Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 643

Stikstofwerking van mineralenconcentraten op grasland

Veldproeven 2009, 2010 en 2011

Oktober 2012

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, 2012
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, 2010 and 2011 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 643

Samenvatting
Van 2009 t/m 2011 zijn veldproeven op grasland uitgevoerd om de N-werkingscoëfficiënten van mineralenconcentraten te bepalen.

Trefwoorden
Mineralenconcentraten, grasland, N-werkingscoëfficiënt, bemesting

LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Rapport 643

Stikstofwerking van mineralenconcentraten op grasland

N fertilizer value of mineral concentrates on grassland

J.C. van Middelkoop
G. Holshof

Oktober 2012

Voorwoord

Dit rapport geeft een beschrijving van de resultaten van een veldproef op grasland met mineralenconcentraten. De proef is uitgevoerd in de jaren 2009 t/m 2011. In een eerder rapport zijn de jaren 2009 en 2010 beschreven. De berekende resultaten in dit rapport wijken af van dit eerdere rapport, omdat de analyse nu op 3 jaar (in 1 keer) is gedaan. Het aantal gebruikte concentraten was niet elk jaar het zelfde en ook het product (mineralenconcentraat) heeft een ontwikkeling doorgemaakt. Door te toegepaste analysemethode is het mogelijk geweest om toch alle proeven simultaan te analyseren.
In de zomer van 2009 en 2010 en 2011 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 speciaal 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. Met deze ontwikkelde machine is het mogelijk om een vloeibare meststof in een grote range van giften (2-40 m^3) toe te dienen.
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.

De auteurs

Summary

Introduction

Processing of animal manure is, next to feed measures, considered to be a possibility to release the pressure on the manure market in the Netherlands. One of the possibilities is separation of manure and production of mineral concentrate, produced by reversed osmosis (RO) from the thin fraction, is used as replacement for chemical fertilizer.

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. But at the same time the concentrate falls under the definition of an animal manure from the Nitrate Directive, even after processing. With that the use stays limited by the N application standards for animal manure.
The agricultural industry, the ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation and the ministry of Infrastructure and Environment have examined in 2009, 2010 and 2011 with approval of the European Committee, the agricultural, economic and environmental effect of the production and use of the mineral concentrate as replacement of chemical fertilizer. This fits the ambition to reach a responsible sale of animal manure and fits the ambition to close the nutrient cycles further. The data retrieved from the research will serve the discussion with the European Committee about a possible permanent arrangement for the use of mineral concentrate as fertilizer replacement. This means that mineral concentrate can be used on top of the N application standard for animal manure but within the N application standard for total N.

In the pilots eight producers and hundreds of user are included. Every producer manages an installation that produced mineral concentrate. The users are arable farmers and livestock farmers who use the mineral concentrate as a fertilizer. The data retrieved from the research also serve the compilation of technical dossiers of the concentrate. This technical dossier will be used for testing the mineral concentrates against the European rules for mineral fertilizers(EU-fertilizer[1]) and the national rules by testing against the protocol 'Beoordeling stoffen Meststoffenwet' (Assessment substances fertilizer law, van Dijk et al., 2009[2]).

During 2009 and 2010 within the framework of the pilots, the next studies are performed:

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

At the end of 2010 the pilots were extended with one year until the end of 2011. In 2011 additional research had been taken place in the field of the environmental effects and additional information.

The 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. The control of the research and related business in the pilot was taken by the ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation, the ministry of Infrastructure and Environment, Agricultural and Horticultural Organisation (LTO) and the Dutch Pigfarmers Union (NVV).

In this report the results of the agricultural and environmental effects of utilization of mineral concentrates and other products from these installations as a fertilizer in 2009, 2010 and 2011 on grassland are reported.

Objective of the research

[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.

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. In pig slurry the ration is about 40 % organic and 60 % mineral and in cattle slurry 50 %-50%. The ammonium N is the most important component that determines the N fertilizer value in the year of application.
After processing of the manure by separation followed by reversed osmosis the N in the mineral concentrates exists for the most part out of ammonium N. Ehlert and Hoeksma (2011) expect 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 is based on a theoretical approach. In this experiment it will be tested if the indicated N fertilizer value will be reached in the field on grassland.

Objectives

- Determination of the N fertilizer value of mineral concentrates on grassland on sand and clay soil 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: finding indications why the fertilizer value of mineral concentrates in 2009 was lower than expected.
- Additional objects in 2011: pure ammonium fertilizer: Ammonium Sulphate (AS; prilled) and mineral concentrate applied with a slurry tank with disc injector

Material and method

In the spring of 2009, 2010 and 2011 experimental fields on permanent grassland on sand, near experimental farm Aver Heino (Lemelerveld and Heino) and on clay (only in 2009 and 2010), on experimental farm Waiboerhoeve (Lelystad) were situated. To apply the concentrates a machine was developed on the experimental farm of PPO-AGV at Lelystad. This machine cuts with coulters through the sod and places the liquid fertilizer in the slit. For grassland the coulter was set on 5 cm below surface, comparable with a well-adjusted disc injector.

To determine N fertilizer values of (organic) fertilizer usually one level of N fertilization of a reference fertilizer and of the fertilizer that is to be tested, are applied. The levels are thus chosen that it can be expected that about an equal amount of N is plant available for both fertilizers, so the crop is in the same response level for both fertilizers. To determine the crop response also objects without N fertilization are included so the field production without N fertilization is determined. More N levels are preferred for accurate determination of the fertilizer value.
On the experimental fields every year three N levels were applied: 100, 200 and 300 kg N per ha. Besides the fertilized objects, four objects without N fertilization were included. They were cut zero, one, two or three times with the machine that was used to apply the liquid fertilizers (including the mineral concentrates). The treatments with cutting of the sod were included to determine if the damage to the grass would be reflected in the yield. When the damage in the crop would influence the yield negatively, the fertilizer value of liquid fertilizer would be lower compared to not cutting.
In 2009 three mineral concentrates (concentrate A, C and D), the grained fertilizer CAN (calcium ammonium nitrate) and the liquid ammonium nitrate were applied. All fertilizer were applied before cut 1, cut 1+2 and cut 1+2+3 at three N-levels. The cuts received equal amounts of N per N level so objects that were fertilized before one cut, received less N than objects that were fertilized before two or three cuts. In three fertilization moments and two experimental years we expect a variation in the field conditions under which the concentrates were applied, like weather and point in the growing season. From all objects five cuts were harvested.
In 2009 the N fertilizer values of the mineral concentrates proved to be lower than expected. To find indications what could cause this, more treatments were included in the experiment in 2010. It is determined if the low fertilizer values could be caused by the cutting of the machine, the ammonia emission and the N form (ammonium of ammonium+nitrate).
In 2010 also three mineral concentrates (one equal to 2009, two different: concentrate A, B and E), the grained fertilizer CAN and liquid ammonium nitrate were applied. Again four objects without N fertilization were included (zero, one, two and three times cutting).
Also an object with 100, 200 and 300 kg N per ha from CAN that was cut with the machine, an object with acidified A concentrate and an object with solved ammonium chloride were included in the

experiment. The objective of the object with CAN and a cut sod was to determine if cutting with the experimental application machine with an N fertilizer would give a lower (or higher) yield. The objective of acidification of the A-concentrate was to determine if ammonia emission would be a cause for a low N fertilizer value. By decreasing the pH ammonia emission is reduced. The acidification was performed with propionic acid. The object with solved ammonium chloride was to determine if the form of N (50 % ammonium 50 % nitrate versus 100 % ammonium) could be an explanation for the low fertilizer value.
In 2011 just one concentrate has been tested: concentrate B. This concentrate is applied with the special developed machine, as in the first two years, but also with a tank and (slurry) disc injector (machine used on a normal dairy farm). To apply the appropriate amount of concentrate, the concentrate had to be diluted with an equal amount of water (1:1), otherwise it was not able to apply the lowest gift of approx. 3 m^3 of concentrate with an accepted speed of the machine.
Besides the use of ammonium nitrate, the fertilizer value is also compared with a 100% ammonium fertilizer: ammonium sulphate.
At the end of the growing season the mineral N in the soil in 0-30, 30-60 and 60-90 cm below surface is analysed, in 2009 only on sand, in 2010 on sand and on clay.

The dry matter and N yields of the cuts are added up to yields for the whole year. The actual applied N fertilizations with concentrates differed from the planned fertilization as the contents of the concentrates were slightly different than the contents that were determined beforehand. Afterwards the fertilizations were calculated with the analysed contents. The actual fertilization was slightly different that the planned fertilization.
The results are statistically analysed with the method residual maximum likelihood (REMLI). REML fits a model to the data. The model is developed with the actual applied N.
With the model it is determined which factors had significant influence on the grass yield. Next dry matters yields and N yields are calculated with the model at the planned N fertilizations 0, 100, 200 and 300 kg N per ha. The yields are used to calculate N fertilizer values. The yields with 0 N fertilization with and without cutting are compared. When those two differed significantly, two yields would be used at 0 N fertilization: one for liquid fertilizers and one for CAN. If there would be no significant difference the same yield at 0 N will be used for all fertilizers.

Results
The statistical analysis of the results with REML proves that the dry matter yields and the N yields with the reference fertilizer CAN are significantly higher than the yields with the liquid fertilizers including the mineral concentrates. This is true for both years on both locations. The dry matter and N yield on the cut objects, with and without N fertilization, are not significantly different. The cutting of the application machine causes no lower yield. In the calculation of the N fertilizer value for all fertilizers the same yield at 0 kg N is used.
The N fertilizer values are calculated based on dry matter yield and on N yield, mean over 100, 200 and 300 kg N per ha fertilization. The N fertilizer value based on N yield is more correct because the protein content and therefore the N content is important for the quality of grass for livestock feeding.

To calculate the N fertilizer value the Apparent Nitrogen Recovery (ANR) of all fertilizers is calculated. This is calculated by:

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

The N fertilizer value by:

ANR of tested fertilizer / ANR of reference fertilizer = N fertilizer value

The N fertilizer values of concentrates with CAN as reference are lower than expected. The N fertilizer value with CAN as reference is, mean over all three years, both locations and all mineral concentrates 65 %. This varied between years and concentrates from 47 % to 91 %. There was no difference between locations.

The mean calculated N fertilizer values with reference of liquid ammonium nitrate is 93 %. It varied between years and type of mineral concentrate from 74 % to 113 %. The concentrates have virtually the same fertilizer value as the liquid ammonium nitrate.

Discussion

The dosage of mineral concentrates with the machine was accurate: the technique is adopted from spraying machines and was accurately adjusted to the aimed flow rate. The tractor is regularly calibrated for speed. The N content of the mineral concentrates is accurately determined. The ultimate N fertilization is assumed to be accurately calculated.

Acidification with propionic acid has decreased the pH too little to influence the ammonium emission (from pH 8 to pH 7). Acidification with propionic acid has probably decreased the grassland yield by toxicity of the propionic acid for plants. Based on this part of the experiment it is impossible to conclude whether or not the ammonia emission has caused the low fertilizer value of mineral concentrates.

Cutting the sod appears to have had no (negative) influence on the yield, both with and without N fertilization. Cutting is no cause for the low N fertilizer value of mineral concentrates.

The yield with (solved) ammonium chloride appears to be lower than with mineral concentrates. This is probably caused by an excess of chloride, applied with this fertilizer. Based on the experiment it is impossible to conclude that N applied as ammonium in the mineral concentrates is a cause for the low N fertilizer value of mineral concentrates.

The mineral N content in the soil is not higher when mineral concentrates are applied than when CAN is applied. This was unexpected because an equal amount of N is applied on both objects but on the objects with mineral concentrates, less is taken up by the plants. Is not clear where the N that is not taken up by plants, ends up.

The N in mineral concentrates have an equal fertilizer value as N in ammonium nitrate. The N in these liquid fertilizer appears to have a lower efficiency than the N from CAN, except for the year 2011. In 2011 the fertilizer value (FV) of the liquid ammonium nitrate and the diluted concentrate was higher than the FV of CAN. Spring of 2011 was extremely dry, so there was possible a positive effect of the extra water applied with the liquid and diluted fertilizers.
The N in 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 in grains over the grass and liquid ammonium nitrate as a liquid in slits with 18 cm in between.
The difference in yield and as a consequence the low fertilizer value seems to be caused by the fact that concentrates are liquid and are divided spatially differently than grained fertilizers.

Application of liquid fertilizers often result in a lower yield on grassland than application of grained fertilizers. Possibly this is linked to the spatial division of the N fertilization. About the division of N on grassland it is known (and reasonable) that it has influence. Too wide distance between the coulters can cause a low utilization. In the field this was not visually observed but small differences can be observed by accurate yield assessment.

Because the effect of the use of the concentrates in the cut after application was less than CAN, there was a possibility of an residual effect of the concentrates in the next cut(s). This has been tested. The residual fertilizer value of the used concentrates was not significant different from CAN. There was even less residual effect, but this was not significant.
This effect is supported when the calculated fertilizer value is based on the annual yield.

Conclusion

The mean calculated N fertilizer value of the mineral concentrates with CAN as reference fertilizer over both years, both locations and all types of mineral concentrates is 65 %. It varied between years and types of mineral concentrate from 56% to 105%. There was no difference in N fertilizer value based on N yield between locations.

The mean calculated N fertilizer value of the mineral concentrates with liquid ammonium nitrate as reference fertilizer over both years, both locations and all types of mineral concentrates is 92 %. It varied between years and types of mineral concentrate from 74 % to 113 %. The mineral concentrates had about the same fertilizer value as liquid ammonium nitrate.

The mean calculated N fertilizer value of liquid ammonium nitrate with CAN as reference fertilizer based on N yield is 73 % (variation: 63-102%). Based on DM yield this is 83%.
There is no evidence that the form of N (ammonium versus nitrate, liquid versus solid) is responsible for the difference in fertilizer value. In 2011 all used fertilizers (liquid AN, AS and mineral concentrate) gave a better fertilizer value than CAN, whereas in the previous years 2009 and 2010 the reverse effect was the case.
Within this experiment is not yet clear where the inactive (residual) N remained. The Nmin levels in the soil in the autumn showed no differences at the used fertilizers, while actually a higher soil N mineral would have been expected at the concentrate plots. However, there are no measurements carried out into NH 3 volatilization.
The use of mineral concentrate at least do not give an increased risk of nitrate leaching in winter.

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, 2010 en 2011, 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/laten onderzoeken. 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-meststof[3]) en de nationale regelgeving door toetsing aan het Protocol 'Beoordeling stoffen Meststoffenwet' (van Dijk et al., 2009[4]).

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 één jaar verlengd tot eind 2011. In 2011 is 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 op grasland over de jaren 2009 t/m 2011. De resultaten vervangen daarmee de resultaten uit het rapport*, dat alleen over de periode 2009 en 2010 gaat.

Doel van het onderzoek

[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.

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 ammoniak vervluchtiging 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.
- Bijkomend doel in 2011: verder zoeken naar de oorzaak van de lagere N werking van het MC, door opnieuw te vergelijken met een zuivere NH_4 meststof.

Materiaal en methode
In voorjaar 2009, 2010 en 2011 zijn er proefvelden op blijvend grasland op zand, nabij proefcentrum Aver Heino (Lemelerveld en Heino) en op klei (alleen 2009 en 2010), 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 zodebemester.
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 geoogst.

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 van de zelfde leverancier 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.
In 2011 is alleen gekeken naar de werking van mineralenconcentraat B. Dit concentraat is echter zowel met de speciale proefveldmachine als met een praktijk zodebemester toegediend. Voor deze laatste toediening moest het concentraat wel worden verdund (1:1) met water, omdat anders de lage dosering niet kon worden gegeven. Naast het mineralenconcentraat is in 2011 ook een vergelijking gemaakt met een 100% NH_4 meststof, nl zwavelzure ammoniak (ZA). Deze stof is zowel in korrelvorm als in vloeibare vorm toegediend.
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 en 2011 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. Ook is gekeken naar de nawerking van de concentraten in relatie tot de nawerking van KAS en ammoniumnitraat in de latere (onbemeste) sneden.

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:

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

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 en op basis van N opbrengst lager dan verwacht. De berekende N-werkingscoëfficiënt voor de concentraten ten opzichte van KAS is gemiddeld over de 3 jaren, beide locaties en alle mineralenconcentraten 65 %. Het varieerde tussen jaren en mineralenconcentraten van 47% tot 91 %. Tussen de locaties was geen verschil.

