

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 769

Stikstofwerking van mineralenconcentraten op grasland

Veldproeven 2012 en overall analyse

Maart 2014



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, 2014

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 – 2012 field experiments on grassland took place to determine the N fertilizer replacement value of mineral concentrates.

Keywords

Mineral concentrates, grassland, N fertilizer replacement value, fertilization

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)

G. Holshof
J.C. van Middelkoop

Titel

Stikstofwerking van mineralenconcentraten op grasland

Rapport 769

Samenvatting

Mineral concentrates, grassland, N fertilizer replacement value, fertilization

Trefwoorden

Mineralenconcentraten, grasland, N-werkingscoëfficiënt, bemesting

Rapport 769

Stikstofwerking van mineralenconcentraten op grasland

N fertilizer replacement value of mineral concentrates on grassland

G. Holshof
J.C. van Middelkoop

Maart 2014

Voorwoord

Dit rapport geeft een beschrijving van de resultaten van een veldproef op grasland met mineralenconcentraten. De proef is uitgevoerd in 2012. In een eerder rapport zijn de resultaten van de zelfde proef uit jaren 2009 t/m 2011 beschreven.

Met de resultaten uit eerdere proefjaren en uit 2012 is een algemene N-werkingscoëfficiënt voor mineralenconcentraat gegeven.

In 2012/2013 is ook gekeken naar de kwaliteit van het bovenste grondwater. Wij willen hierbij Falentijn Assinck bedanken voor het werk dat hij heeft verricht voor het verzamelen van de monsters, de chemische analyse en de verwerking van de resultaten.

Voor de proef is een speciaal apparaat gebouwd om de concentraten toe te dienen door Jan van Lenthe van PPO. 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 ($2\text{-}40\text{ m}^3$) toe te dienen.

Ferdi van der Kolk van Aver Heino die voor ons contact heeft onderhouden met de proefveldhouders Roelofs, Wijnhout en Lugtenberg en de proeven aldaar heeft uitgevoerd.

Pierre Bakker van PPO heeft de proef in Lelystad gecoördineerd.

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, which 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 and the ministry of Infrastructure and Environment have examined in 2009-2012 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 are included. Every producer manages an installation that produces mineral concentrate. The data retrieved from the research also serve the compilation of technical dossiers of the concentrate.

In the reports Velthof et al. (2011) and van Middelkoop and Holshof (2011,2012), the results of former experimental years, 2009-2011 were reported. In this report the results of the complementary field experiment on grassland (sand) are reported, as well as the total analysis of the experimental years 2009-2012 of the grassland experiments.

The research was financed by the Dairy Board, the Livestock and Meat Board, and the ministry of Economic Affairs. The control of the research and related business in the pilot was taken by the ministry of Economic Affairs, Agricultural and Horticultural Organisation (LTO) and the Dutch Pigfarmers Union (NVV).

Objective of the research

In the Netherlands animal manure is commonly applied as slurry, a mixture of urine and faeces. The nitrogen (N) is divided over mineral N (ammonium) and organic N. 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 replacement value in the year of application.

After processing of the manure by separation followed by reversed osmosis N in mineral concentrates is for the greatest part 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 replacement value if the ammonia volatilization is higher than in case of liquid fertilizers. On average the fertilizer replacement value without ammonia volatilization is 94 %. By ammonia loss the calculated fertilizer replacement value will vary from 76 % to 90 % on arable land and from 67 % to 81 % on grassland with disc injection." The variation is caused by the used machinery and application technique (and the related ammonia volatilization). In this experiment it will be tested if the indicated N fertilizer replacement value will be reached in the field on grassland.

Objectives

- Determination of the N fertilizer replacement value of mineral concentrates (MC) on grassland on sandy soil in 2012, compared with the reference fertilizer calcium ammonium nitrate (CAN).
- Determination of the average N fertilizer replacement value of MC on sandy and clay soil over the whole experimental period 2009-2012, compared with the reference fertilizer CAN.
- Determination of the amount of mineral N in the soil in autumn after the application of MC.
- Determination of the amount of nitrate N in the upper groundwater in spring, the year after the application of mineral concentrate and reference fertilizers.

