk is tijdens het toedienen voortdurend gemonitord en is indien nodig onder het rijden bijgesteld;
3. Rijsnelheid trekker. De chauffeur van de trekker heeft de rijsnelheid voor het insteken op het proefveld vastgezet op de juiste rijsnelheid.

Met de afdraaioproef is een tabel gemaakt die bij diverse kraanstanden voor 1 en 1,5 bar de afgegeven opbrengst weergeeft, bij een vaste (constante) rijsnelheid van de trekker. Wanneer de werkelijke gift die nodig is, iets afwijkt van de gift in de tabel, wordt door middel van een snelheidsaanpassing deze gift uiteindelijk gehaald. De trekker is hiertoe uitgerust met een geijkte snelheidsmeter. De exacte onnauwkeurigheid van de afgifte is niet bepaald maar geschat wordt dat die enkele procenten zal zijn. De rijsnelheid van de trekker op het veld kan afwijken door het optreden van slijp. Dat zou betekenen dat de werkelijke rijsnelheid lager is dan de afgelezen snelheid en daardoor de dosering hoger. Met als gevolg dat de N-werkingscoëfficiënt overschat wordt.

De werkingscoëfficiënten zijn echter lager dan we verwachten. Dit is dus niet het gevolg van slijp. De monsters waarin gehalten zijn bepaald, zijn genomen uit de tank van de machine, die zorgt dat de vloeistof voortdurend in beweging is. Verwacht wordt dat er een goed representatief monster is genomen. De gehalten van de concentraten zijn bepaald in een gecertificeerd laboratorium. Verwacht wordt dat deze betrouwbaar zijn. De toediening van de KAS en de P- en K-meststoffen is uitgevoerd met een proefveldkunstmeststrooier met een zeer betrouwbare dosering.

Wij verwachten dat de toegediende N die we in de berekeningen hebben gebruikt, de werkelijke hoeveelheid toegediende N zeer dicht benaderen.

4.2 N-werkingscoëfficiënt op basis van droge stofopbrengst versus N-opbrengst

In **Tabel 31** is een overzicht van de berekende werkingscoëfficiënten over 2009 en 2010 gegeven. Op beide grondsoorten is de werkingscoëfficiënt lager wanneer gerekend wordt met de N-opbrengst dan wanneer gerekend wordt met de droge stofopbrengst. De berekening van de N-werkingscoëfficiënt met de N-opbrengst blijkt van minder factoren af te hangen: Locatie en aantal malen bemesten heeft onder deze omstandigheden geen invloed op de N-werkingscoëfficiënt.

Tabel 31 Berekende werkingscoëfficiënten van alle concentraten in 2009 en 2010.

	Droge stofopbrengst		N-opbrengst	
	Tov KAS	tov ANvl	Tov KAS	tov ANvl
Zand	49-74	69-103	46-69	76-115
Klei	54-76	73-103	46-69	76-115

Wat de beste berekening is van een N-werkingscoëfficiënt, met droge stofopbrengst of N-opbrengst, is afhankelijk van het doel van het gewas. Wanneer het niet uitmaakt welk N-gehalte (of kwaliteit) het product heeft of hoeveel N onbenut blijft, is een werkingscoëfficiënt op basis van droge stofopbrengst voldoende. Wanneer het N-gehalte wel van belang is voor een product, is de werkingscoëfficiënt op basis van N-opbrengst het meest zuiver. Bij gras is het eiwitgehalte en daarmee het N-gehalte een

belangrijk kwaliteitskenmerk. Bij de toepassing van mineralenconcentraat is ook de hoeveelheid N die achterblijft in het bodemprofiel van belang.

De meest zuivere werkingscoëfficiënt zou in dit geval die zijn op basis van N-opbrengst. Voor het rapporteren van de uiteindelijke N-werkingscoëfficiënt zal voor deze gekozen worden.