De berekende N-werkingscoëfficiënt ten opzichte van vloeibaar ammoniumnitraat is gemiddeld 93 %. Dit varieerde tussen jaren en mineralenconcentraten van 74 % tot 113 %. 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.
Uitzondering is het droge (voor)jaar 2011. In dit jaar werken de vloeibare ammoniumnitraat en het B concentraat toegevoegd met de zodebemester (echter 1:1 verdund met water) beter dan KAS. Mogelijk heeft het vochteffect van de producten in combinatie met de toevoeging bij direct bij de wortel een positief effect gehad.
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.

Het verschil in N vorm (ammonium versus nitraat) blijkt niet direct de verklaring te geven voor de mindere werking van het concentraat t.o.v. KAS. In 2011 is een zuivere ammoniummeststof (ZA) ter vergelijking opgenomen en deze gaf een hogere werking dan KAS, maar ook de concentraten werkten dat jaar beter dan KAS.

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.

Omdat de concentraten direct na toediening niet dezelfde werking lieten zien als KAS, werkte de N uit de concentraten mogelijk na in latere onbemeste sneden. Dit is getoetst. De nawerking van de concentraten verschilde niet significant van de nawerking van KAS, maar was zelfs (niet significant) iets lager. Dit komt ook tot uitdrukking in de berekende werking over de jaaropbrengst.

Conclusie
De berekende N-werkingscoëfficiënt van de concentraten ten opzichte van KAS op basis van N opbrengst is gemiddeld over de 3 proefjaren, beide locaties en alle mineralenconcentraten 65 %. Het varieerde tussen jaren en mineralenconcentraten van 56% tot 105%. 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 92 %. Dit varieerde tussen jaren en mineralenconcentraten van 74 % tot 113 %. 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 73 % (spreiding 63-102%). Op basis van droge stof is dit 83%.

De vorm van de N (ammonium versus nitraat, vloeibaar versus vast) geeft geen uitsluitsel over de mindere werking. In 2011 werkten alle gebruikte meststoffen (AN vloeibaar, ZA en het mineralenconcentraat) beter dan KAS, terwijl dit in de voorgaande jaren 2009 en 2010 het omgekeerde het geval was.

Binnen deze proef is nog niet duidelijk waar de niet werkzame N is gebleven. De Nmin gehalten in de bodem in het najaar toonden geen verschillen bij de gebruikte meststoffen, terwijl eigenlijk een hogere N min verwacht zou werden bij de mineralenconcentraten. Er zijn echter geen metingen verricht naar NH_3 vervluchtiging.
Het gebruik van mineralenconcentraat leidt in elk geval (gezien de gevonden waarden in het najaar) niet tot een verhoogd risico op nitraatuitspoeling in de winter.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1 Inleiding 1
1.1 Inleiding 1
1.2 Doel van het onderzoek 2
2 Materiaal en methode 3
2.1 Mineralenconcentraten 3
2.2 Locaties 3
2.3 Bemesting 3
2.4 Proefveldmachine en zodebemester voor toediening vloeibare meststoffen 5
2.5 Oogst 5
2.6 N-mineraal 7
2.7 Statistische analyse 7
3 Resultaten 10
3.1 Gehalten en giften van meststoffen 10
3.2 Proefveldomstandigheden 12
3.2.1 Bodemanalyse van de proefvelden 12
3.2.2 Weer tijdens toedienen en tijdens het groeiseizoen 13
3.3 Bemesting 14
3.4 Droge stofopbrengsten 17
3.5 N-opbrengsten 19
3.6 N-werkingscoëfficiënten op basis van droge stofopbrengsten 22
3.7 N-werkingscoëfficiënten op basis van N-opbrengsten 28
3.8 Nawerking 33
3.9 N-mineraal in de bodem 36
4 Discussie 38
4.1 Dosering van N 38
4.2 N-werkingscoëfficiënt op basis van droge stofopbrengst versus N-opbrengst 38
4.3 Spreiding in N-werkingscoëfficiënt ten opzichte van onbewerkte drijfmest. 39
4.4 Jaareffect en droogte 39
4.5 Aanzuren 40
4.6 Ammoniumchloride 40
4.7 Snijwerking van de machine 40
4.8 Ammoniakemissie tijdens uitrijden 40
4.9 Nadere analyse van de werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten 41
4.10 N mineraal in de bodem 42
5 Conclusies 43

1 Inleiding

1.1 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 2010 en 2011, 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-meststof[5]) en de nationale regelgeving door toetsing aan het Protocol ‘Beoordeling stoffen Meststoffenwet’ (van Dijk et al., 2009 [6]).

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 één jaar verlengd tot eind 2011. In 2011 is 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 t/m 2011 op grasland. Dit rapport vervangt daarmee tevens het vorige rapport over de werking van mineralenconcentraten (verslag over 2009 en 2010, rapport nr. 475).

[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.

1.2 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 ammoniak vervluchtiging 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 en 2011: aanwijzingen vinden waarom de werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten in 2009 lager was dan verwacht, waarbij 2011 zich alleen op zandgrond heeft gericht. De hypothese was op 2 zaken gericht: emissie en werking van het ammoiniakale deel t.o.v. het nitraatdeel.

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 3 installaties gebruikt en 2010 van 2 andere installaties dan in 2009 en één concentraat van dezelfde installatie als in 2009. In 2011 is concentraat van één installatie gebruikt (de ook in 2010 in de proef was meegenomen).
In voorjaar 2009 en 2010 waren er proefvelden op blijvend grasland op zand, nabij proefcentrum Aver Heino (Lemelerveld en Heino) en op klei, op proefcentrum Waiboerhoeve (Lelystad). In 2011 heeft de proef alleen nog op zand (nabij Heino) gelegen, omdat de vragen zich alleen nog op zand richtten.

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 en andere meststoffen in de proef opgenomen.
Omdat de gevonden werking in 2010 op zand nog steeds lager was dan verwacht, zijn in 2011 extra objecten aangelegd: toediening met een praktijk-zodebemester en een 100% ammonium meststof (ZA).
In het najaar (november) van alle 3 proefjaren zijn bodemmonsters genomen op de zandgrond en in 2010 op 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. In 2011 is alleen concentraat B opgenomen in de proef op zandgrond. De mineralenconcentraten voor het hele seizoen zijn in alle jaren in het voorjaar aangevoerd en in kuub containers 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 en 2011.

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
B	2011	10.7	12.0	0.3	-

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. In 2011 is alleen op zandgrond een perceel gekozen, net als in 2010 op het bedrijf van Wijnhout, maar wel op een ander 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 gewichtbasis).
De N uit mineralenconcentraten bestaat voor 88-97% uit NH_4-N (**Tabel 2**), KAS en ANvl bevatten 50% NO_3-N en 50% NH_4-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 ACl). Opgeloste ACl bevat 100% NH_4-N. De ACl 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 omrekening 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. Omdat het Chloorgehalte in ACl mogelijk een negatief effect heeft gehad op de grasgroei is in 2011 gekozen om zwavelzure ammoniak (ZA in korrelvorm) als 100% ammoniakmeststof op te nemen.
Om na te gaan in hoeverre ammoniakvervluchtiging een rol speelde bij het toedienen is in 2010 van het A concentraat, naast de gewone partij, ook een partij aangezuurd met propionzuur. In het laboratorium is vastgesteld dat toevoegen van 1500 ul 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 ($1m^3$) 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.
Als laatste is gekeken of de gebruikte proefveldmachine mogelijk een afwijkende werking zou geven ten opzichte van gangbare praktijkmachines. Om dit te toetsen is in 2011 eveneens een praktijk zodebemester ingezet om het MC toe te doenen.

Kort weergegeven waren de volgende objecten aangelegd:
- 2009: KAS, ANvl, concentraat A, C en D
- 2010: KAS, ANv, concentraat A, B, E, AmmoniumChloride en A aangezuurd
- 2011: KAS, ANvl, concentraat B (toegediend met zodebemester en proefveldmachine), ZA.

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 en ZA zijn gestrooid met een kunstmeststrooier voor proefvelden. De mineralenconcentraten, de ANvl en de opgeloste ACl zijn toegediend met een speciale voor dit doel ontwikkelde machine.
In 2011 is het mineralenconcentraat eveneens toegediend met en praktijkzodebemester.
Vier objecten hebben geen N-bemesting gekregen (blanco's), 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. In 2011 zijn nog 3 extra blanco objecten toegevoegd, die respectievelijk 1, 2 en 3 keer zijn gesneden met de praktijk zodebemester (zonder mest toe te dienen).
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 3 bemestingstijdstippen is bemest op de 3 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 bereden, 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 ca. 7,5 m. De lengte is na de oogst nagemeten om de gemaaide oppervlakte te bepalen.

2.4 Proefveldmachine en zodebemester voor toediening vloeibare meststoffen

De (proefveld)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 Lente, 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 ca. 20 cm en de dikte was ca. 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 Figuur 1, de kouters in detail en een sleuf in gras in Figuur 2.
In 2011 is ook een praktijkzodemester gebruikt. Dit is de zodebemstervan het proefbedrijf Aver Heino, met een werkbreedte van 3 meter. De machine is geijkt, zodat een ingestelde hoeveelheid ook wordt afgegeven. De afgegeven hoeveelheid wordt mede bepaald door de rijsnelheid van de trekker. Om de laagste dosering toe te kunnen dienen, had de trekker met een erg hoge (te hoge) snelheid over het proefveld moeten racen, waardoor een nauwkeurige toediening niet mogelijk bleek. Om de snelheid tot aanvaardbare hoogte terug te brengen, is gekozen voor een verdunning (1 op 1) met water, waardoor de benodigde snelheid met de helft kon worden teruggebracht tot maximaal 12 km/u.

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 een medewerker van 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.



Figuur 1 Proefveldmachine voor de toediening van vloeibare meststoffen.



Figuur 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, 10 steken per veldje. In 2009 en 2011 is dit alleen op de zandgrond gebeurd, in 2010 zowel op de zandgrond als op de kleigrond. De bemonstering heeft binnen 14 dagen na de oogst van de laatste snede plaatsgevonden.
In 2009 en 2010 zijn de veldjes die drie sneden zijn bemest (met KAS, ANvl, ACl en de concentraten) bij alle N-niveaus bemonsterd. Tevens zijn de beide blanco 's (wel en niet gesneden) bemonsterd. In 2010 zijn tevens de 3 N-niveaus en veldjes met 3 bemeste sneden bemonsterd van het "gesneden" KAS-object en het ACl-object. In 2011 zijn de objecten MC-proefveldmachine, KAS, ANvl en de blanco en blanco_snij (die 3 keer bemest/behandeld zijn) bemonsterd bij alle 3 N niveaus . 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 * 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 curvi lineair (“kromlijnig”, 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:

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

en

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

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 curvi lineair 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.

Ook de nawerking is geanalyseerd. Om iets over nawerking te kunnen zeggen, is gekeken naar de opbrengst van de sneden die niet meer bemest zijn, maar in de voorgaande snede(n) wel bemest zijn geweest. Voor deze analyse zijn de objecten aangelegd die 1x (voor de eerste snede) , 2x (voor de eerste en tweede snede) en 3x (voor de eerste, tweede en derde snede) bemest zijn. De toets is

uitgevoerd vanaf het moment dat er geen bemesting meer is uitgevoerd, maar wel op de totale opbrengst tot dat moment:

Aantal sneden bemest	Analyse vanaf snede	Opbrengst t/m snede (waar analyse op is uitgevoerd)
1	2	2, 3, 4 en 5
2	3	3, 4 en 5
3	4	4 en 5

De analyse is weer uitgevoerd met REML op de totale droge stof opbrengst t/m de snede van analyse. Wanner er van een object meer nawerking is, ligt de opbrengst in de onbemeste snede(n) significant hoger dan bij de andere objecten. Omdat de concentraten in de snede direct na toediening een lagere werking lieten zien, is de hypothese, dat er nawerking zal zijn, die hoger is dan bij gebruik van KAS. De opbrengsten in de onbemeste sneden moeten dan richting KAS opbrengsten gaan, gedurende de periode snede 3 – 5 (immers in de eerste bemeste snede(n) was de opbrengst bij KAS hoger, er wordt op cumulatieve opbrengst getoetst, dus bij een hogere nawerking van de concentraten, zou de individuele opbrengst van de latere sneden hoger moeten zijn en de totaalopbrengst richting die van de KAS objecten moeten gaan.

3 Resultaten

3.1 Gehalten en giften van meststoffen

De N-gehalten van de verschillende mineralenconcentraten varieerden in 2009 van 5,1 g N totaal per kg voor concentraat D tot 8,9 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 ruim 7 g N per kg voor concentraat B. In 2010 was er meer variatie per mineralenconcentraat tussen de gebruikte kuub containers. Vooral concentraat B vertoonde in 2010 grote verschillen tussen de partijen die voor snede 1 en die voor snede 2 zijn gebruikt. Voor snede 3 is dezelfde kuub container als snede 2 gebruikt. Daarvoor is geen aparte chemische analyse van uitgevoerd. De kuub containers 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).
In 2011 is maar 1 concentraat gebruikt. Het N gehalte verschilde per toedieningstijdstip nauwelijks. Ook de 1:1 verdunning t.b.v. de zodebemester is volgens plan verlopen.

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	1	6,52				
	Klei	C	1	8,41				
	Klei	D	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	
	Zand	A	1	6,63	6,20	0,13	94,9	8,2
2010	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 aangezuurd	1	6,57	6,00	0,57	91,3	7,0
	Zand	A aangezuurd	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 aangezuurd	1	6,49	6,31	0,18	97,2	6,7

	Klei	A aangezuurd	2	6,61	6,02	0,59	91,1	6,7
	Zand	B proefveldmach.	1	9,37	8,99	0,38	95,9	8,1
2011	Zand	B zodebemester	1	4,71	4,55	0,16	96,6	
	Zand	B proefveldmach.	2	9,34	8,95	0,34	95,8	8,1
	Zand	B zodebemester	2					
	Zand	B proefveldmach.	3	9,25	8,39	0,42	90,7	
	Zand	B zodebemester	3	4,26	4,12	0,14	96,7	

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 2,7 en 25,8 m^3 per ha. Deze range kan niet behaald worden met een normale praktijkmachine. Met de ontwikkelde proefveldmachine kon dat wel.
In 2011 is de praktijk – zodebemester in de proef opgenomen, om te toetsen of de toedieningsmethode (machine effect) van invloed is op de werking. Het probleem van de lage dosering (waarvoor de speciale proefveldmachine is ontwikkeld) bleef natuurlijk bestaan. Dit is de reden waarom het MC 1:1 is verdund bij gebruik van de zodebemester (B_zb). De lage dosering van minder dan 3 m^3 kon onmogelijk met deze praktijkmachine worden toegediend. De verdunde hoeveelheid van 5,6 m^3 kon zelfs alleen worden toegediend bij een relatief hoge rijsnelheid van 12 km/u.
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, m^3/ha.

Jaar	Concentraat	Snede	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
2011	B proefveldmach	1	3,58	7,23	10,87
	B proefveldmach	2 en 3	2,71	5,44	8,16
	B zb	1	7,5	15,1	22,0
	B zb	2 en 3	5,6	11,0	16,5

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 ca. 2,6 kg P per ha terwijl het ca. 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 ca. 383 kg K per ha zou zijn en was uiteindelijk ca. 290 kg K per ha (= 350 kg

K_2O/ha). Op de zand-locatie 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.
In 2011 zijn de kaligiften aangevuld tot de gift met het B concentraat. Dit was maximaal 534 kg K_2O per ha (jaargift).

3.2 Proefveldomstandigheden

3.2.1 Bodemanalyse van de proefvelden

In zowel 2009, 2010 als 2011 is voor de eerste bemesting een algemeen bodemmonster van het gehele proefveld (minimaal 40 steken, laag 0-10 cm) genomen en geanalyseerd. De uitslag van de analyse is weergegeven in Tabel **6** 4 tot en met Tabel 6. Omdat klei in 2010 hetzelfde perceel is gebruikt als in 2009, is in 2010 geen nieuw grondmonster genomen. De fosfaat- en kalitoestanden 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 zal zijn.