Material and method

In spring 2012 two experimental fields on permanent grassland on sand, near experimental farm Aver Heino, were situated. Objective was to determine the N fertilizer replacement value of mineral concentrates (MC) on grassland on sandy soil, compared to the reference fertilizer calcium ammonium nitrate (CAN). There was also an object with a basic application of dairy cattle slurry, supplemented with CAN. The experimental fields were situated on a relative dry and a relative wet location. The focus of the 2012 experiment was to determine the residual effects of nitrogen in the soil and the top ground water.

To determine N fertilizer replacement values of (organic) fertilizers usually one level of N fertilization of a reference fertilizer and of a fertilizer that is to be tested, is applied. The level is 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 range for both fertilizers. To determine the crop response objects without N fertilization are included to determine the field production without N fertilization. However, more N levels are preferred for accurate determination of the fertilizer replacement value.

On the experimental fields three N levels were applied: 100, 200 and 300 kg N per ha per year, divided over the first, second and third cut. Besides the fertilized objects, two objects without N fertilization were included. They were cut zero or three times with the machine that was used to apply the liquid fertilizers (including the mineral concentrates). The treatment with cutting of the sod was included to determine if the damage in the grass would be reflected in the yield. When the damage in the crop would influence the yield negatively, the fertilizer replacement value of liquid fertilizer would be lower compared to no cutting.

In 2012 an extra object was added (like in 2011) to determine the fertilizer replacement value of a 100% ammonium fertilizer: ammonium sulphate (AS). This object was in 2012 only tested on the relative wet sandy soil.

The MC was also compared with a 'normal' dairy slurry object, supplemented with CAN. In spring, 20 m³/ha of slurry was applied, supplemented (with CAN) to the level of the CAN objects, taking the N fertilizer replacement value of the slurry into account. Before the second and third cut, 15 m³/ha of slurry was applied and also supplemented with CAN to the level of the CAN objects in cut 2 and 3. Of all objects five cuts were harvested.

At the end of the growing season the mineral N in the soil in 0-30, 30-60 and 60-90 cm below surface was analysed. In spring of 2013 samples of the top groundwater were taken and the N content was analysed.

The dry matter and N yields of the cuts are added up to yields for the whole year (annual yield). 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 from the planned fertilization.

The results are statistically analysed with the method residual maximum likelihood (REML). REML fits a model to the data. The model is fitted with the actual applied N.

With the model it is determined which factors had significant influence on the grass yield. Dry matter yields and N yields were calculated with the model at the planned N fertilizations 0, 100, 200 and 300 kg N per ha. The yields were used to calculate N fertilizer replacement values. The yields with 0 N fertilization with and without cutting were compared. If those two differed significantly, two yields would be used at 0 N fertilization: one for liquid fertilizers and one for CAN. If those two differed not significantly, the same yield at 0 N would be used for all fertilizers. The results of the soil N and the N content in the top soil groundwater were also statistically analysed using REML.

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 applies for both 2012 on both locations and for the total period 2009-2012. The dry matter and N yield on the cut objects or not cut object (without N fertilization), are not significantly different in all the experimental years. The cutting of the application machine causes no lower yield. In the calculation of the N fertilizer replacement value for all fertilizers the same yield at 0 kg N is used.

The N fertilizer replacement values are calculated based on dry matter yield and on N yield, averaged over 100, 200 and 300 kg N per ha fertilization. The N fertilizer replacement value based on N yield is, however, more correct than based on dry matter yield because the protein content and therefore the N content is important for the value of grass for livestock feeding.