4.3 Spreiding in N-werkingscoëfficiënt ten opzichte van onbewerkte drijfmest

Bij veldproeven voor bepalingen van N-werkingscoëfficiënten in onbewerkte runderdrijfmest is de spreiding over het algemeen groot. Uit Bruinenberg & van Middelkoop (2004) blijkt dat er in veldproeven op gras een grote spreiding is van N-werkingscoëfficiënten uit runderdrijfmest (12-74% van N-totaal). We verwachten dat vooral de werking van het organische deel van de N in runderdrijfmest een grote spreiding veroorzaakt.

Binnen de concentratenproef is de spreiding van de N-werkingscoëfficiënt ten opzichte van KAS op basis van N-opbrengst beperkt, de spreiding in werkingscoëfficiënt bedraagt 46 tot 69%. Helemaal vergelijkbaar is het niet met de proeven met runderdrijfmest omdat er met slechts zes verschillende producten in twee jaar op twee locaties is gewerkt (het A-concentraat van 2009 is niet exact gelijk aan het A-concentraat van 2010). In het rapport over runderdrijfmest gaat het over meerdere jaren, proeven en partijen drijfmest. De lagere spreiding strookt met het gegeven dat er weinig organische N in mineralenconcentraten aanwezig is. Ten opzichte van vloeibaar ammoniumnitraat is de absolute spreiding van de berekende werkingscoëfficiënten groter (76 – 115%) omdat de absolute waarden van werkingscoëfficiënten hoger zijn (dus grotere getallen) dan ten opzichte van KAS.

Het aantal getoetste mineralenconcentraten is overigens te klein om te toetsen of de hoogte van de N-werkingscoëfficiënt afhangt van de hoeveelheid organische N in de mineralenconcentraten en daarmee een deel van de spreiding te verklaren.

4.4 Aanzuren

Het aanzuren van het A-concentraat had tot doel om de pH te verlagen van circa 8 naar 6 om eventuele ammoniakemissie te verlagen. De zuurhoeveelheid die nodig zou zijn, was op laboratoriumschaal bepaald. Het aanzuren leidde in 2010 echter niet tot een pH van 6 of lager. In monsters van de grote hoeveelheden bleek de pH ongeveer 7 te zijn. Mogelijk is na verloop van tijd de pH weer omhoog gegaan door bufferende werking van het mestconcentraat. Het is niet bekend hoe hoog de pH tijdens de toediening was. Bij toediening op de kleigrond was het concentraat kort van te voren aangezuurd en vervolgens uitgereden en bemonsterd. De monsters zijn in de koelcel opgeslagen en na enkele dagen naar het laboratorium getransporteerd. Ook daar zijn de monsters nog enige tijd gekoeld bewaard voor de pH is gemeten. Tussen het uitrijden en het meten van de pH zat dus geruime tijd.

Het N-gehalte van de aangezuurde monsters is niet lager dan niet-aangezuurde monsters van het A-concentraat. Er lijkt dus (vrijwel) geen N te zijn verloren via denitrificatie of ammoniakemissie tijdens het aanzuren. Dit zegt niets over het verlies tijdens uitrijden.

Verwacht mocht worden dat het aangezuurde concentraat minimaal de opbrengst zou halen van het niet-aangezuurde concentraat. De opbrengst is echter significant lager.

Achteraf is echter gebleken dat propionzuur giftig is voor planten(wortels) en micro-organismen in de bodem (pers comm P.A.I. Ehlert). Omdat propionzuur vrij snel afgebroken wordt onder aerobe omstandigheden zou dit van korte duur zijn. De objecten zijn echter drie keer met aangezuurd concentraat bemest. Bij iedere bemesting werd dus een (kortwerkend) toxische stof toegediend. Waarschijnlijk is dit een verklaring voor de lagere opbrengst bij aanzuren.

Het doel van het aanzuren was om eventuele ammoniakemissie te verlagen. Het is echter niet te controleren of dit is gebeurd.