Tabel 4 Analyseresultaten bodemonderzoek 2009, zand (Lemelerveld)

Bepaling	Analyse resultaat	Streeftraject	Beoordeling
Organische stof (%)	5,3		
Fosfaat (P-AL mg P_2O_5/100 gr droge grond)	45	27 - 55	Ruim voldoende
Kali (K-getal mg K_2O per 100 gr droge grond)	32	15 – 23	Hoog
Magnesium (MgO mg/ kg droge grond)	198	137- 219	Voldoende
Natrium (Na_2O 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_2O_5/100 gr droge grond)	38	27 - 55	Ruim voldoende
Kali (K-getal mg K_2O per 100 gr droge grond)	37	15 – 23	Zeer hoog
Magnesium (MgO mg/ kg droge grond)	358		
Natrium (Na_2O 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/ Wijnhout)

Bepaling	Analyse resultaat	Streeftraject	Beoordeling
Lutum (%)	7,8		
Organische stof (%)	5,2		
Fosfaat (P-AL mg P_2O_5/100 gr droge grond)	58	27 - 55	Hoog
Kali (K-getal mg K_2O per 100 gr droge grond)	29	15 – 23	Ruim voldoende
Magnesium (MgO mg/ kg droge grond)	237	137- 219	Hoog
Natrium (Na_2O 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		

Tabel 7 Analyseresultaten bodemonderzoek 2011, zand (Heino/ Wijnhout)

Bepaling	Analyse resultaat	Streeftraject	Beoordeling
Lutum (%)	3,9		
Organische stof (%)	6,2		
Fosfaat (P-AL mg P_2O_5/100 gr droge grond)	59	27 - 55	Hoog
Kali (K-getal mg K_2O per 100 gr droge grond)	16	15 – 23	Ruim voldoende
Magnesium (MgO mg/ kg droge grond)	259	137- 219	Hoog
Natrium (Na_2O mg/ 100 gram droge grond)	<1	5-8	Laag
Koper (Cu mg/ kg droge grond)	3,8	5.0 – 9.7	Laag
Kobalt (Co mg/ kg droge grond)	0,11	➢ 0.29	Laag
pH – KCl	5,4	4.8 – 5.5	Vrij laag
N totaal (mg/ 100 gram droge grond)	224		
NLV (kg N/ha/jaar)	140		
C/N ratio	13,9		

De proefvelden op de zandpercelen bij Wijnhout waren in 2010 en 2011 ongeveer van dezelfde samenstelling, ondanks dat ze op verschillende plaatsen op het bedrijf lagen (tabel 6 en 7). Verwacht is, dat de pH op zand laag genoeg is, om NH_3 emissies binnen de perken te houden.
Verwacht is ook dat lagere bodemtoestand voor Na, Cu en Co geen negatief effect zal hebben gehad op de grasgroei. Deze elementen zijn van meer belang bij de veevoeding.

3.2.2 Weer tijdens toedienen en tijdens het groeiseizoen

Het weer wordt voor alle drie proefjaren afzonderlijk kort beschreven, hoewel 2009 en 2010 veel overeenkomsten kennen in met name het voorjaar.

Weer in 2009
Januari en februari waren aan de koude kant en ook de eerste decade van maart was koud. Na ongeveer 10 maart werd snel warmer. Het voorjaar (maart-april en mei) was zeer zonnig en droog. In beide jaren waren maart en april warmer dan gemiddeld. Mei was in 2009 ook warmer dan gemiddeld, waardoor het gehele voorjaar als warm kan worden beschouwd (gemiddeld 10,8 ^oC ten opzichte van 8,9 ^oC normaal). Het temperatuurverloop was in maart en april vrij constant, dat wil zeggen geen grote schommelingen, maar ook geen echt heel warme dagen.
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 ^oC 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 ^{o}C.
De zomer (juni-juli-augustus) van 2009 was warm (met een zeer regelmatig temperatuurverloop), zonnig en droog. De derde snede is in 2009 op 8 en 9 juni bemest. In 2009 was het tijdens het bemesten bewolkt en regenachtig en rond de 18^{o}C.

Weer in 2010
Het weerverloop in de eerste maanden van 2010 vertoonde veel overeenkomsten met 2009 (zie hier boven). 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 in 2010 was in maart en april ook vrij constant, dat wil zeggen geen grote schommelingen, maar ook geen echt heel warme dagen, maar mei was beduidend kouder, hetgeen een negatief effect heeft gehad op de groei van met name de tweede snede.
In 2010 is de eerste mest op 30 (14 ^{o}C) en 31 maart (10 ^{o}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 ^{o}C).
De zomer van 2010 was ook warm (met name juni en de eerste decade van juli) en zonnig, maar veel natter dan 2009. De derde snede in 2010 is op 10 en 11 juni bemest. Net als in 2009 was het tijdens het bemesten bewolkt en regenachtig en rond de 18^{o}C.

Weer in 2011
De wintermaanden januari en februari in 2011 kenden nauwelijks vorst. Het gehele voorjaar 2011 (maart t/m mei) was erg droog, zonnig en warm.
In 2011 is de eerste bemesting op 1 april toegediend. Het was die dag bewolkt en de luchtvochtigheid was hoog. Er was weinig wind. De bemesting voor de tweede snede is 4 mei gegeven. Na een koude nacht (nachtvorst) ging de temperatuur langzaam omhoog tot 15^{0}C. Het was zonnig en er was weinig wind (2-3 bft). De luchtvochtigheid was 71%.
In tegenstelling tot beide voorgaande jaren was de zomer van 2011 koel, somber en erg nat. Er waren geen aangesloten warme perioden. Tijdens de zomer werd het neerslagtekort uit het voorjaar opgeheven. De eerste twee sneden hebben door de droogte niet de optimale groei gehaald, tijdens de groei van de derde snede is het vochttekort aangevuld.
In 2011 was tijdens het uitrijden van de mest (10 juni) wisselend bewolkt en soms een spatje regen. De temperatuur was ongeveer 17 graden.

Op bijna alle toedieningsdagen was het bewolkt en vaak regenachtig weer. We verwachten daarom dat er nauwelijks ammoniakemissie heeft plaatsgevonden tijdens het toedienen van de mineralenconcentraten.
Ten aanzien van de grasgroei, was 2010 een groeizamer jaar dan 2009, met name omdat in 2010 meer neerslag is gevallen gedurende het groeiseizoen. De eerste twee sneden in 2011 hebben hinder ondervonden van de droogte. Later in het seizoen was het weer prima voor een optimale grasgroei; niet te warm en voldoende vocht.

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 analyses uit Tabel 1. Voor de berekening van de uiteindelijk werkelijk gegeven bemesting is uitgegaan van de gehaltes 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 en het B concentraat in 2011. 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 (ANvl) 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.

Bij nadere beschouwing bleek op de KAS objecten in sommige sneden (2^e en 3^e) en jaren (2010 en 2011) meer te zijn gestrooid, dan in het proefplan was opgenomen. In de tabellen en in de analyse zijn de uiteindelijk werkelijk gegeven giften opgenomen. Deze aanpassing is niet bezwaarlijk, de respons lijnen worden nu in een ander (soms groter) bereik gefit.

Tabel 8 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	KAS	1	40	30	30	100
Zand	2009	KAS	2	80	60	60	200
Zand	2009	KAS	3	120	90	90	300
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	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	2010	KAS*	1	40	40	40	120
Zand	2010	KAS*	2	80	80	80	240
Zand	2010	KAS*	3	120	120	120	360
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	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 aangezuurd	1	42	31	31	104
Zand	2010	A aangezuurd	2	83	62	62	208
Zand	2010	A aangezuurd	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	ACl	1	40	30	30	100
Zand	2010	ACl	2	80	60	60	200

Locatie	Oogstjaar	meststof	N-niveau	Ngiftsn1	Ngiftsn2	Ngiftsn3	Ngift totaal
Zand	2010	ACl	3	120	90	90	300
Zand	2010	KAS_snij*	1	40	40	40	120
Zand	2010	KAS_snij*	2	80	80	80	240
Zand	2010	KAS_snij*	3	120	120	120	360
Zand	2011	KAS	1	40	40	40	120
Zand	2011	KAS	2	80	80	80	240
Zand	2011	KAS	3	120	120	120	360
Zand	2011	ANvl	1	29	26	24	79
Zand	2011	ANvl	2	59	52	47	158
Zand	2011	ANvl	3	88	79	71	237
Zand	2011	B proefveldmach	1	34	25	25	84
Zand	2011	B proefveldmach	2	68	51	50	169
Zand	2011	B proefveldmach	3	102	76	75	254
Zand	2011	B zodebemester	1	35	26	24	86
Zand	2011	B zodebemester	2	71	52	47	170
Zand	2011	B zodebemester	3	104	78	70	252
Zand	2011	ZA korrel	1	60	30	30	120
Zand	2011	ZA korrel	2	80	40	40	160
Zand	2011	ZA korrel	3	120	90	90	300

* door een foute correctie voor dichtheid van de meststof is in 2010 meer vloeibaar ammoniumnitraat (ANvl) gegeven dan gepland en voor de KAS geldt dat voor snede 2 en 3 het verkeerde strooischema was gebruikt.

Tabel 9 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	KAS	1	40	30	30	100
Klei	2009	KAS	2	80	60	60	200
Klei	2009	KAS	3	120	90	90	300
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	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	2010	KAS*	1	40	40	40	120
Klei	2010	KAS*	2	80	80	80	240
Klei	2010	KAS*	3	120	120	120	360
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	A conc	1	42	32	32	105

Locatie	Oogstjaar	Meststof	N-niveau	Ngiftsn1	Ngiftsn2	Ngiftsn3	Ngift totaal
Klei	2010	A conc	2	83	64	64	210
Klei	2010	A conc	3	125	95	95	316
Klei	2010	A aangezuurd	1	41	31	31	104
Klei	2010	A aangezuurd	2	82	63	63	208
Klei	2010	A aangezuurd	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	ACl	1	40	30	30	100
Klei	2010	ACl	2	80	60	60	200
Klei	2010	ACl	3	120	90	90	300
Klei	2010	KAS_snij*	1	40	40	40	120
Klei	2010	KAS_snij*	2	80	80	80	240
Klei	2010	KAS_snij*	3	120	120	120	360

* door een foute correctie voor dichtheid van de meststof is in 2010 meer vloeibaar ammoniumnitraat (ANvl) gegeven dan gepland en voor de KAS geldt dat voor snede 2 en 3 het verkeerde strooischema was gebruikt.

3.4 Droge stofopbrengsten

In **Tabel 10** zijn de droge stofopbrengsten van de objecten weergegeven die voor drie sneden bemest zijn, in de bijlagen (**Tabel 30** en **Tabel 31**) 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 10 Gemeten droge stofopbrengst en meeropbrengst (kg ds/ha) op jaarbasis (5 sneden) van objecten bemest in eerste, tweede en derde snede

	Opbrengst				Meeropbrengst t.o.v. 0 N		
	N-niveau						
grondsoort/Jaar/meststof	0	100	200	300	100	200	300
Zand							
2009							
KAS	5828	8399	10052	11247	2571	4224	5419
ANvl	5776	7592	9134	10885	1816	3358	5109
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
2010							
KAS	8057	11660	13854	15120	3603	5797	7063
ANvl*	8574	11317		13315	2743		4741
A conc	8574	10378	12189	13234	1804	3615	4660
A conc aangezuurd	8574	9671	11100	12789	1097	2526	4215
B conc	8574	11524	12684	13841	2950	4110	5267
E conc	8574	11320	10994	12465	2746	2420	3891
ACl	8574	9854	11305	12772	1280	2731	4198
KAS gesneden zode	8574	10664	14581	15360	2090	6007	6786
2011							
KAS	7167	10831	13138	12316	3664	5971	5149
ANvl	6207	9456	11271	13725	3249	5064	7518

B proefveldmach.	6207	9238	10427	12024	3031	4220	5817
B zodebemester	7101	10554	11468	12408	3453	4367	5307
ZA korrel	7167	11364	10980	13301	4197	3813	6134
Klei							
2009							
KAS	8119	11720	14970	16946	3601	6851	8827
ANvl*	7814	11242		12880	3428		5066
A conc	7019	7922	9739	12375	903	2720	5356
C conc	7019	8038	9538	10959	1019	2519	3940
D conc	7019	7973	10621		954	3602	
ANvl	7019	9231	11483	12825	2212	4464	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
ACl	7814	10590	11812	13067	2776	3998	5253
KAS gesneden zode	7814	11494	14160	17040	3680	6346	9226

* 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 11**).

Tabel 11 Statistische analyse voor droge stofopbrengsten

Factor	Probability (waarschijnlijkheid)*
Constante	<0,001
Locatie	<0,001
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 de Ngift.aantal 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 1 keer zijn gegeven of verdeeld over 3 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 11** 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 en 2011 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 12**. 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, 2010 en 2011 voor, rekening houdend met de N-

bemesting. De overige factoren zijn voor deze meststoffen gelijk. De effecten in **Tabel 12** worden alleen gepresenteerd om een idee te krijgen van de verschillen tussen mestsoorten.

Tabel 12 Significante verschillen in droge stofopbrengst tussen mestsoorten[1].

	Proefjaar		
Meststof	2009	2010	2011
KAS	0 [a]	0 [a]	0 [a]
AN vl	-1256 [ab]	-846 [ab]	-610 [a]
Conc A 2009	-2132 [b]		
Conc A 2010		-1777 [b]	
Conc B		-1396 [ab]	
Conc C	-2518 [b]		
Conc D	-2408 [b]		
Conc E		-2345 [b]	
Conc B proefveldmach.			-1531 [a]
Conc B zodebemester			-618 [a]

[1] Kleinst betrouwbare verschil (LSD) is 1625

Op het niveau van hoofdeffecten verschillen de opbrengsten van de concentraten onderling enigszins (in 2011 was slechts 1 mineralenconcentraat opgenomen). De droge stofopbrengst van de vloeibare ammoniumnitraat (ANvl) verschilt niet significant van de mineralenconcentraten.
KAS heeft in 2009 en 2010 een significant hogere droge stofopbrengst dan de concentraten. Uitzondering is het B concentraat; in 2010 was het verschil tussen KAS en concentraat B net niet significant.In 2011 is de situatie echter anders en is geen significant verschil in opbrengst gevonden tussen KAS en concentraat B.

Hoofdeffecten samengevat:

- De droge stofopbrengsten van de objecten bemest met de concentraten zijn onderling vergelijkbaar in de zin van dat wanneer we alleen de hoofdeffecten beschouwen er geen significante verschillen in droge stofopbrengst tussen de concentraten zijn.
- De droge stofopbrengsten van vloeibaar ammoniumnitraat zijn in 2009 en 2010 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 (in 2009, en in 2010; in 2011 is slechts één concentraat toegepast).
- In 2011 geven alle meststoffen bij gelijke bemesting en op een zelfde locatie een opbrengst die niet significant verschilt
- De droge stofopbrengsten op de kleigrond zijn hoger dan op de zandgrond (2009 en 2010; in 2011 niet getoetst).
- De droge stofopbrengsten zijn in 2009 lager dan in 2010 en 2011.

3.5 N-opbrengsten

In **Tabel 13** staan de N-opbrengsten van de objecten die voor drie sneden bemest zijn, in de bijlagen (**Tabel 32** en **Tabel 33**) 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. In 2011 is voor het object B conc zb (zodebemester) een apart (eigen) onbemest object opgenomen dat met de zodebemester gesneden is (zonder mest toediening).

Tabel 13 Gemeten N-opbrengst en meeropbrengst (kg N/ha) op jaarbasis (5 sneden) van objecten bemest in eerste, tweede en derde snede

	opbrengst				Meeropbrengst		
	N-niveau						
grondsoort/Jaar/meststof	0	100	200	300	100	200	300
Zand							
2009							
KAS	113	161	225	267	48	112	154
ANvl	113	144	176	247	31	63	134
A conc	113	139	172	206	26	59	93
C conc	113	140	164	215	27	51	102
D conc	113	145	166	216	32	53	103
2010							
KAS	171	268	347	392	97	176	221
ANvl*	182	262		322	80		140
A	182	232	291	351	50	109	169
A conc aangezuurd	182	218	274	340	36	92	158
B conc	182	247	301	381	65	119	199
E conc	182	239	245	318	57	63	136
ACl	182	215	262	310	33	80	128
KAS gesneden zode	182	250	371	434	68	189	252
2011							
KAS	162	265	366	406	103	204	244
ANvl	148	221	271	360	73	123	212
B proefveld mach.	148	224	259	306	76	111	158
B zodebemester	160	250	275	319	90	115	159
ZA korrel	162	301	297	375	139	135	213
Klei							
2009							
KAS	131	195	264	376	64	133	245
ANvl	127	166	204	265	39	77	138
A conc	127	142	173	261	15	46	134
C conc	127	147	178	206	20	51	79
D conc	127	148	194		21	67	
2010							
KAS	165	261	368	473	96	203	308
ANvl*	158	254		281	96		123
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
ACl	158	224	244	296	66	86	138
KAS gesneden zode	158	249	334	516	91	176	358

* 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 14**).