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

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

The N fertilizer replacement value by:

$$\text{ANR of tested fertilizer} / \text{ANR of reference fertilizer} = \text{N fertilizer replacement value}$$

The N fertilizer replacement values of concentrates with CAN as reference (based on the N yield and ANR) are lower than expected. In 2012 the calculated N fertilizer replacement value is 82% (on both the wet- and dry location). With liquid ammonium nitrate as reference, it is 83%. Averaged over all four years and mineral concentrates, the N fertilizer replacement value with CAN as reference, is 58% **on clay** (two years) and 75% **on sand**. This varies between years from 51 % to 81 %. The calculated N fertilizer replacement values with reference of liquid ammonium nitrate is on average 89 % on clay and 93% on sand. It varies between years from 74 % to 113 %. The fertilizer replacement value of the mineral concentrates approaches the fertilizer replacement value of the liquid ammonium nitrate.

The fertilizer replacement value of the slurry+CAN is 76% in 2012 (in reference to CAN) and lower than expected. Apparently the N in slurry was less effective than the standards. There is no explanation for the lower value.

The 100% ammonium fertilizer (AS) has a lower N fertilizer replacement value than CAN (83%) in 2012, but also lower than liquid ammonium nitrate (LAN, 93%). The fertilization replacement value of the MC with AS as reference is 88%.

The N fertilizer replacement values in the different years are presented in table S1.

Table S1 Nitrogen Fertilizer Replacement Value (% , compared to CAN and liquid ammonium nitrate LAN) of mineral concentrate (MC) in experiments on grassland. Results of 2009-2012.

Soil type	Year	Reference fertilizer: CAN		Reference fertilizer: LAN	
		LAN	MC	CAN	MC
Clay+sand	2009	63	54	159	86
Clay+sand	2010	69	71	144	102
Sand	2011	102	80	98	79
Sand	2012	98	81	103	83

No higher nitrate contents in the soil nor in the upper groundwater are found on the mineral concentrate objects than on objects fertilized with another fertilizer.

Discussion

Cutting the sod appears to have had no (negative) influence on the yield. Cutting is no cause for the low N fertilizer replacement value of mineral concentrates. No lower (or higher) yield is found on the cut and not cut objects without fertilizer, neither on fertilized cut and not cut objects in 2010 and 2011.

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. It is not clear where the N that is not taken up by plants, ends up.

In 2012 there was no higher N content in the upper groundwater on the MC plots. This indicates that there is no higher leaching of N on the MC objects compared to the CAN objects.

The N fertilizer replacement value of mineral concentrates approaches the N fertilizer replacement value of ammonium nitrate. The N in these liquid fertilizer appears to have a lower efficiency than the N from CAN.

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 granules over the grass and liquid ammonium nitrate as a liquid in slits with 18 cm in between.

Part of the difference in yield and the lower fertilizer replacement value seems to be caused by the fact that concentrates are liquid and are divided spatially differently than granulated fertilizers.

Application of liquid fertilizers often result in a lower yield on grassland than application of granulated 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 a distance between the coulters can cause a low utilization. In the field this was not visually observed but small differences can only be observed by accurate yield assessment.

In CAN the nitrogen is there as ammonium-N and nitrate-N, but in MC only as ammonium-N. This might be a reason for the lower fertilizer replacement value of the MC, however the results of the AS (100% ammonium-N fertilizer) are different in 2011 and 2012. In 2011 the ZA (but also the LAN) had a higher N uptake than CAN, but in 2012 CAN had the highest N uptake.

Conclusion

2012

In 2012 the fertilizer replacement value of the mineral concentrate is 81% with CAN as reference fertilizer and 83% with LAN as reference fertilizer (based on N yield). There is no difference in fertilizer replacement value on a wet or on a dry sandy soil.

With the (limited) results of using liquid ammonium sulphate, (100% ammonium-N) on a wet sandy soil, this fertilizer seems to have a lower N efficiency than CAN (and even lower than LAN). This might be part of the explanation of the lower fertilizer replacement value of the MC because MC also contains almost all N as ammonium-N.

The use of a MC did not lead to higher nitrate values in the soil or in the upper groundwater than the use of CAN.