Het aanzuren met propionzuur was gekozen omdat het aanzuren met zwak zuur veiliger is dan met geconcentreerde sterke zuren en omdat bij het toevoegen van sterke zuren zoals zwavelzuur, salpeterzuur, fosforzuur of zoutzuur nutriënten of chloor worden toegevoegd aan het concentraat. Dit zou hebben geleid tot een verandering van de nutriënten-inhoud van het concentraat.

4.5 Ammoniumchloride

De opbrengst van het object bemest met ammoniumchloride gaf de laagste opbrengst van alle meststoffen in 2010. Verwacht was dat de opbrengst minimaal die van de mineralenconcentraten zou evenaren. Uit het literatuuronderzoek van Ehlert & Hoeksma (2011), onderdeel van de pilot studie, blijkt dat chloor een negatieve invloed kan hebben op de nitrificatie van ammonium naar nitraat en

daarmee een negatieve invloed op de effectiviteit van de N. Mogelijk kan dit de lagere opbrengst van ammoniumchloride ten opzichte van de overige meststoffen verklaren.

4.6 Snijwerking van de machine

Een effect van het snijden van de zode op de opbrengst (negatief dan wel positief) is niet aangetoond. Zowel de droge stofopbrengst als de N-opbrengst van het KAS-object en KAS_snij object zijn niet significant verschillend.

Ook de droge stof- en de N-opbrengst van één, twee of drie keer gesneden objecten zonder N-bemesting zijn niet significant verschillend.

4.7 Ammoniakemissie tijdens uitrijden

De verwachting is dat de ammoniakemissie tijdens het uitrijden van de mineralenconcentraten laag is geweest. Het weer was op de meeste momenten van uitrijden nat en somber. De verwachting is dat de ammoniakemissie onder deze omstandigheden laag is.

Er is weinig verschil in opbrengst tussen vloeibare ammoniumnitraat en de mineralenconcentraten. Als ammoniakemissie een relatief grote rol gespeeld zou hebben tijdens het uitrijden, zou een groter verschil in opbrengst tussen vloeibaar ammoniumnitraat en mineralenconcentraten verwacht worden. De N in ammoniumnitraat bestaat namelijk voor 50 % uit ammonium-N en in de mineralenconcentraten voor ongeveer 90 %. Alleen ammonium-N is gevoelig voor ammoniakemissie bij toediening.

4.8 Nadere analyse van de werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten

De N-werking van de mineralenconcentraten bleek lager te zijn dan verwacht. De verwachting was dat deze zonder ammoniakemissie ongeveer 94 % zou zijn en bij zodebemesting op grasland van 67-81% (Ehlert&Hoeksma, 2011). Omdat het overgrote deel van de N in de mineralenconcentraten in minerale (ammonium) vorm aanwezig is, was verwacht dat er enige ammoniakemissie zou optreden maar de rest van de N net zo goed zou werken als KAS. Dit was niet het geval.

Opvallend is dat de werking van mineralenconcentraten wel vergelijkbaar is met die van vloeibaar ammoniumnitraat. De stikstof in vloeibaar ammoniumnitraat is vrijwel gelijk aan die van KAS: de verdeling over van de N over verschillende vormen is in beide meststoffen 50% ammonium en 50 % nitraat. De verschillen bij de toediening van vloeibare ammoniumnitraat en KAS zijn:

1. In KAS is calciumcarbonaat als vulstof aanwezig;
2. De machine waarmee de vloeibare meststoffen worden toegediend, snijdt in de graszode;
3. KAS is in vaste vorm toegediend, vloeibaar ammoniumnitraat en mineralenconcentraten in vloeibare vorm;
4. KAS wordt met de korrels beter verspreid gegeven dan de vloeibare meststoffen. De korrels liggen dicht bij elkaar, de kouters voor de vloeibare meststoffen verspreiden de meststoffen in banden die 18 cm van elkaar verwijderd zijn.