Tabel 14 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	0,676

*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 de Ngift.aantal bemestingen 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 en via depositie wordt aangevoerd.

Uit **Tabel 11** 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 en 2011 zijn gemiddeld significant hogere opbrengsten behaald dan in 2009. Een hogere N gift leidde tot een hogere N-opbrengst.

Vergelijkbaar met de droge stofopbrengst is getoetst welke verschillen tussen de mestsoorten significant zijn. Daarom is de effecten-tabel (toets op hoofdeffecten) uit de Reml analyse weergegeven in **Tabel 15**. 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 t.o.v. de opbrengst bij KAS in 2009, 2010 en 2011. KAS is daarbij dus de referentie. De overige factoren zijn voor deze meststoffen gelijk. De effecten in **Tabel 15** worden alleen gepresenteerd om een idee te krijgen van de verschillen tussen mestsoorten.

Tabel 15 Significante verschillen in N opbrengst tussen mestsoorten.

	Effecten (kg N/ha/jaar)		
	2009	2010	2011
KAS	0 [a]	0 [a]	0 [a]
Vloeibaar ammonium nitraat	-48,1 [ab]	-16,9 [ab]	-61,3 [b]
A conc	-66,3 [b]	-64,1 [bc]	
C conc	-73,2 [b]		
D conc	-74,6 [b]		
B conc		-58,7 [bc]	-82,6 [b]
B conc zodebemester			-64,2 [b]
E conc		-87,3 [c]	

Kleinst betrouwbare verschil (LSD) is 57,4. Verschillende letters zijn significant verschillend binnen een jaar.

Op het niveau van hoofdeffecten zijn in alle jaren de N-opbrengsten van de concentraten en het vloeibaar ammonium nitraat onderling niet significant verschillend (uitgezonderd het E concentraat in 2010). De N-opbrengst van de KAS is in alle proefjaren significant hoger dan van de mineralenconcentraten. In 2009 en 2010 is er geen significant effect in N-opbrengst tussen vloeibare ammoniumnitraat en KAS.

Samengevat:

- De N-opbrengsten van de objecten bemest met de concentraten zijn onderling redelijk vergelijkbaar.
- Op beide grondsoorten is de N-opbrengst van de objecten bemest met KAS in alle jaren significant hoger dan van de mineralenconcentraten.
- De N-opbrengsten van vloeibaar ammoniumnitraat zijn vergelijkbaar met die van de concentraten.

Opgemerkt dient te worden dat dit slechts een analyse op hoofdeffecten is. De detailanalyse volgt in de volgende paragrafen.

3.6 N-werkingscoëfficiënten op basis van droge stofopbrengsten

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

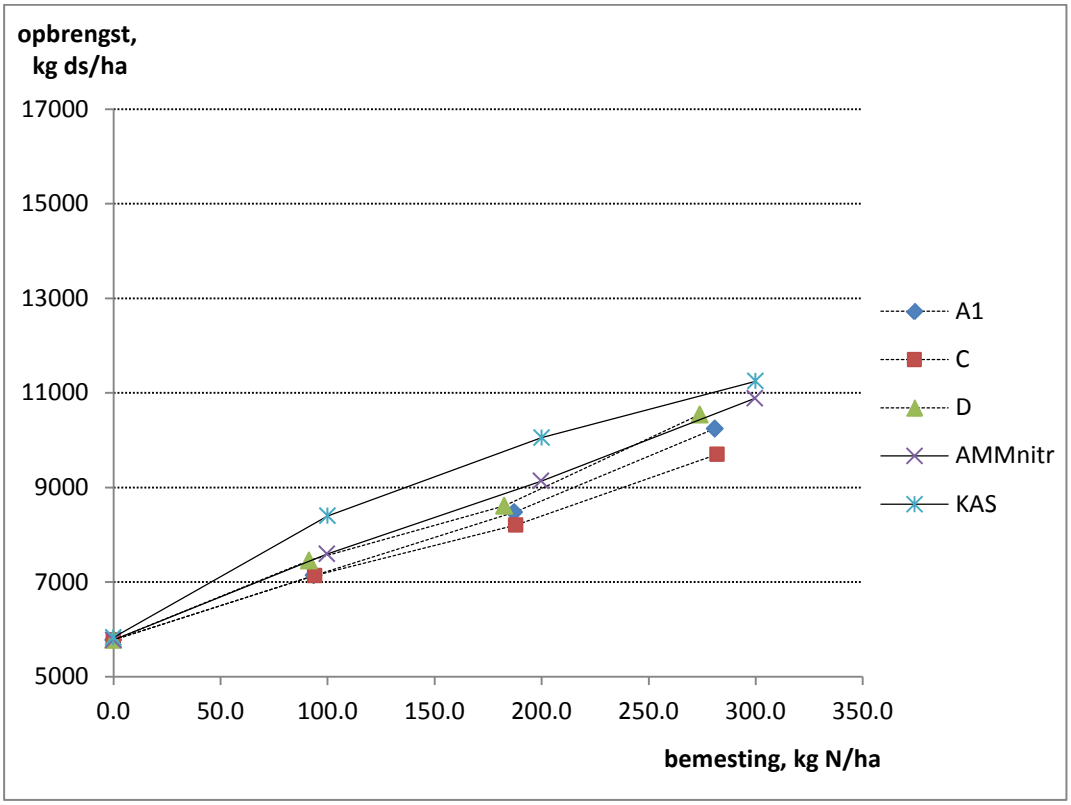
Eerst wordt in de tussenstap bepaald of de nulpunten van de veldjes waarin nul, één, twee of drie keer gesneden is met de proefveldmachine, significant verschillen. Uit de REML analyse blijkt er geen significant verschil in droge stofopbrengst te zijn tussen de veldjes die nul, één, twee of drie keer zijn gesneden (**Tabel 16**). De respons lijnen van droge stofopbrengst op N starten daarom in hetzelfde punt, ongeacht de uitrijmethode.

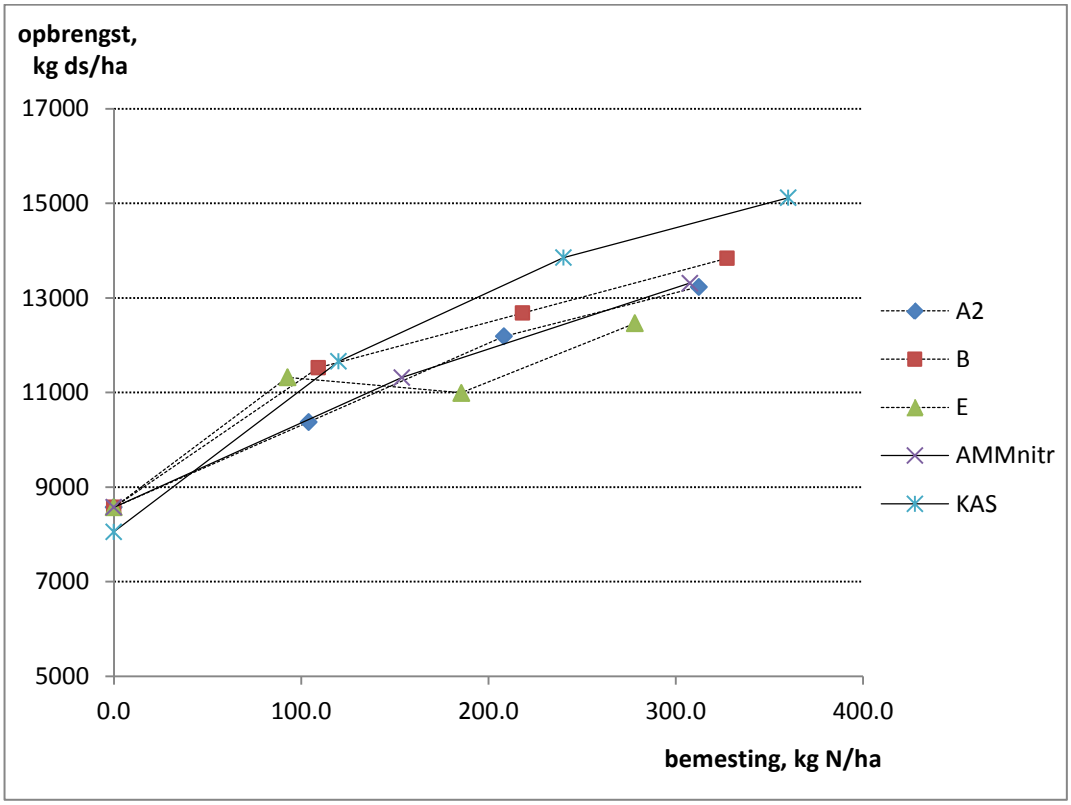
Tabel 16 REML model, toetsing voor snij-effect op objecten zonder N-bemesting.

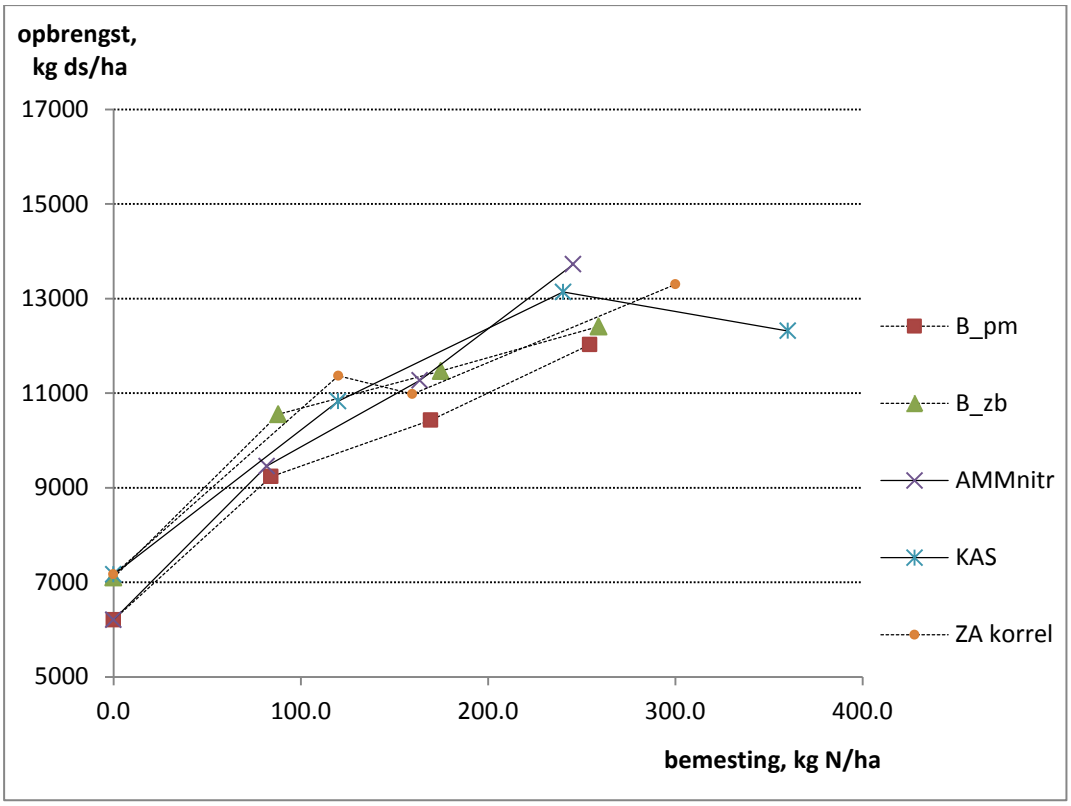
Fixed term	Probability (waarschijnlijkheid)
Locatie	0,622
Oogstjaar	0,441
SNIJDEN	0,736
Locatie.SNIJDEN	0,777
Oogstjaar.SNIJDEN	0,990
SNIJDEN.aantalbem	0,390
Locatie.SNIJDEN.aantalbem	0,681

*probability lager dan 0,05 betekent significante verschillen.

Vervolgens wordt getoetst of de verbanden tussen N-gift en droge stofopbrengst curvi lineair of lineair zijn. Om dat te testen is de factor $Ngift^2$ ingevoegd. Deze factor bleek significant, de verbanden tussen N-gift en droge stofopbrengst zijn dus curvi lineair (afnemende meeropbrengst bij hogere N giften). Visueel lijken vooral de lijnen op basis van de werkelijke gegevens voor KAS naar beneden af te buigen bij de hogere giften; de figuren geven de gemeten data weer (Figuur 3 en Figuur 4).

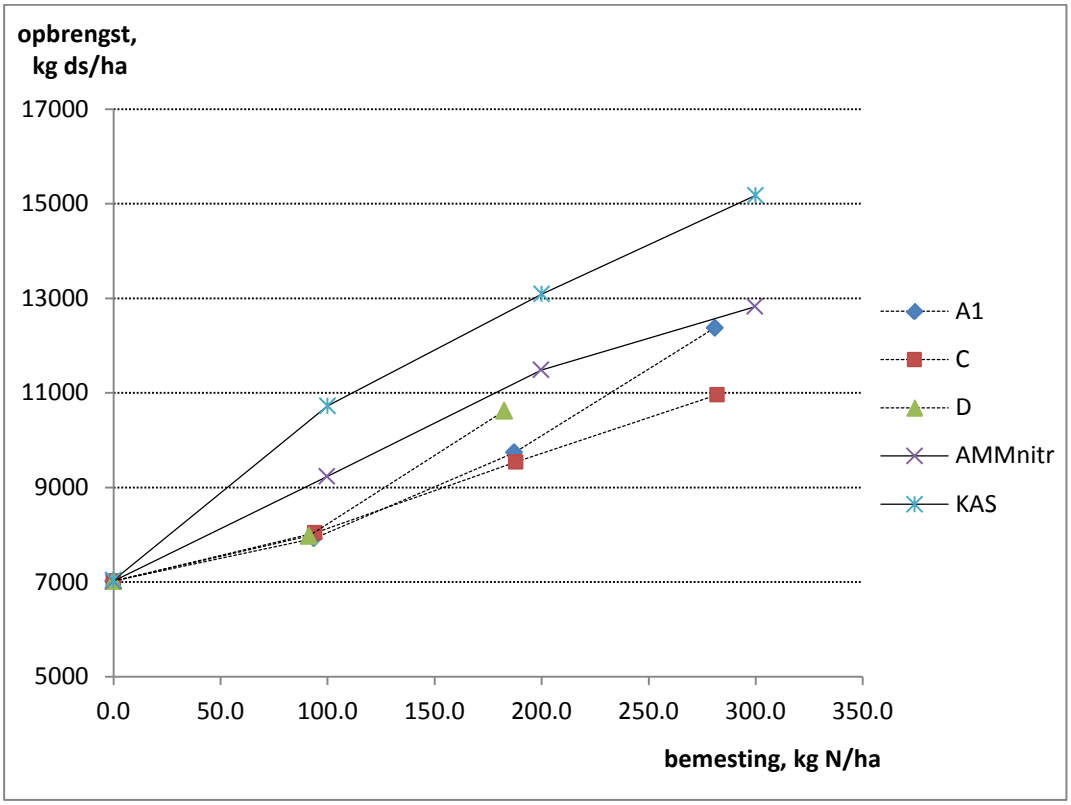

opbrengst,
kg ds/ha
17000
15000
13000
11000
9000
7000
5000
0.0
50.0
100.0
150.0
200.0
250.0
300.0
350.0
bemesting, kg N/ha
A1
C
D
AMMnitr
KAS