Overall

The mean calculated N fertilizer replacement value of the mineral concentrates with CAN as reference fertilizer over all the years (2009-2012) and all types of mineral concentrates is 58 % on clay and 75% on sand. It varies between years from 54% to 81%.

The mean calculated N fertilizer replacement value of the mineral concentrates with liquid ammonium nitrate (LAN) as reference fertilizer over four years and all types of mineral concentrates is 92 % on clay and 89% on sand. It varies between years and types of mineral concentrate from 79 % to 102 %. The N fertilizer replacement value of mineral concentrates approaches the N fertilizer replacement value of liquid ammonium nitrate. Compared to CAN as a reference, there is less difference between the soil types.

Cutting the sod has no significant influence on the yield in the experimental years. Therefore it is not likely that the lower fertilizer replacement value of the MC might be explained by cutting of the sod.

The liquid form of the fertilizer might play a role in the lower fertilizer replacement value. The mean calculated N fertilizer replacement value of liquid ammonium nitrate with CAN as reference fertilizer based on N yield is 76 %. Possibly this is an effect of a more equal spreading of the CAN fertilizer.

There is no evidence that the form of N (ammonium versus nitrate, liquid versus solid) is responsible for the difference in fertilizer replacement value. In 2011 the liquid AN and AS had a higher N efficiency than CAN, whereas in the previous years 2009 and 2010 and in the last year 2012 the effect was reversed.

The mineral-N levels in the soil in the autumn shows no differences at the used fertilizers, while actually a higher soil N mineral would have been expected at the plots fertilized with mineral

concentrates. Within this experiment it is not yet clear where the residual N remained. Volatile losses might play a role but NH_3 volatilization is not measured.

The use of mineral concentrate does not cause an increased risk of nitrate leaching in winter because there is no difference in N content of the upper groundwater in spring of the following year between the CAN and the MC objects.

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 en het ministerie van Infrastructuur en Milieu hebben gedurende de periode 2009-2012, 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 mineralenkringen 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 namen acht producenten deel. Elke producent beheert een installatie waarmee mineralenconcentraat wordt geproduceerd. De gegevens uit het onderzoek dienen ook voor het opstellen van technische dossiers van het concentraat.

In de volgende rapporten (Velthof, 2011, van Middelkoop en Holshof, 2011, 2012) zijn de resultaten van de eerdere proefjaren 2009-2011 beschreven. In dit rapport zijn de resultaten van de aanvullende veldproef op grasland (zandgrond) beschreven, alsmede de totale analyse van de proefjaren 2009-2012 van de proeven op grasland.

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

Doel van het onderzoek

In Nederland wordt mest meestal toegediend in de vorm van dunne mest, een mengsel van urine en faeces. De stikstof (N) is verdeeld over minerale N in de vorm van ammonium en organische N. In varkensmest is die verdeling ongeveer 40 % organisch en 60 % mineraal en in rundmest 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 lagere werkingscoëfficiënt heeft indien de ammoniak vervluchtiging hoger is dan die bij vloeibare kunstmeststoffen. De theoretische werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten bedraagt volgens Ehlert en Hoeksma (2011) 76-90% op bouwland en 67-81% op grasland, waarbij spreiding wordt veroorzaakt door verschillen in toedieningstechniek (en daaraan gepaarde ammoniakemissie).” In het in dit rapport beschreven veldonderzoek wordt de N-werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten op grasland bepaald.

Doel van het onderzoek

- Vaststelling van de stikstofwerkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten in grasland op zandgrond (2012) ten opzichte van de referentie meststof kalkammonsalpeter (KAS).
- Vaststelling van de gemiddelde stikstofwerkingscoëfficiënt van alle mineralenconcentraten op zandgrond en kleigrond over de hele proefperiode 2009-2012 ten opzichte van de referentie meststof KAS.
- Bepaling van de hoeveelheid minerale N in de bodem in het najaar.
- Bepaling van de hoeveelheid nitraat (N) in het bovenste grondwater in het voorjaar volgend op het jaar van toediening

Materiaal en methode

In het voorjaar van 2012 zijn 2 proefvelden aangelegd ter bepaling van de werking van het mineralenconcentraat (MC) met als referentiemeststoffen KAS en vloeibare ammoniumnitraat (AN). Tevens is de werking vergeleken met runderdrijfmest (RDM; basisgift) aangevuld met KAS.