Ad 1) Mogelijk dat de vulstof calciumcarbonaat plaatselijke pH verhoging te weeg brengt. Daardoor zou echter te verwachten zijn dat de ammoniakemissie bij het gebruik van KAS hoger zou zijn dan bij gebruik van de vloeibaar ammonium nitraat. Dit is geen oorzaak voor een lagere werking van de vloeibare ammoniumnitraat dan van KAS.

Ad 2) In de proef is aangetoond dat het snijden van de zode onder de proefomstandigheden geen (negatieve) invloed had, zowel zonder N-bemesting als met N-bemesting. Dit is ook geen oorzaak voor de lagere werking van de vloeibare meststoffen dan van KAS.

Ad 3) Het feit dat de mineralenconcentraten vloeibaar zijn zou een mogelijke oorzaak van de lagere werking kunnen zijn. In het eerder genoemde literatuur onderzoek van Ehlert&Hoeksma (2011) is aangegeven dat op grasland het toedienen van vloeibare N-meststoffen in veel gevallen een lagere opbrengst oplevert dan toedienen van korrelmeststoffen. Mogelijk hangt dit samen met punt 4.

Ad 4) Over de verdeling van N over het grasland is bekend (en tevens te beredeneren) dat dit invloed heeft op de opname van N door het gewas. Te grote afstand tussen de kouters kan voor een slechtere

N-benutting zorgen. Er is echter weinig onderzoek over te gepubliceerd. In niet gepubliceerde proeven met een puntinjecteur op een voetbalveld gaf toediening in een 10x10 cm raster de beste N-werking van een vloeibare meststof (Gert R.J. Smit 2010 persoonlijke mededeling). De werking bij 15x15 en 5x5 was significant minder. Meer over dit onderzoek staat beschreven in Den Boer et al. (2011). In het veld is in de mineralenconcentratenproef niet visueel waargenomen dat de afstand te groot was, er waren geen donkerder groene banen zichtbaar. Hierbij moet worden opgemerkt dat visuele verschillen tussen objecten alleen zichtbaar zijn bij relatief grote verschillen in opbrengst. Kleine verschillen in opbrengst zijn visueel niet waarneembaar en kunnen worden aangetoond door nauwkeurige opbrengstbepalingen.

4.9 N mineraal in de bodem

Er is geen duidelijke trend voor een hoger N-mineraal in de bodem bij hogere N-bemesting of bij een lagere werking. De N mineraal in de bodem is niet hoger bij mineralenconcentraten dan bij KAS. Verwacht zou worden dat er bij de mineralenconcentraten door een lagere opname in het gewas meer N in de bodem achter zou blijven. Waar de niet-opgenomen N wel blijft, kan niet uit de bepaling van N-mineraal afgeleid worden. Als het in organische vorm in de bodem gebonden wordt of emitteert bij toediening, wordt het niet teruggevonden in de analyse van N-mineraal in de bodem.

5 Conclusies

- De N-werkingscoëfficiënten van de concentraten zijn ten opzichte van de referentie meststof KAS lager dan verwacht. De werking van vloeibaar ammoniumnitraat is ook lager dan verwacht en vergelijkbaar met die van mineralenconcentraten.
- Snijwerking blijkt geen oorzaak te zijn voor de lage N-werking van mineralenconcentraten.
- De ammoniakemissie tijdens uitrijden was naar verwachting laag.
- Het N-mineraalgehalte in de bodem is niet hoger bij mineralenconcentraten dan bij KAS, ondanks dat de N-opname bij KAS hoger is. Waar de niet-opgenomen N blijft, kan niet uit de bepaling van N-mineraal afgeleid worden.
- Mogelijk is het toedienen van N in een vloeibare vorm een oorzaak van de lagere werking. Toedienen van vloeibare meststoffen geven op grasland vaak een lagere opbrengst dan toedienen van korrelmeststoffen. Dit zou samen kunnen hangen met de ruimtelijke verdeling van de N-bemesting.
- De N-werkingscoëfficiënten van de mineralenconcentraten op basis van de N-opbrengst en met KAS als referentiemeststof variëren tussen 46 en 69%. Gemiddeld is de N-werkingscoëfficiënt van de mineralenconcentraten ten opzichte van KAS 58%.
- De N-werkingscoëfficiënten van de mineralenconcentraten op basis van de N-opbrengst en met vloeibaar ammoniumnitraat als referentie variëren tussen 76 en 115%. Gemiddeld is de N-werkingscoëfficiënt van de mineralenconcentraten ten opzichte van vloeibaar ammoniumnitraat 96%.
- De N-werkingscoëfficiënten van vloeibaar ammoniumnitraat op basis van de N-opbrengst en met KAS als referentie is gemiddeld 60%.