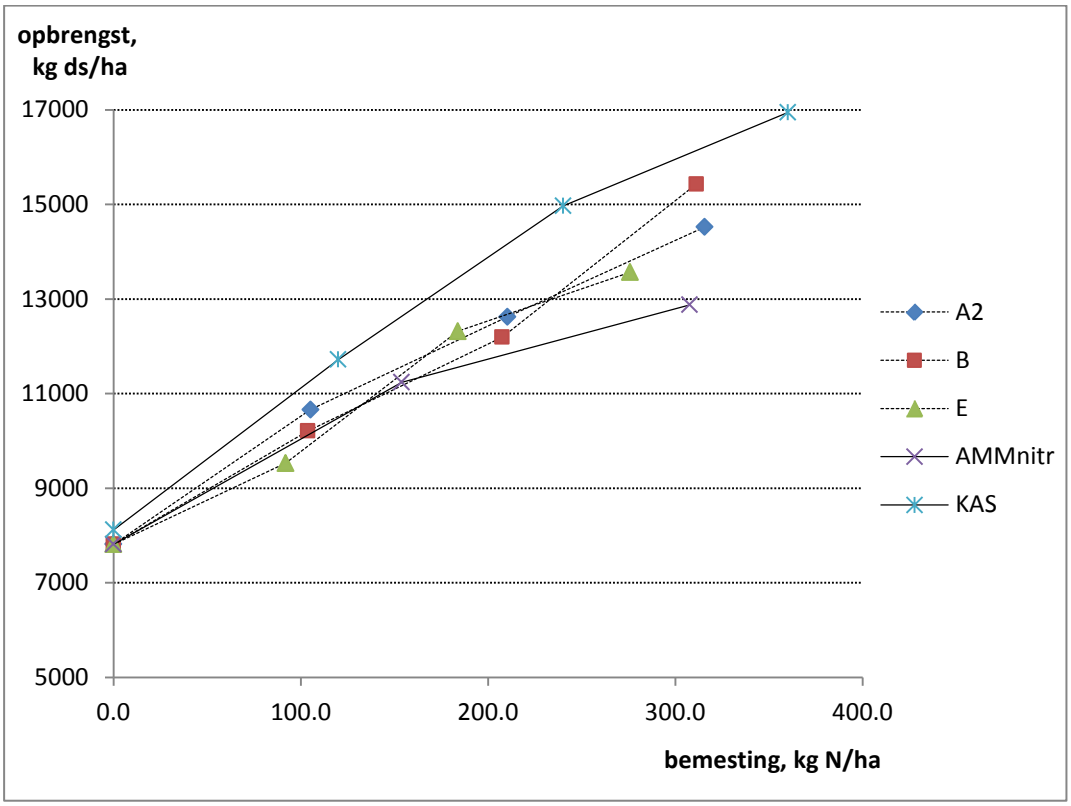

opbrengst,
kg ds/ha
17000
15000
13000
11000
9000
7000
5000
0.0
100.0
200.0
300.0
400.0
bemesting, kg N/ha
A2
B
E
AMMnitr
KAS



A1, A2, B, C, D, E: concentraten; B_pm, B_zb: B concentraat toegediend met proefveldmachine en zodebemester; AMMnitr: vloeibaar ammoniumnitraat; KAS: ammoniumnitraat korrels; ZA korrel: zwavelzure ammoniak.

Figuur 3 Droge stofopbrengst (gemeten waarde) bij toediening van concentraten en kunstmeststoffen op zand bij drie sneden bemesten, 2009 (bovenste figuur), 2010 (middelste figuur) en 2011 (onderste figuur).





A1, A2, B, C, D, E: concentraten; AMMnitr: vloeibaar ammoniumnitraat; KAS: ammoniumnitraat korrels.

Figuur 4 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 (**Tabel 17**). De verschillen tussen de locaties worden ook teruggevonden in de interacties met oogstjaar en N-gift. Naast een overall locatieverschil, dat kan worden beschreven als een niveauverschil tussen zand en klei, is dit verschil mede afhankelijk van het jaar en de N gift.
De N-gift blijkt zoals verwacht een belangrijke factor te zijn voor de droge stofopbrengst. Om voor alle gebruikte mestsoorten de lijn door het zelfde punt te laten lopen bij een N-gift van 0 kg (onbemest), is mestsoort alleen in interactie met N-gift opgenomen in het model. Dit is geoorloofd om te doen, want uit de eerdere toets bleek geen significant verschil on opbrengst bij 0 N bij al dan niet snijden in de zode.
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 curvi lineair 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 17 REML model, significante factoren voor droge stofopbrengsten

Fixed term	Probability (waarschijnlijkheid)
Locatie	<0,001
Ngift	<0,001
Oogstjaar	<0,001
Ngift2	<0,001
Locatie.oogstjaar	<0,001
Locatie.Ngift	<0,001
Ngift.aantalbem	<0,001
Oogstjaar.mestsoort.Ngift	<0,001

*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 3 maal bemesten voor de 2 jaren en de 2 locaties. Daarmee zijn de ANE's berekend voor de 2 jaren op zand en klei voor de verschillende meststoffen.

Tabel 18 REML model berekening van droge stofopbrengst (kg per ha) en ANE, zand

Oogstjaar		Ngift				ANE		
2009	meststof	0	100	200	300	100	200	300
	KAS	5575	8282	10561	12409	27,1	24,9	22,8
	AMMnitr	5575	7670	9335	10572	21,0	18,8	16,7
	A conc	5575	7420	8835	9821	18,5	16,3	14,2
	C conc	5575	7184	8364	9115	16,1	13,9	11,8
	D conc	5575	7523	9043	10133	19,5	17,3	15,2
2010	KAS	8201	10969	13307	15216	27,7	25,5	23,4
	AMMnitr	8201	10259	11887	13086	20,6	18,4	16,3
	A conc	8201	10289	11948	13177	20,9	18,7	16,6
	B conc	8201	10501	12371	13812	23,0	20,9	18,7
	E conc	8201	10194	11759	12893	19,9	17,8	15,6
	A aangezuurd	8201	10121	11612	12673	19,2	17,1	14,9
	AMMCl	8201	10071	11511	12522	18,7	16,6	14,4
	KAS_snij	8201	10872	13114	14926	26,7	24,6	22,4
2011	KAS	7764	9944	11694	13015	21,8	19,7	17,5
	AMMnitr	7764	10255	12317	13949	24,9	22,8	20,6
	B conc	7764	9797	11400	12574	20,3	18,2	16,0
	B zodebemester	7764	10040	11886	13302	22,8	20,6	18,5
	ZA korrel	7764	10098	12002	13477	23,3	21,2	19,0

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

Tabel 19 REML model berekening van droge stofopbrengst (kg per ha) en ANE, klei

oogstjaar		Ngift				ANE		
2009	meststof	0	100	200	300	100	200	300
	KAS	6887	9901	12486	14641	30,1	28,0	25,8
	AMMnitr	6887	9289	11261	12804	24,0	21,9	19,7
	A conc	6887	9039	10761	12053	21,5	19,4	17,2
	C conc	6887	8803	10290	11347	19,2	17,0	14,9
	D conc	6887	9142	10968	12365	22,6	20,4	18,3
2010	KAS	7971	11045	13690	15906	30,7	28,6	26,5
	AMMnitr	7971	10335	12270	13776	23,6	21,5	19,4
	A conc	7971	10365	12331	13866	23,9	21,8	19,7
	B conc	7971	10577	12755	14502	26,1	23,9	21,8
	E conc	7971	10271	12142	13583	23,0	20,9	18,7
	A aangezuurd	7971	10197	11995	13363	22,3	20,1	18,0
	AMMCl	7971	10147	11894	13212	21,8	19,6	17,5
	KAS_snij	7971	10949	13497	15616	29,8	27,6	25,5

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 20 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								
KAS	1.00	1.00	1.00	1.00	1,29	1,33	1,37	1,33
AMMnitr	0.77	0.75	0.73	0.75	1,00	1,00	1,00	1,00
A conc	0.68	0.65	0.62	0.65	0,88	0,87	0,85	0,87
C conc	0.59	0.56	0.52	0.56	0,77	0,74	0,71	0,74
D conc	0.72	0.70	0.67	0.69	0,93	0,92	0,91	0,92
2010								
KAS	1,00	1,00	1,00	1,00	1,34	1,39	1,44	1,39
AMMnitr	0,74	0,72	0,70	0,72	1,00	1,00	1,00	1,00
A conc	0,75	0,73	0,71	0,73	1,01	1,02	1,02	1,02
B conc	0,83	0,82	0,80	0,82	1,12	1,13	1,15	1,13
E conc	0,72	0,70	0,67	0,70	0,97	0,97	0,96	0,96
A aangezuurd	0,69	0,67	0,64	0,67	0,93	0,93	0,92	0,92
AMMCl	0,68	0,65	0,62	0,65	0,91	0,90	0,88	0,90
KAS_snij	0,96	0,96	0,96	0,96	1,30	1,33	1,38	1,34
2011								
KAS	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,86	0,85	0,86
AMMnitr	1,14	1,16	1,18	1,16	1,00	1,00	1,00	1,00
B proefveldmach	0,93	0,93	0,92	0,92	0,82	0,80	0,78	0,80
B zodebemester	1,04	1,05	1,05	1,05	0,91	0,91	0,90	0,90
ZA korrel	1,07	1,08	1,09	1,08	0,94	0,93	0,92	0,93

Tabel 21 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								
KAS	1,00	1,00	1,00	1,00	1,25	1,28	1,31	1,28
AMMnitr	0,80	0,78	0,76	0,78	1,00	1,00	1,00	1,00
A conc	0,71	0,69	0,67	0,69	0,90	0,89	0,87	0,88
C conc	0,64	0,61	0,58	0,61	0,80	0,78	0,75	0,78
D conc	0,75	0,73	0,71	0,73	0,94	0,93	0,93	0,93
2010								
KAS	1,00	1,00	1,00	1,00	1,30	1,33	1,37	1,33
AMMnitr	0,77	0,75	0,73	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
A conc	0,78	0,76	0,74	0,76	1,01	1,01	1,02	1,01
B conc	0,85	0,84	0,82	0,84	1,10	1,11	1,13	1,11
E conc	0,75	0,73	0,71	0,73	0,97	0,97	0,97	0,97
A conc zuur	0,72	0,70	0,68	0,70	0,94	0,94	0,93	0,94
AMMCl	0,71	0,69	0,66	0,68	0,92	0,91	0,90	0,91
KAS_snij	0,97	0,97	0,96	0,97	1,26	1,29	1,32	1,29

De werking coëfficiënten van de concentraten worden alleen besproken voor de zuivere concentraten, dus niet voor het aangezuurde concentraat of voor de andere NH4 meststoffen.
De N-werkingscoëfficiënten ten opzichte van KAS van de vloeibare meststoffen, inclusief concentraten, zijn in 2009 en 2010 lager dan 100 % . In 2011 is de werking van het mineralenconcentraat toegediend met de zodebemester en de werking van vloeibare ammoniumnitraat hoger dan van KAS.
Tussen bemesten met KAS zonder en met snijden van de zode is het verschil klein en niet significant. 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 in 2009 en 2010 hoger dan met KAS als referentiemeststof. In 2011 was de werking juist lager t.o.v. ANvl dan t.o.v. KAS.

De N-werkingscoëfficiënten van de mineralenconcentraten op basis van de droge stofopbrengst en met KAS als referentiemeststof variëren op de individuele N-trappen in 2009 op zand tussen 52 en 77 %. In 2010 was deze variatie tussen 67 en 83 % en in 2011 tussen de 92 en 105%. Met vloeibare ammoniumnitraat als referentie varieert de N werkingscoëfficiënt op de individuele N-trappen in 2009 tussen 71 en 93 % , in 2010 tussen 96 en 105 % en in 2011 tussen 78 en 91%.

De werkingscoëfficiënten van de mineralenconcentraten op basis de droge stofopbrengst en met KAS als referentiemeststof variëren in 2009 op klei tussen 58 en 75 %. In 2010 tussen 71 en 85 %.
Met vloeibare ammoniumnitraat als referentie varieert de N werkingscoëfficiënt in 2009 tussen 75 en 94 % , in 2010 tussen 97 en 113 %.

Op droge stofbasis en ten opzichte van KAS was de gemiddelde werking van het mineralenconcentraat op zand 77% en op klei 73% en overall over alle jaren en grondsoorten **75%**.

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 paragraaf 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 N-opbrengst te zijn tussen de veldjes die nul, één, twee of drie keer zijn

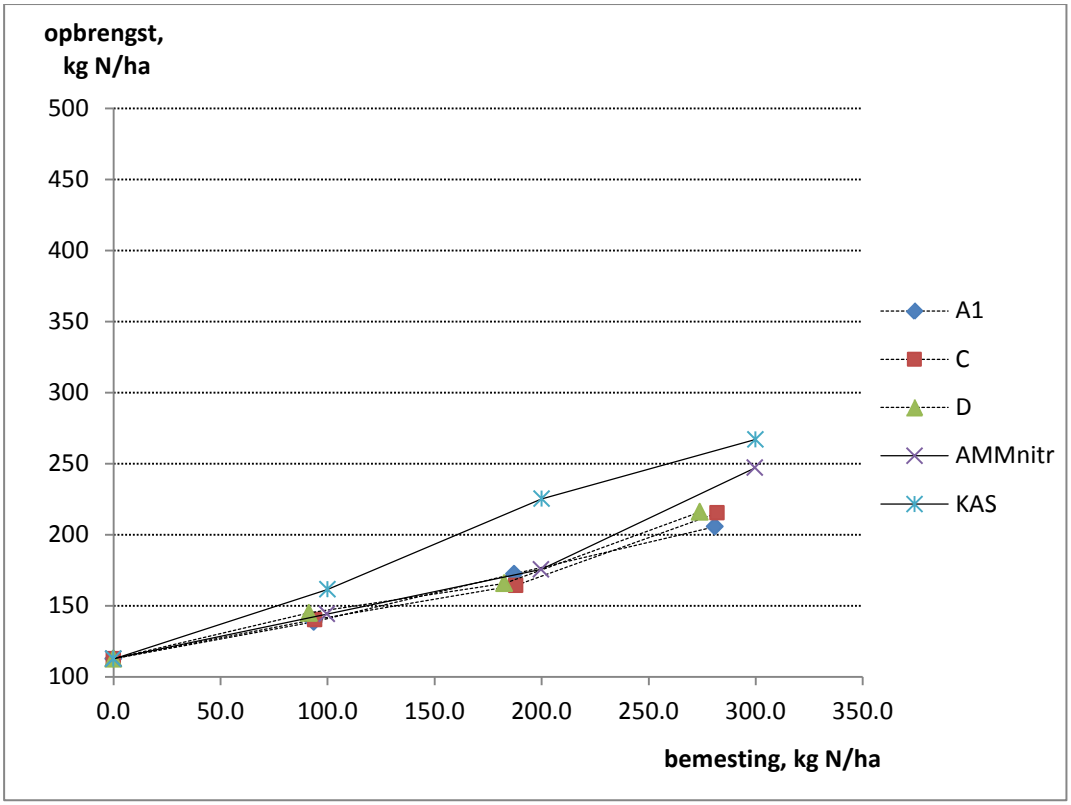
gesneden (**Tabel 22**). Bij nadere beschouwing blijkt de N-opbrengst alleen bij drie keer snijden op de klei-locatie net niet significant lager te zijn dan bij nul keer snijden.
De respons lijnen van N-opbrengst starten daarom in hetzelfde punt, ongeacht de uitrijmethode.