De proef is aangelegd op een relatief droge en een relatief natte zandgrond, met als extra doel het bepalen van (verschillen in) de hoeveelheid N mineraal die in het najaar achterblijft in de bodem, bij gebruik van de verschillende meststoffen en bepaling van de hoeveelheid N (nitraat) die in de winter uitspoelt en in het bovenste grondwater terecht komt.

Voor het uitrijden van de concentraten is op het proefbedrijf van PPO-AGV in Lelystad begin 2009 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. De drijfmest is toegediend met een praktijk-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 drie N-niveaus aangelegd voor alle meststoffen: 100, 200 en 300 kg N per ha per jaar, verdeeld over 3 sneden. Naast deze met N bemeste objecten zijn twee objecten zonder N-bemesting aangelegd die wel of niet 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.

Als extra object is in 2012 (net als in 2011) gekeken naar de werking van een 100% ammonium-meststof (vloeibaar) in de vorm van vloeibare zwavelzure ammoniak (ZA). Deze meststof is in 2012 alleen op de relatief natte zandgrond getoetst. Ook is in 2012 de werking van het MC afgezet tegen de werking van runderdrijfmest (RDM) in combinatie met KAS. Voor snede 1 is 20 m³ RDM toegediend, aangevuld tot het gewenste niveau met KAS, daarbij rekening houdend met de theoretische werking van de N uit drijfmest. Voor snede twee en drie is steeds 15 m³ RDM, aangevuld met KAS toegediend.

Totaal zijn er op alle objecten vijf sneden geoogst.

Aan het eind van groeiseizoen is minerale N in de bodem in 0-30, 30-60 en 60-90 cm onder maaiveld bepaald en in het voorjaar (2013) de hoeveelheid N in het bovenste grondwater.

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 (opbrengst) 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. De resultaten van de bodem N en de N in het bovenste grondwater zijn ook geanalyseerd met REML.

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 2012 op beide locaties en in de eerdere jaren in 2009 en 2010. In 2011 was de werking van de vloeibare meststof AN hoger dan die van KAS, maar ook de werking van het MC was hoger dan in de andere jaren.

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. Dit blijkt uit de gegevens van alle proefjaren 2009-2012. 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:

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

De N-werkingscoëfficiënt wordt vervolgens berekend door:

$$\text{ANR van te onderzoeken meststof} / \text{ANR van referentie meststof} = \text{N werkingscoëfficiënt}$$

In 2012 was de werkingscoëfficiënt van het mineralenconcentraat op basis van N-opbrengst 81% ten opzichte van KAS en 83% ten opzichte van vloeibare ammoniumnitraat (op zowel droog- als nat zand). De gemiddelde N-werkingscoëfficiënt ten opzichte van KAS is 58% **op klei** (2009 en 2010) en 75% **op zand** (2009 – 2012). De berekende N-werkingscoëfficiënt ten opzichte van vloeibaar ammoniumnitraat is gemiddeld 89 % op klei en 93% op zand. De variatie tussen jaren en mineralenconcentraten liep van 74 % tot 113 %. De werking van de concentraten benadert dus de werking van de vloeibare ammoniumnitraat.

De werking van de RDM+KAS was in 2012 met 76% t.o.v. KAS minder dan verwacht. De werking van alleen de RDM is berekend op 59%. Mogelijk was de werkelijke werking van de drijfmest toch lager dan de werkingscoëfficiënten uit de Adviesbasis Bemesting.