Literatuur

Bruinenberg M.H. en Van Middelkoop J.C., 2004. Werking van stikstof uit runderdrijfmest. Praktijkrapport 43, Praktijkonderzoek Veehouderij Lelystad. 25 pp.

Den Boer D.J., Holshof G., Bussink D.W., Van Middelkoop J.C., 2011. Type en toedieningsvorm van N-kunstmest; Effect op gewas- en eiwitproductie en –kwaliteit. NMI rapport, in voorbereiding.

Ehlert P.A.I. & Hoeksma P., 2011. Landbouwkundige en milieukundige perspectieven van mineralenconcentraten. Deskstudie in het kader van de pilots mineralenconcentraten. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport nummer 2185.

Harville D.A., 1977. Maximum Likelihood approaches to Variance Component Estimation and to Related Problems. Journal of American statistical association, Vol 72. No. 358 320-338.

Hoeksma P., de Buissonjé F.E., Ehlert P.A.I., Horrevorts J.H., 2011. Monitoring pilots mineralenconcentraten uit dierlijke mest. Rapport 481 Wageningen UR Livestock Research

Mengel K. and Kirkby E.A., 2001. Principles of plant nutrition, 5th edition. Kluwer Academic Publishers, 805 pp.

Prins W.H., 1983. Limits to Nitrogen Fertilization on Grassland. Doctoral Thesis Wageningen.

Schils R. and Snijders P., 2004. The combined effect of fertilizer nitrogen and phosphorus on herbage yield and changes in soil nutrients of grass/clover and grass-only sward. Nutrient cycling in agroecosystems 68: pp 165-179.

Schröder J.J., 2010. Kunstmestvervangers onderzocht; Hoe bepaal je de stikstofwerking van mineralenconcentraten ? Informatieblad Mest van bedreiging naar kans. Infoblad BO-12.02. infoblad nr 04. Februari 2010.

Vellinga T.V. & André G., 1999. Sixty years of Dutch nitrogen fertiliser experiments, an overview of the effects of soil type, fertiliser input, management and developments in time. Netherlands Journal of Agricultural Science 47: 215-241.

Bijlagen**Bijlage 1 Bemestingsdata**

Locatie	Jaar	Snedes 1	Snedes 2	Snedes 3
Aver Heino	2009	23 maart	6 mei	10 juni
Aver Heino	2010	31 maart	10 mei	8 juni
Waiboerhoeve	2009	24 maart	8 mei	11 juni
Waiboerhoeve	2010	30 maart	11 mei	9 juni

Bijlage 2 Gemeten droge stofopbrengsten en stikstofopbrengsten**Tabel 32** Gemeten droge stofopbrengst (kg ds/ha) op jaarbasis (5 sneden) van objecten bemest in eerste snede

Grondsoort/Jaar/meststof	N-niveau			
	0	100	200	300
Zand				
2009				
A conc	5644	6206	5964	6969
C conc	5644	5583	6338	7242
D conc	5644	6465	6831	6906
ANvl	5644	6074	6476	6617
KAS	5828	6077	7567	7225
2010				
A conc	9217	9931	11267	10961
A conc aangezuurd				
B conc	9217	9486	10317	13707
E conc	9217	9851	10727	10541
ANvl	9217	10548	11330	10820
ACI				
KAS gesneden zode				
KAS	9137	10467	11155	11526
Klei				
2009				
A conc	7172	7721	7738	9227
C conc	7172	6934	8203	8846
D conc	7172	7256	7646	7438
Amm Nitr	7172	7624	8351	8945
KAS	7042	8490	9207	9574
2010				
A conc	8081	9550	9563	10282
A conc aangezuurd				
B conc	8081	8766	9494	10534
E conc	8081	9230	10245	9545
ANvl	8081	8610	9770	11192
ACI				
KAS gesneden zode				
KAS	8119	9912	9986	10507