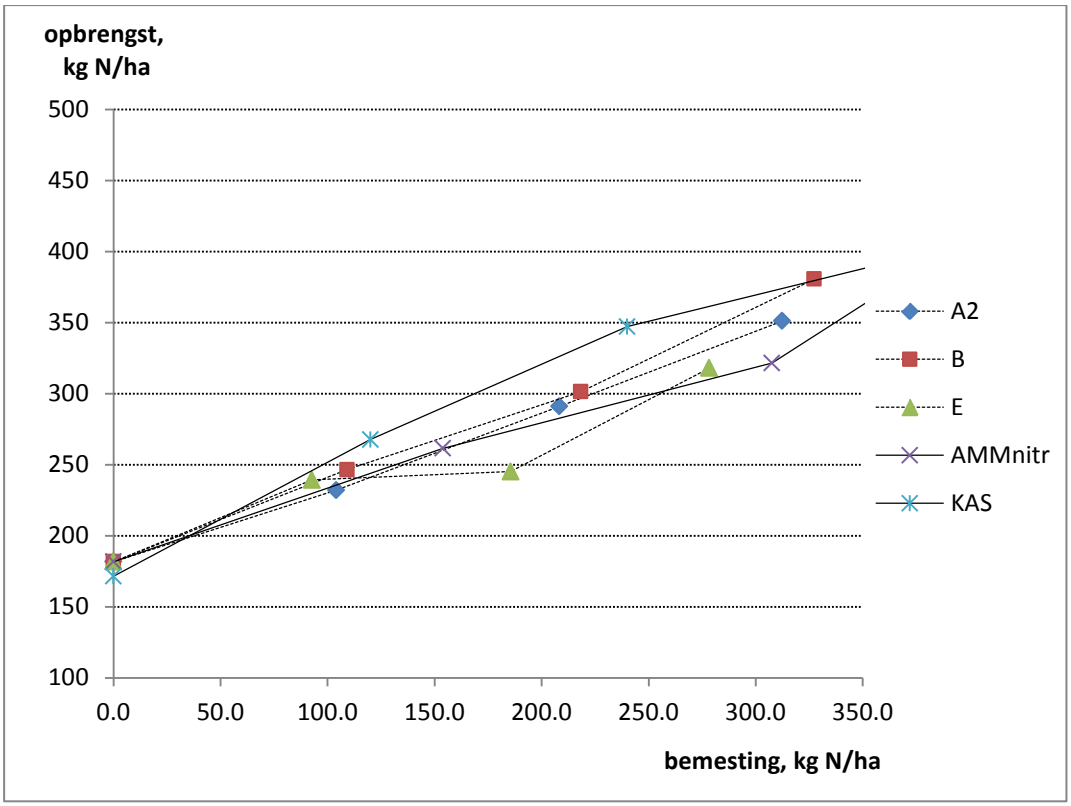
Tabel 22 REML model, toetsing voor snij-effect op objecten zonder N-bemesting.

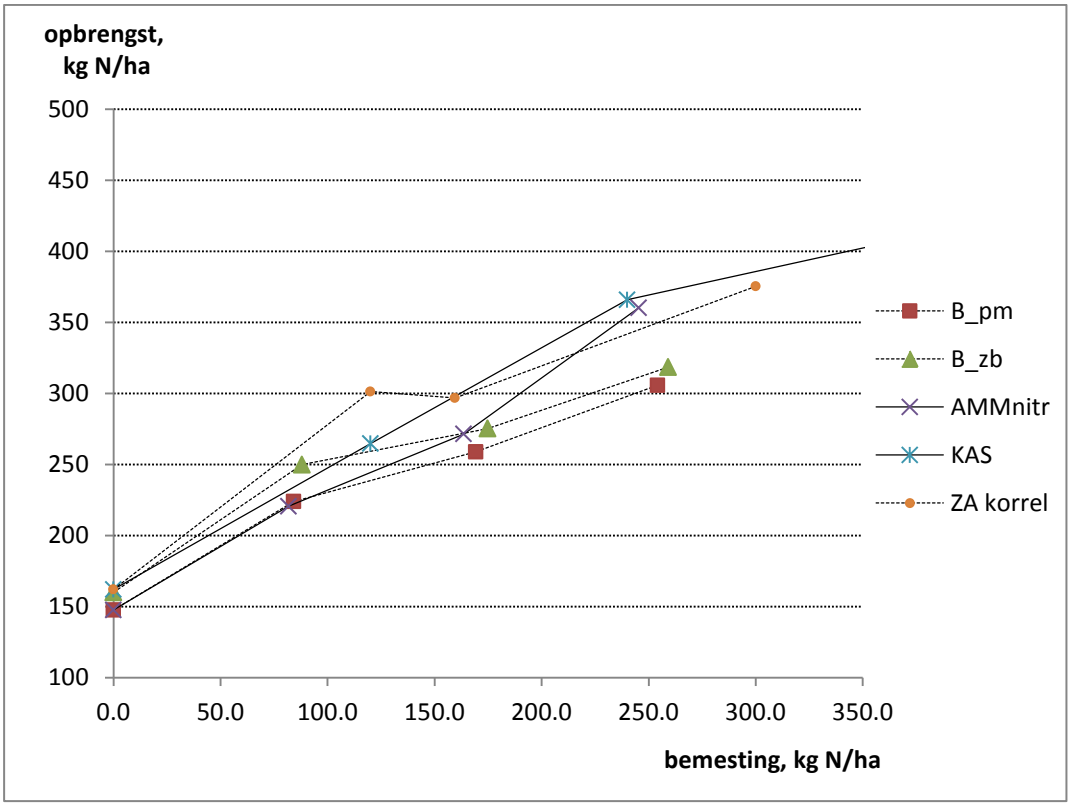
Fixed term	Probability (waarschijnlijkheid)
Locatie	0,785
Oogstjaar	0,295
SNIJDEN	0,786
Locatie.SNIJDEN	0,742
Oogstjaar.SNIJDEN	0,932
SNIJDEN.aantalbem	0,389
Locatie.SNIJDEN.aantalbem	0,077
Oogstjaar.SNIJDEN.aantalbem	0,428

*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 Ngift^2 ingevoegd. Deze factor bleek niet significant. De verbanden tussen N-gift en droge stofopbrengst zijn dus in tegenstelling tot de lijnen voor de droge stofopbrengst niet curvi lineair, maar lineair. Waarschijnlijk is de afbuiging niet gevonden, omdat niet alle lijnen een zelfde verloop vertonen. In de figuren (Figuur 5 en Figuur 6) lijken vooral de KAS-lijnen wel licht af te buigen (met name op zand) bij een hogere N-bemesting. Andere lijnen zoals de lijnen van de mineralenconcentraten en de ammoniumnitraat lijken juist vlak of zelfs hol te lopen. Dit sluit niet aan bij de theorie van een afnemende meeropbrengst bij een hogere gift.

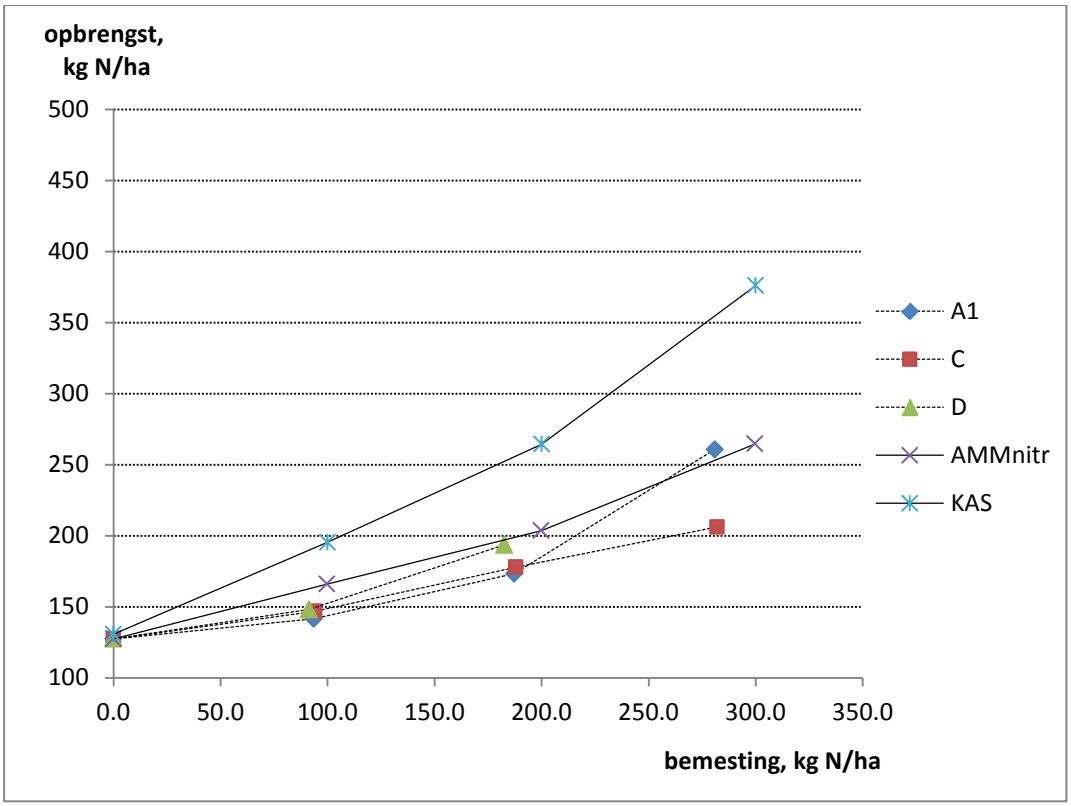


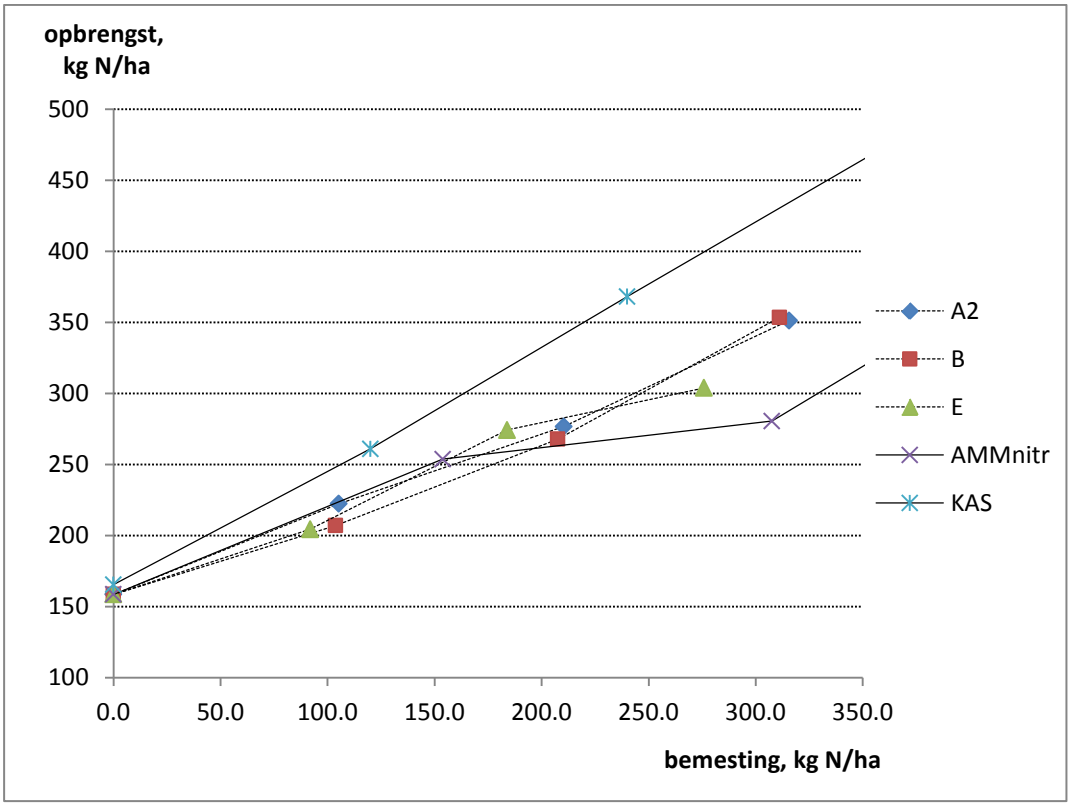




A1, A2, B, C, D, E: concentraten; B_pm, B_zb: B concentraat toegediend met proefveldmachine en zodebemester; AMMnitr: vloeibaar ammoniumnitraat; KAS: ammoniumnitraat korrels; ZA korrel: zwavelzure ammoniak.

Figuur 5 Stikstofopbrengst (gemeten waarden) bij toediening van concentraten en kunstmeststoffen op zand, 2009 (bovenste figuur) , 2010 (middelste figuur) en 2011 (onderste figuur).





A1, A2, B, C, D, E: concentraten; AMMnitr: vloeibaar ammoniumnitraat; KAS: ammoniumnitraat korrels.

Figuur 6 Stikstofopbrengst (gemeten waarden) bij toediening van concentraten en kunstmeststoffen op klei in 2009 (bovenste figuur) en 2010 (onderste figuur).

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 geen significante invloed heeft (Tabel 23). In de pre-analyse bleek al dat aantal bemestingen als hoofdeffect niet significant was (Tabel 14). 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 significant maar ook als interactie met oogstjaar. Dit betekent dat er een significant verschil is tussen klei en zand. Dit verschil wordt deels verklaard door verschillen tussen de oogstjaren.
De factor $Ngift^2$ blijkt niet significant te zijn. Dit betekent dat het model schat dat de lijnen lineair lopen. Dit is komt niet geheel overeen de theorie (Mengel and Kirkby, 2001). In paragraaf 2.7 is uitgelegd dat we dit wel accepteren.

Tabel 23 REML model, significante factoren voor N-opbrengsten

Fixed term	probability
Locatie	<0,001
Oogstjaar	<0,001
Ngift	<0,001
Ngift2	n.s.
Locatie.oogstjaar	<0,001
Oogstjaar.Ngift	<0,001
mestsoort.oogstjaar.Ngift	<0,001
mestsoort.Ngift.aantalbem	n.s.

*probability lager dan 0,05 betekent significante verschillen.

Het significante effect van oogstjaar.Ngift geeft aan dat de respons van de N opbrengst op de N gift op N niet in alle jaren het zelfde is.
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 3 maal bemesten voor de 2 jaren en de 2 locaties. Daarmee zijn de ANR's berekend voor de 3 jaren op zand en 2 jaren op 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. Omdat de lijnen lineair verlopen en door het zelfde nulpunt gaan (zelfde opbrengst bij 0 N; geen snijeffect volgens analyse), is per kg gegeven N de N opbrengst gelijk. De berekende ANR is dus in het traject 0-100 N gelijk aan de ANR in het traject 200-300 N.

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

oogstjaar		Zand (Heino)			Klei (WBH)		
		Ngift		ANR	Ngift		ANR
2009	meststof	0	300		0	300	
	KAS	103,8	307,5	0,68	127,8	331,6	0,68
	AMMnitr	103,8	232,0	0,43	127,8	256,0	0,43
	A conc	103,8	213,7	0,37	127,8	237,7	0,37
	C conc	103,8	198,5	0,32	127,8	222,6	0,32
	D con	103,8	214,6	0,37	127,8	238,6	0,37
2010	KAS	172,0	407,9	0,79	164,2	400,0	0,79
	AMMnitr	172,0	335,4	0,55	164,2	327,6	0,55
	A conc	172,0	339,2	0,56	164,2	331,3	0,56
	B conc	172,0	356,4	0,62	164,2	348,6	0,62
	E conc	172,0	329,9	0,53	164,2	322,1	0,53
	A aangezuurd	172,0	318,0	0,49	164,2	310,1	0,49
	AMMCl	172,0	306,4	0,45	164,2	298,6	0,45

	KAS_snij	172,0	416,8	0,82	164,2	409,0	0,82
2011	KAS	180,4	376,1	0,65	-	-	-
	AMMnitr	180,4	380,7	0,67	-	-	-
	B proefveldmach	180,4	337,9	0,53	-	-	-
	B zodebemester	180,4	359,0	0,60	-	-	-
	ZA korrel	180,4	391,9	0,71	-	-	-

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 ANvl berekend.

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

oogstjaar		Zand (Heino)	t.o.v.:	Klei (WBH)	t.o.v.:
	meststof	KAS	Amm.Nitraat	KAS	Amm.Nitraat
2009	KAS	1,00	1,59	1,00	1,59
	AMMnitr	0,63	1,00	0,63	1,00
	A conc	0,54	0,86	0,54	0,86
	C conc	0,47	0,74	0,47	0,74
	D conc	0,54	0,86	0,54	0,86
2010	KAS	1,00	1,44	1,00	1,44
	AMMnitr	0,69	1,00	0,69	1,00
	A conc	0,71	1,02	0,71	1,02
	B conc	0,78	1,13	0,78	1,13
	E conc	0,67	0,97	0,67	0,97
	A aangezuurd	0,62	0,89	0,62	0,89
	AMMCl	0,57	0,82	0,57	0,82
	KAS_snij	1,04	1,50	1,04	1,50
2011	KAS	1,00	0,98	-	-
	AMMnitr	1,02	1,00	-	-
	B proefveldmach	0,80	0,79	-	-
	B zodebemester	0,91	0,89	-	-
	ZA korrel	1,08	1,06	-	-

De N-werkingscoëfficiënten van de vloeibare meststoffen inclusief concentraten ten opzichte van KAS zijn allemaal lager dan 100 %.
Tussen bemesten met KAS zonder en met snijden van de zode is weinig verschil. Gemiddeld heeft het object KAS met snijden een 4 % hogere N-opbrengst dan het object KAS (zonder snijden).
Met ANvl als referentiemeststof zijn de werkingscoëfficiënten van de concentraten in 2009 en 2010 hoger dan met KAS als referentiemeststof, in 2011 is dit omgekeerd.