De 100% ammoniummeststof zwavelzure ammoniak (ZA) werkte minder dan KAS (83% werking op basis van N opbrengst), maar ook minder (93%) dan vloeibare ammoniumnitraat. De werkingscoëfficiënt van het MC t.o.v. ZA bedroeg 88%.

De berekende N-werkingscoëfficiënten voor de verschillende jaren staan in de volgende tabel S2.

Tabel S2 Stikstofwerkingscoëfficiënt (%), op basis N opbrengst en t.o.v. van KAS en vloeibaar ammoniumnitraat (AN) van mineralenconcentraat (MC) in de verschillende proeven. Resultaten afzonderlijke jaren 2009-2012.

Grondsoort	Jaar	Referentie meststof: KAS (KAS=100%)		Referentie Meststof: AN (AN=100%)	
		AN	MC	KAS	MC
Klei+zand	2009	63	54	159	86
Klei+zand	2010	69	71	144	102
Zand	2011	102	80	98	79
Zand	2012	98	81	103	83

Het gebruik van mineralenconcentraat leidde niet tot hogere uitspoeling van nitraat. Zowel de N-min gehalten in de bodem in het najaar, als de nitraatgehalten van het bovenste grondwater in het voorjaar volgend op het jaar van gebruik, waren bij de MC' objecten gelijk aan de KAS en AN objecten. Ook in eerdere jaren was er geen effect van meststoftype op N-min gehalten in de bodem.

Discussie

Snijwerking had geen (negatieve) invloed op de opbrengst, zowel met (zie ook de vergelijking in opbrengst van KAS objecten die al dan niet gesneden zijn; Middelkoop & Holshof 2011 & 2012) als zonder N-bemesting. Het is daarom niet aannemelijk dat snijden de oorzaak is van de lage N-werking van mineralenconcentraten.

Het N-mineraalgehalte in de bodem in het najaar is vergelijkbaar tussen mineralenconcentraten en KAS. Daarnaast is ook geen hoger nitraatgehalte gevonden in het bovenste grondwater. De lagere N-werking van MC leidde dus niet tot een hogere Nmin-gehalte in de bodem in het najaar en uitspoeling in de winter. Het is niet duidelijk waar de niet werkzame N is gebleven. Daarnaast is ook geen hoger N gehalte gevonden in het bovenste grondwater. Er lijkt dus ook tijdens de winterperiode niet meer afbraak/uitspoeling van de N uit het MC (waarvan geen werking is vastgesteld), plaats te vinden dan van de andere gebruikte meststoffen.

De N uit mineralenconcentraten blijkt iets minder goed te werken als de N uit ammoniumnitraat. De N uit deze vloeibare meststoffen blijkt slechter te werken dan de N uit KAS.

In vloeibaar ammoniumnitraat is de N gelijk verdeeld over ammonium en nitraat als in KAS (50%-50%). Het verschil tussen deze twee meststoffen is dat KAS in korrels wordt verdeeld over het gras en vloeibaar ammoniumnitraat als vloeistof in sleuven met 18 cm tussenruimte op het gras wordt gegeven.

Het verschil in opbrengst en daarmee de lage werkingscoëfficiënt lijkt te worden veroorzaakt door het feit dat concentraten vloeibaar zijn en ruimtelijk anders worden verdeeld dan korrelmeststoffen.

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, maar is ook niet uit te sluiten. In 2011 en 2012 is een zuivere ammoniummeststof (ZA) ter vergelijking opgenomen en deze gaf in 2011 een hogere werking dan KAS, maar ook de AN werkte dat jaar beter dan KAS. In 2012 was de werking van ZA echter lager dan die van KAS, maar ook lager dan de werking van AN. Dit geeft aan dat de N-vorm een effect kan hebben op de werkingscoëfficiënt, mogelijk in samenhang met vochtgehalte van de bodem.

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 alleen waargenomen worden door nauwkeurige opbrengstbepalingen.

Conclusie

2012

In 2012 was de werking van MC 81% ten opzichte van KAS en 83% ten opzichte van vloeibare AN (op basis van N opbrengst).