Tabel 33 Gemeten droge stofopbrengst (kg ds/ha) op jaarbasis (5 sneden) van objecten bemest in eerste en tweede snede

Grondsoort/Jaar/meststof	N-niveau			
	0	100	200	300
Zand				
2009				
A conc	5539	6121	7548	8411
C conc	5539	6308	7507	8120
D conc	5539	7177	7770	8613
ANvl	5539	7095	7911	9199
KAS	5828	7882	8771	9924
2010				
A conc	8977	11364	11915	12388
A conc aangezuurd				
B conc	8977	11303	11477	12955
E conc	8977	10332	11325	12314
ANvl	8977	10332	12401	13371
ACI				
KAS gesneden zode				
KAS	9137	10772	13917	16491
Klei				
2009				
A conc	7135	8053	9209	10223
C conc	7135	8014	8736	9212
D conc	7135	7908	8761	9397
ANvl	7135	8203	9896	10748
KAS	7042	9358	10931	12639
2010				
A conc	7747	9789	10390	11517
A conc aangezuurd				
B conc	7747	9649	11047	12018
E conc	7747	9130	10392	11337
ANvl	7747	10239	11890	13408
ACI				
KAS gesneden zode				
KAS	8119	10878	11977	10580

Tabel 34 Gemeten stikstofopbrengst (kg N/ha) op jaarbasis (5 sneden) van objecten bemest in eerste snede

Grondsoort/Jaar/meststof	N-niveau			
	0	100	200	300
Zand				
2009				
A conc	110	121	117	147
C conc	110	109	127	150
D conc	110	126	138	147
Amm Nitr	110	118	127	135
KAS	113	116	168	163
2010				
A conc	203	228	262	268
A conc aangezuurd				
B conc	203	209	249	361
E conc	203	223	254	272
ANvl	203	251	276	266
ACI				
KAS gesneden zode				
KAS	202	236	263	291
Klei				
2009				
A conc	132	147	145	185
C conc	132	126	150	175
D conc	132	137	143	
ANvl	132	139	160	179
KAS	131	157	188	204
2010				
A conc	168	202	215	239
A conc aangezuurd				
B conc	168	182	214	236
E conc	168	201	220	228
ANvl	168	189	219	276
ACI				
KAS gesneden zode				
KAS	165	213	221	252

Tabel 35 Gemeten stikstofopbrengst en meeropbrengst (kg N/ha) op jaarbasis (5 sneden) van objecten bemest in eerste en tweede snede

Grondsoort/Jaar/meststof	Opbrengst N-niveau			
	0	100	200	300
Zand				
2009				
A conc	108	115	144	170
C conc	108	121	153	167
D conc	108	139	153	175
Amm Nitr	108	141	159	196
KAS	113	163	193	242
2010				
A conc	198	265	286	314
A conc aangezuurd				
B conc	198	262	281	358
E conc	198	237	265	311
ANvl	198	251	306	369
ACI				
KAS gesneden zode				
KAS	202	249	353	439
Klei				
2009				
A conc	133	156	172	204
C conc	133	146	165	174
D conc	133	148	159	
ANvl	133	150	196	222
KAS	131	183	221	298
2010				
A conc	158	213	233	275
A conc aangezuurd				
B conc	158	203	249	282
E conc	158	191	228	269
ANvl	158	231	297	353
ACI				
KAS gesneden zode				
KAS	165	252	294	341



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E info.livestockresearch@wur.nl | www.livestockresearch.wur.nl