De N-werkingscoëfficiënten van de (zuivere) mineralenconcentraten op basis van de N-opbrengst en met KAS als referentiemeststof variëren in 2009 op beide grondsoorten tussen 47 en 54 %. In 2010 tussen 67 en 78 % en in 2011 (alleen op zand) tussen 80 en 91%. Gemiddeld is de N-werkingscoëfficiënt ten opzichte van KAS 65 %.
Met vloeibare ammoniumnitraat als referentie varieert de N werkingscoëfficiënt in 2009 tussen 74 en 86 % , in 2010 tussen 97 en 113 % en in 2011 (alleen op zand) tussen 79 en 89%. Alleen in 2011 is de werking van de concentraten met als referentie ANvl lager dan in vergelijking met KAS. Gemiddeld is de N-werkingscoëfficiënt ten opzichte van ANvl 92 %.

3.8 Nawerking

In de voorgaande paragrafen is gekeken naar de totale opbrengsten (jaaropbrengsten) en de werking over alle sneden. Voor dierlijke mest is in het verleden ook gekeken naar de nawerking van deze mest in vervolgsneden na toediening. Met name de organische N komt geleidelijk vrij gedurende het

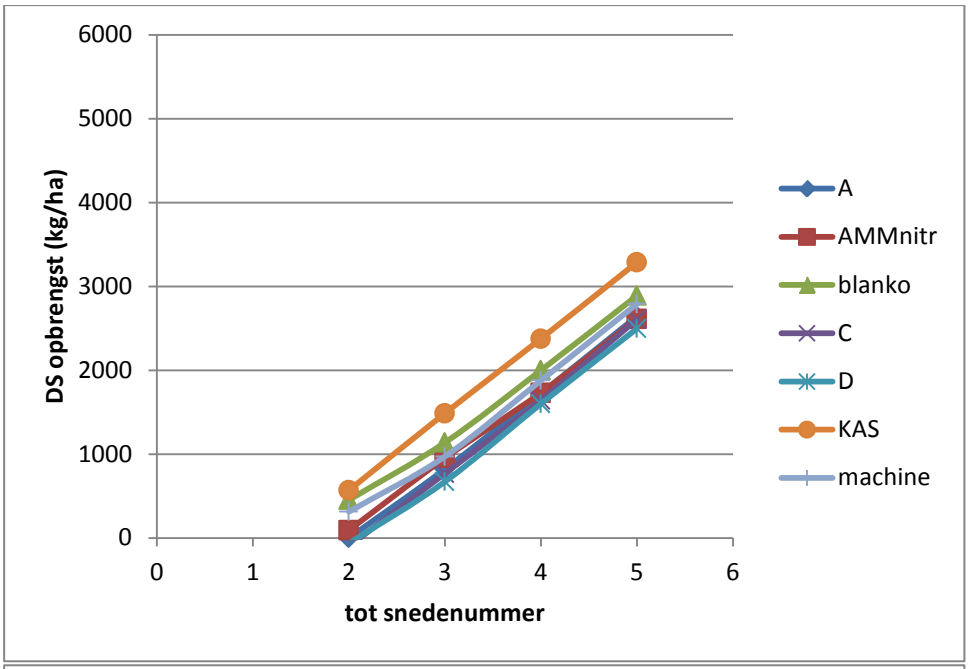
seizoen. De minerale N uit dierlijke mest werkt meestal direct na toediening, terwijl de organische N in latere sneden tot werking komt. Omdat de N werking van de mineralenconcentraten lager is dan verwacht, is ook gekeken naar de werking in het seizoen (over de sneden heen). De daarvoor speciaal aangelegde objecten die gedurende het seizoen 1 keer, twee keer en drie keer bemest zijn, zijn geanalyseerd met als doel om de verdeling van de werking over de sneden te bepalen.
De analyse is gedaan op de droge stofopbrengst na de eerste snede, steeds per snede. Er is niet gekeken naar de individuele snede opbrengsten, maar naar de cumulatieve snedeopbrengsten in relatie tot de cumulatieve N gift.
De analyse ‘ start’ in snede 2: dit is de totale opbrengst van snede 1 en snede 2, als gevolg van de bemesting van alleen snede 1. Voor snede 3 geldt dan: de totale opbrengst van snede 1+2+3 en de totale bemesting van snede 1+2 (snede 3 is onbemest, om de nawerking te toetsen). In deze analyse zijn dus alleen de objecten opgenomen waarvan de laatste snede van de totaaltelling onbemest was. Dus objecten die 3 sneden bemest zijn, doen in deze analyse niet mee bij de totaaltelling tot snede 2, omdat de laatste snede van deze objecten op dat moment niet onbemest was.
De analyse is weer uitgevoerd met REML en de resultaten staan in tabel 26.

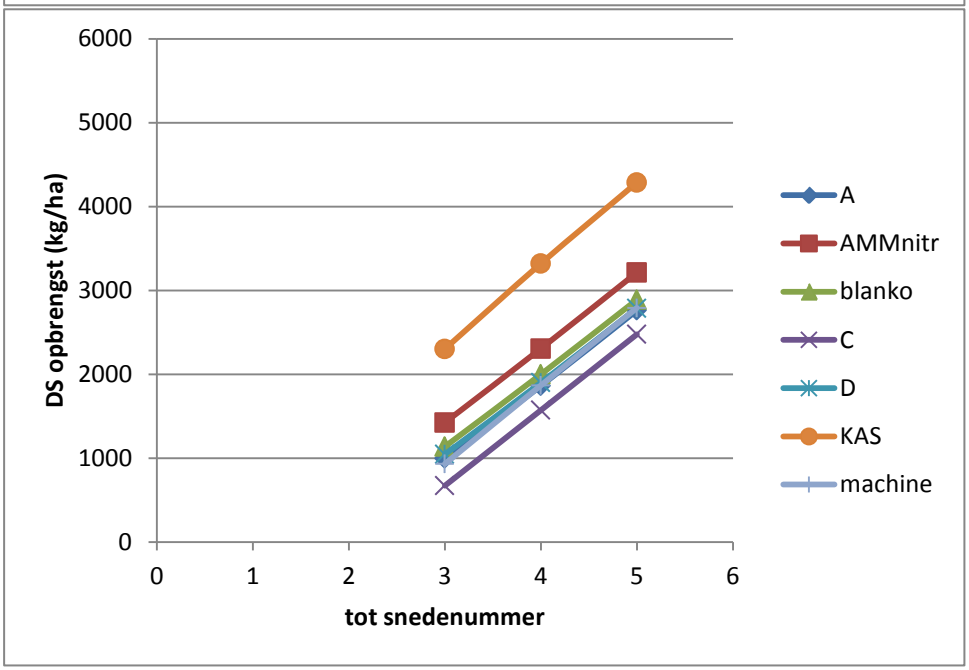
Tabel 26 REML model, significante factoren nawerking

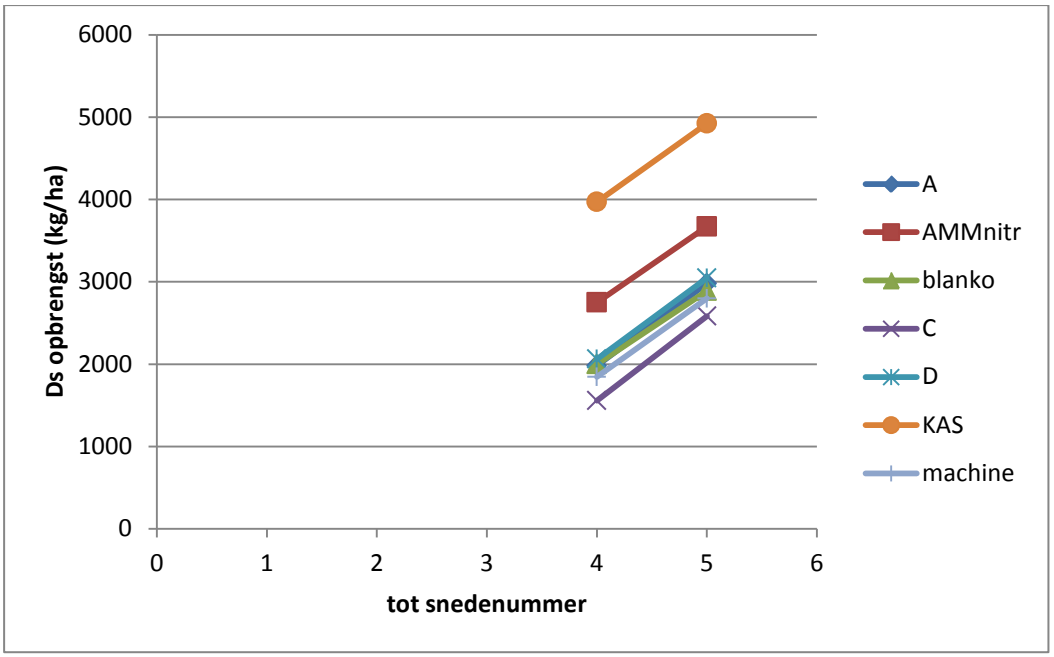
Fixed term	Probability
Locatie	< 0,001
Oogstjaar N gift	< 0,001
N gift tot snede	< 0,001
oogstjaar.aantalbem.mestsoort.totsnede	< 0,001

Uit tabel 26 blijkt dat er een hoofdeffect is van Locatie en proefjaar. Dit kwam ook naar voren in eerdere analyses. Het jaar en locatieniveau hebben een effect op het totale niveau, maar zijn niet van invloed op de nawerking. Er blijkt een verschil in droge stofopbrengst bij de interactie van oogstjaar, aantal bemestingen, mestsoort en de snede waarin gekeken wordt naar deze opbrengst. Met deze 4 weg interactie is een voorspelling gedaan van de snedeopbrengst tot en met snede 2, snede 3, snede 4 en snede 5.
De gevonden waarden zijn relatief en ten opzichte van elkaar, waarbij in de analyse het A concentraat in 2009 en 2010 als referentie wordt gebruikt en het B concentraat, toegediend met de proefveldmachine als referentiepunt in 2011.

De modeluitkomsten voor de reeks uit 2009 zijn in onderstaande 3 figuren weergegeven. Uit deze figuren is goed te zien dat de nawerking uit de concentraten niet hoger is dan die uit KAS, maar gelijk of soms zelfs iets lager. Blijkbaar levert KAS in de eerste vervolgsnede meer na dan de concentraten (verschil tussen KAS en overige objecten in het eerste punt, links onder in de grafieken (bij 2, 3 resp. 4 sneden) en loopt daarna min of meer parallel of wijkt zelfs iets af van de overige lijnen. Ook ANvl heeft een iets betere nawerking dan de concentraten. Dat blijkt uit de kleine afstand tussen de lijn ANvl en de concentratenlijnen. Het C concentraat heeft de minste nawerking.
Deze analyse geeft aan dat de beste werking van de concentraten in de snede direct na toediening plaats vindt en dat van nawerking (in relatie tot KAS) niets mag worden verwacht.


6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
DS opbrengst (kg/ha)
0
1
2
3
4
5
6
tot snedenummer
A
AMMnitr
blanko
C
D
KAS
machine


6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
DS opbrengst (kg/ha)
0
1
2
3
4
5
6
tot snedenummer
A
AMMnitr
blanko
C
D
KAS
machine



3.9 N-mineraal in de bodem

De resultaten van de analyses van N mineraal in de bodem van 2009 en 2011 op zand en van 2010 op zand en klei zijn gegeven in Tabel 28 tot en met **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**.
De statistische analyse is uitgevoerd met REML (**Tabel 27**). Getoetst is Locatie, Locatie.oogstjaar, mestsoort, Ngift en bodemlaag. Oogstjaar is niet apart getoetst omdat niet in alle toetsjaren beide grondsoorten zijn meegenomen in het onderzoek. Dan is het niet zinvol om oogstjaar als hoofdeffect te toetsen. Alleen bodemlaag blijkt significant. Zoals verwacht is het Nmn gehalte in de laag 0-30 het hoogst en in de laag 60-90 het laagst. Er is geen verschil tussen de mestsoorten, N-giften en de twee locaties (geen grondsoorteffect).

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

Fixed term	probability
Locatie	0.392
N-niveau	0.853
Locatie.oogstjaar	0.755
mestsoort	0.963
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.
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. In 2011 is het totale niveau vergelijkbaar met beide voorgaande jaren.
De hoeveelheid N-mineraal neemt wel sterk af met de diepte, in de laag 60-90 cm zit gemiddeld over locaties en jaren 11 kg N per ha, terwijl in 0-30 cm diepte gemiddeld over de locaties en jaren 68 kg N per ha zit.

Tabel 28 N mineraal (kg N per ha) in de bodem, bij 0 N en 300 N op zand (2009-2011) en klei (2010)

	N niveau	0 N				300 N			
	Meststof/Laag	0-30	30-60	60-90	0-90	0-30	30-60	60-90	0-90
2009	A	57	10,2	0	67,2	29,4	13,5	0	42,9
AH	AMMnitr	57	10,2	0	67,2	41,7	44,4	22,2	108
zand	C	57	10,2	0	67,2	37,2	39,6	20,4	96,9
	D	57	10,2	0	67,2	33,6	30	0	63,6
	KAS	39,3	46,8	24,9	111	35,1	25,5	18,6	79,2
2010	A	81,9	54,9	7,2	144	86,7	46,8	22,8	156,3
AH	A aangezuurd	81,9	54,9	7,2	144	67,8	39,6	6	113,1
zand	AMMCl	81,9	54,9	7,2	144	77,7	48,3	7,8	133,5
	AMMnitr	81,9	54,9	7,2	144	70,8	49,2	20,7	140,4
	B	81,9	54,9	7,2	144	61,2	86,7	21	168,6
	E	81,9	54,9	7,2	144	94,8	86,4	10,2	191,4
	KAS	68,4	42,3	12,6	123	80,7	75	9	164,4
	KAS_snij	81,9	54,9	7,2	144	59,4	46,5	12	117,6
2010	A	71,7	30	7,5	109,2	86,1	53,1	10,2	149,4
WBH	A_zuur	71,7	30	7,5	109,2	96,6	50,7	22,5	169,5
klei	AMMCl	71,7	30	7,5	109,2	75	27,9	9	111,9
	AMMnitr	71,7	30	7,5	109,2	110,1	42,9	12,9	165,6
	B	71,7	30	7,5	109,2	106,5	26,4	6,3	138,9
	E	71,7	30	7,5	109,2	76,5	23,4	10,2	110,1
	KAS	81	25,5	19,5	125,7	78,3	44,1	20,1	142,2
	KAS_snij	71,7	30	7,5	109,2	78	34,5	22,2	134,4
2011	AMMnitr	46,2	46,2	16,2	108,6	45,6	37,5	12	94,8
AH	B proefvmach	46,2	46,2	16,2	108,6	51	39,3	20,4	110,7
zand	KAS	62,1	42,6	6,3	110,7	49,8	33,9	18	101,4

De Nmin gehalten bij 100 en 200 N staan weergegeven in de bijlage.

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 mineralenconcentraten) 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 'afdraaiproef'. Er zijn een aantal mogelijkheden om de juiste dosering in te stellen.

1. Spuitplaatje. Er zijn 3 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 afdraaiproef 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 zou kunnen afwijken door het optreden van slip. Dat zou betekenen dat de werkelijke rijsnelheid lager is dan de afgelezen snelheid en daardoor de dosering hoger. Dit zou betekenen dat de N-werkingscoëfficiënt overschat zou worden. De werkingscoëfficiënten zijn echter lager dan we verwachten. Dit is dus niet het gevolg van slip.
De monsters waarin gehaltes 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 29** is een overzicht van de berekende werkingscoëfficiënten over alle jaren (2009 t/m 2011) 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. Hoewel locatie wel een niveauverschil geeft, heeft het geen effect op de meeropbrengst voor elke kg gegeven N en daarmee ook geen effect op de werking.

Tabel 29 Berekende werkingscoëfficiënten van alle concentraten gemiddeld over 2009, 2010 en 2011.

	Droge stofopbrengst		N-opbrengst	
	Tov KAS	tov ANvl	Tov KAS	tov ANvl
Zand	52-105	71-115	47-91	74-113
Klei	58-85	75-113	47-78	74-113

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 in de eerste 2 proefjaren relatief beperkt, de spreiding in werkingscoëfficiënt bedraagt over deze jaren 47 tot 78%. Door de betere werking in 2011 is de spreiding echter toegenomen tot 91%. Bij toename van het aantal proefjaren en producten (verschillende concentraten) neemt ook bij het toetsen van het mineralenconcentraat de spreiding hiermee toe. Dit geldt echter ook voor de spreiding in de werking van KAS.
In het rapport over runderdrijfmest gaat het over meerdere jaren, proeven en partijen drijfmest. De lagere spreiding, maar met name de betere werking (werkingen onder de 45% komen niet voor) strookt met het gegeven dat er weinig organische N in mineralenconcentraten aanwezig is, maar een spreiding van ruim 45% is toch nog erg groot. Met name de lage werkingen zijn eigenlijk niet verwacht op basis van de N vorm in het concentraat (bijna 100% minerale N in de vorm van NH_4). Ten opzichte van vloeibaar ammoniumnitraat ligt de werking op een hoger niveau, omdat de vloeibare ammoniumnitraat zelf een slechtere werking liet zien dan KAS. De totale spreiding (74 – 113 %) is met 39 nauwelijks kleiner dan de 44 bij KAS. De vloeibare ammoniumnitraat gaf t.o.v. KAS maar een werking van 73%, gemiddeld over alle jaren en locaties.
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. Toch mag hier niet veel effect van worden verwacht, omdat het aandeel organisch gebonden N in het MC erg laag is.
Opvallend is de lagere werking van het vloeibare ammoniumnitraat ten opzichte van KAS, waarbij dit verschil in 2011 juist omgekeerd is: KAS werkt iets minder dan de vloeibare ammoniumnitraat. De vraag is echter welk product het verschil in 2011 heeft veroorzaakt. Werkte KAS minder of werkten de overige meststoffen beter? Mogelijk heeft het droge voorjaar een positief effect gehad op de werking van alle vloeibare meststoffen in 2011. Dit strookt echter niet geheel met de betere werking van ZA korrel ten opzichte van KAS. Het B concentraat dat is toegediend met de zodebemester werkte wel beter dan het B concentraat toegediend met de proefveldmachine. Zoals is aangegeven, is het B-concentraat bij gebruik van de zodebemester 1:1 verdund met water en heeft dit extra water de werking bevorderd. Het lijkt er op dat de N NH_4 vorm onder de omstandigheden van 2011 een betere werking gaf, maar hiervoor is geen duidelijke verklaring.

4.4 Jaareffect en droogte

Uit de vorige paragraaf bleek, dat de spreiding toeneemt bij een toename van het aantal verschillende concentraten dat getoetst wordt, maar ook bij toename van het aantal proefjaren. De weersomstandigheden tijdens met name de groeiduur van de eerste snede waren in 2009 en 2010 redelijk vergelijkbaar. Daarna waren er wel verschillen, maar niet zo groot. Toch was er al verschil in werking tussen deze twee jaren (spreiding 47-78 %). Blijkbaar geven op het oog kleine verschillen in weersomstandigheden, maar ook in bodemomstandigheden (locatie op zand was in 2009 anders dan in 2010, op klei was deze wel erg goed vergelijkbaar). Deze effecten zijn van meer invloed op de droge stofopbrengst dan op de N opbrengst (er is geen significant verschil in bodemtype aangetoond op de werking op basis van N opbrengst).

De spreiding werd sterk vergroot door de resultaten van 2011. Het voorjaar van 2011 was erg droog. Het lijkt er op dat de objecten waaraan op enigerlei vocht is toegevoegd, bovendien ook nog eens direct bij de wortels (pers. mededeling H.C. de Boer) hier een positief effect vanuit is gegaan. Dit zou een verklaring kunnen geven voor de betere werking van de vloeibare ammoniumnitraat , maar ook voor de betere werking van het met de zodebemester toegediende concentraat. Met deze laatste toediening is nl 3,25 tot 11 m^3 water direct bij de wortels gebracht.

4.5 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.

4.6 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 P.A.I. Ehlert (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.

4.7 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.

4.8 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.

4.9 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.

Daarnaast is nog de N vorm. In KAS en Ammoniumnitraat als NH_4 en NO_3 in de mineralenconcentraten alleen als NH_4. De vergelijking met een 100% ammoniummeststof is in 2011 herhaald met ZA, omdat Ammoniumchloride mogelijk een nadelig effect heeft gehad op de grasgroei, vanwege het hoge chloorgehalte. Opvallend was dat ondanks de droogte, ZA maar ook de mineralenconcentraten het beter deden dan KAS in het laatste proefjaar (2011). Door de droogte zou een nitraatmeststof het mogelijk beter doen, omdat er bij droogte weinig uitspoelt. Echter ook de vloeibare ammoniumnitraat deed het beter dan KAS, mat dat kan ook veroorzaakt zijn door zowel de

vorm (vloeibaar, dus extra vocht) en de gebruikte machine. De uitkomsten van 2011 hebben nog niet voldoende aangetoond of de vorm (van zowel de meststof; ammonium versus nitraat als vloeibaar versus vast).

De werking is in het laatste jaar beter dan in voorgaande jaren en er lijkt een trend te zijn naar een betere werking. Er zijn echter veel factoren die dit hebben kunnen beïnvloeden: het weer, de gebruikte concentraten. In 2011 is alleen het B concentraat gebruikt. In de potproef was de werking van dit concentraat ook beter dan van de anderen. Hoewel voortgang in techniek het resultaat zou hebben kunnen verbeterd, is de verhouding N mineraal – N organisch, dan wel de totale samenstelling weinig veranderd in de jaren.

4.10 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.
Het gebruik van mineralenconcentraat leidt in elk geval niet tot (potentieel) meer uitspoeling. Dit lijkt consistent over alle drie proefjaren.
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. In deze proef zijn echter geen emissiemetingen naar ammoniakemissie uitgevoerd.

5 Conclusies

- De N-werkingscoëfficiënten van de concentraten zijn ten opzichte van de referentie meststof KAS lager dan verwacht, vooral in 2009 en 2010. De werking van vloeibaar ammoniumnitraat is ook lager dan verwacht en vergelijkbaar met die van mineralenconcentraten.

- In 2011 was de werking van KAS lager- of de werking van de andere meststoffen juist hoger, waardoor de berekende werking coëfficiënt van het mineralenconcentraat in dat jaar veel hoger uitkwam (ongeveer 90%) dan in de twee voorgaande jaren (2009, 2010). Er is nog geen bewijs gevonden dat de combinatie ammonium-nitraat ten opzichte van alleen ammonium (in het concentraat) de mindere werking heeft veroorzaakt, omdat de 100% ammoniummeststof ZA in 2011 (ook) een betere werking dan KAS liet zien.

- Snijwerking blijkt geen oorzaak te zijn voor de lage N-werking van mineralenconcentraten.

- 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. In 2011 lijken de vloeibare meststoffen in het voordeel te zijn door een droge periode.

- De N-werkingscoëfficiënten van de mineralenconcentraten op basis van de N-opbrengst en met KAS als referentiemeststof variëren tussen 47 % en 91 %. Gemiddeld is de N-werkingscoëfficiënt van de mineralenconcentraten ten opzichte van KAS 65 %.

- De N-werkingscoëfficiënten van de mineralenconcentraten op basis van de N-opbrengst en met vloeibare ammoniumnitraat als referentie variëren tussen 74 % en 113 %. Gemiddeld is de N-werkingscoëfficiënt van de mineralenconcentraten ten opzichte van vloeibaar ammoniumnitraat 92 %.

- De N-werkingscoëfficiënten van vloeibaar ammoniumnitraat op basis van de N-opbrengst en met KAS als referentie is gemiddeld 73 %.

- Er is geen verschil in N mineraal (ophoping) in de bodem tussen de verschillende gebruikte meststoffen aangetroffen in het najaar. Het is niet bekend waar de N uit de concentraten gebleven is nu deze in het najaar niet als N min in de bodem is aangetroffen. Mogelijk is er toch emissie opgetreden al dan niet in combinatie met denitrificatie of is de N organisch gebonden. Deze metingen zijn echter niet binnen deze proef uitgevoerd. Het gebruik van mineralenconcentraten leidt, gezien de gevonden waarden in het najaar, niet tot meer uitspoeling van nitraat in de winter.

- Er is eerder minder nawerking uit de mineralenconcentraten in (onbemeste) vervolgsneden te verwachten ten opzichte van KAS dan meer nawerking

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 nummer 1364.

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 Buisonjé F.E., Ehlert P.A.I., Horrevorts J.H., 2011. Monitoring pilots mineralenconcentraten uit dierlijke mest. Rapport 2224 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	Snede 1	Snede 2	Snede 3
Aver Heino	2009	23 maart	6 mei	10 juni
Aver Heino	2010	31 maart	10 mei	8 juni
Aver Heino	2011	1 april	4 mei	10 juni
Waiboerhoeve	2009	24 maart	8 mei	11 juni
Waiboerhoeve	2010	30 maart	11 mei	9 juni

Bijlage 2

Tabel 30 Gemeten droge stofopbrengst (kg ds/ha) op jaarbasis (5 sneden) van objecten bemest in eerste snede

	N-niveau			
grondsoort/Jaar/meststof	0	100	200	300
Zand				
2009				
KAS	5828	7882	8771	9924
AMMnitr	5539	7095	7911	9199
A conc	5539	6121	7548	8411
C conc	5539	6308	7507	8120
D conc	5539	7177	7770	8613
2010				
KAS	8057	9747	12723	15341
AMMnitr	7830	9827	11293	12268
A conc	7830	10047	10727	11100
B conc	7830	10130	10435	11878
E conc	7830	9064	10282	11043
2011				
KAS	7167	9960	10501	11926
AMMnitr	7642	8380	9380	11281
B proefveldmach	7642	9262	10807	10224
B zodebemester	7642	8363	9634	11477
Klei				
2009				
KAS	7042	9358	10931	12639
AMMnitr	7135	8203	9896	10748
A conc	7135	8053	9209	10223
C conc	7135	8014	8736	9212
D conc	7135	7908	8761	
2010				
KAS	8119	10648	11977	12808
AMMnitr	7747	10239	11890	13408
A conc	7747	9789	10390	11517
B conc	7747	9649	11047	12018
E conc	7747	9130	10392	11337

Tabel 31 Gemeten droge stof opbrengst (kg ds/ha) op jaarbasis (5 sneden) van objecten bemest in eerste en tweede snede

	N-niveau			
grondsoort/Jaar/meststof	0	100	200	300
zand				
2009				
KAS	5828	6077	7567	7225
AMMnitr	5644	6074	6476	6617
A conc	5644	6206	5964	6969
C conc	5644	5583	6338	7242
D conc	5644	6465	6831	6906
2010				
KAS	8057	9561	10106	10534
AMMnitr	8130	9304	10099	9875
A conc	8130	8828	10072	9882
B conc	8130	8615	9423	12508
E conc	8130	8553	9548	9418
2011				
KAS	7167	10279	9546	9463
B proefveldmach	7016	8167	8678	9856
B zodebemester	8064	8522	9094	9605
Klei				
2009				
KAS	7042	8490	9207	9574
AMMnitr	7172	7624	8351	8945
A conc	7172	7721	7738	9227
C conc.	7172	6934	8203	8846
D conc.	7172	7256	7646	
2010				
KAS	8119	9912	9986	10507
AMMnitr	8081	8610	9770	11192
A conc	8081	9550	9563	10282
B conc	8081	8766	9494	10534
E conc	8081	9230	10245	9545

Tabel 32 Gemeten stikstofopbrengst (kg N/ha) op jaarbasis (5 sneden) van objecten bemest in eerste snede

	N-niveau			
grondsoort/Jaar/meststof	0	100	200	300
Zand				
2009				
KAS	113	116	168	163
AMMnitr	110	118	127	135
A conc	110	121	117	147
C conc	110	109	127	150
D conc	110	126	138	147
2010				
KAS	171	211	233	262
AMMnitr	182	216	240	238
A conc	182	196	228	237
B conc	182	184	222	326
E conc	182	187	219	238
2011				
KAS	162	267	237	240
B preofveldmachine	155	209	207	253
B zodebemester	179	201	223	243
Klei				
2009				
KAS	131	157	188	204
AMMnitr	132	139	160	179
A conc	132	147	145	185
C conc	132	126	150	175
D conc	132	137	143	
2010				
KAS	165	213	221	252
AMMnitr	168	189	219	276
A conc	168	202	215	239
B conc	168	182	214	236
E conc	168	201	220	228

Tabel 33 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				
KAS	113	163	193	242
AMMnitr	108	141	159	196
A conc	108	115	144	170
C conc	108	121	153	167
D conc	108	139	153	175
2010				
KAS	171	219	320	408
AMMnitr	166	219	277	337
A conc	166	227	252	278
B conc	166	228	252	326
E conc	166	201	235	274
2011				
KAS	162	245	286	313
AMMnitr	178	197	243	296
B proefveldmachine	178	218	269	265
B zodebemester	165	209	239	314
Klei				
2009				
KAS	131	183	221	298
AMMnitr	133	150	196	222
A conc	133	156	172	204
C conc	133	146	165	174
D conc	133	148	159	
2010				
KAS	165	239	294	341
AMMnitr	158	231	297	353
A conc	158	213	233	275
B conc	158	203	249	282
E conc	158	191	228	269

Bijlage 3

Tabel 34 N min bodemlagen 0-30, 30-60, 60-90 en totaal 0-90 op zand en klei in de jaren 2009-2011 bij een N niveau van 100 en 200 kg N/ha

N niveau		100 N				200 N			
	Meststof/Laag	0-30	30-60	60-90	0-90	0-30	30-60	60-90	0-90
2009 AH zand	A	78,3	21,6	0	99,9	24,3	25,2	16,8	66
	AMMnitr	17,7	47,1	18,9	83,4	18	14,1	20,1	51,9
	C	36	42,3	15,6	93,9	35,1	39,3	20,7	95,1
	D	61,8	18	0	79,8	36,3	17,7	39,6	93,6
	KAS	22,5	12,9	0	35,4	32,7	35,1	41,7	109,5
2010 AH zand	A	80,7	47,4	5,7	133,8	86,1	64,8	10,8	161,7
	A_zuur	73,2	90,6	5,4	169,2	106,2	48,3	5,1	159,3
	AMMCl	79,2	53,1	6,6	138,6	66,3	81,3	50,1	197,7
	AMMnitr	70,2	78,9	22,5	171,6	85,2	39,6	25,2	150
	B	72	69	7,5	148,5	82,2	71,7	16,8	170,4
	E	78,3	67,8	14,4	160,2	69,6	39,9	6,6	115,8
	KAS	91,2	45,9	27,3	164,1	67,2	82,8	15,3	165,3
	KAS_snij	71,7	63,6	14,1	149,1	83,7	47,1	7,5	138
2010 WBH klei	A	66,3	21,3	10,8	98,1	80,4	25,8	8,7	114,9
	A_zuur	77,1	23,4	9,9	110,1	71,7	21,3	9,3	102
	AMMCl	60,6	42,9	17,4	120,9	54,6	20,4	24	99
	AMMnitr	76,2	17,7	9,9	103,8	90,3	56,1	13,5	159,9
	B	71,4	22,5	10,2	104,1	73,2	19,2	9,6	101,7
	E	98,4	43,8	13,5	155,4	92,1	27,6	7,2	126,9
	KAS	102,9	33,6	10,8	147	89,1	25,2	9	123
	KAS_snij	76,8	33,3	19,8	129,9	74,7	28,5	12,3	115,5
2011 AH zand	AMMnitr	39,6	45	12,9	97,2	80,4	52,5	19,5	152,1
	B proefv mach	45,3	36	7,8	89,1	44,1	47,4	24,3	115,5
	KAS	70,8	50,4	19,5	140,4	56,4	41,4	29,1	126,9
	ZA_vl	53,4	37,2	18,9	109,2	40,2	33,3	8,4	81,9



Wageningen UR Livestock Research

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

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