Op basis van N opbrengst is geen verschil in werking op natte- of droge zandgrond.

Met de (beperkte) proefgegevens van het gebruik van vloeibare ZA op het natte perceel in 2012 lijkt dat een 100% NH₄-N meststof iets minder te werken dan KAS (en AN). De N vorm kan dus een verklaring zijn voor de mindere werking van het MC.

Toepassing MC heeft niet geleid tot meer nitraatuitspoeling naar grondwater ten opzichte van KAS.

De werking van de RDM was 59% van de werking van KAS. Dit . Blijkbaar was de werking van de drijfmest lager dan vooraf was ingeschat op basis van de werkingscoëfficiënten uit de Adviesbasis Bemesting.

Overall

Gemiddeld is de N-werkingscoëfficiënt van de mineralenconcentraten ten opzichte van KAS 75 % op zand en 58% op klei . De N-werkingscoëfficiënten van de mineralenconcentraten op basis van de N-opbrengst en met KAS als referentiemeststof variëren tussen 54 % en 81 % (op basis van alle proefgegevens van de jaren 2009-2012).

Gemiddeld is de N-werkingscoëfficiënt van de mineralenconcentraten ten opzichte van vloeibaar ammoniumnitraat 89 % en zand en 92 % op klei. Bij deze vergelijking is dus weinig verschil tussen de grondsoorten. De N-werkingscoëfficiënten van de mineralenconcentraten op basis van de N-opbrengst en met vloeibare ammoniumnitraat als referentie variëren tussen 79 % en 102 %.

Snijwerking van de machine bleek geen invloed te hebben op de opbrengst en lijkt 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. De berekende N-werkingscoëfficiënt van vloeibaar ammoniumnitraat ten opzichte van KAS op basis van N-opbrengst is gemiddeld 76 %. Dit zou samen kunnen hangen met de ruimtelijke verdeling van de N-bemesting. Alleen in 2011 lijken de vloeibare meststoffen in het voordeel te zijn door een droge periode.

Er is een verschil in werking van het MC op zand- en kleigrond, maar de werking op een natte zandgrond is gelijk aan de werking op een droge zandgrond (proefresultaten 2012)

De metingen van N-min in de bodem in het najaar en nitraat in het grondwater laten zien dat toepassing van mineralenconcentraten niet leidt tot meer uitspoeling dan KAS. De lagere N-werking van MC leidde dus niet tot een hogere nitraatuitspoeling. Het is niet duidelijk waar de niet werkzame N is gebleven. Er zijn echter geen metingen verricht naar NH₃ vervluchtiging en denitrificatie.

De vorm van de N (ammonium versus nitraat, vloeibaar versus vast) geeft geen uitsluitsel over de mindere werking. In 2011 werkten de gebruikte vloeibare meststoffen AN en ZA beter dan KAS, terwijl in de voorgaande jaren 2009 en 2010 het omgekeerde het geval was. In 2012 gaf de ammoniummeststof ZA echter een mindere werking dan AN (ZA werkte ten opzichte van AN voor slechts 83% op basis van N opbrengst).

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
1.1	Inleiding	1
1.2	Doel van het onderzoek	1
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	Grondwater	5
2.7	N-mineraal.....	7
2.8	Statistische analyse	7
3	Resultaten.....	9
3.1	Gehalten en giften van meststoffen in 2012	9
3.2	Proefveldomstandigheden	9
3.2.1	Bodemanalyse van de proefvelden	9
3.2.2	Weer tijdens toedienen en tijdens het groeiseizoen	9
3.3	Bemesting	11
3.4	Droge stofopbrengsten.....	12
3.5	N-opbrengsten	14
3.6	N-werkingscoëfficiënten op basis van droge stofopbrengsten (2012).....	16
3.7	N-werkingscoëfficiënten op basis van N-opbrengsten (2012)	18
3.8	Overall werking mineralenconcentraat op basis droge stofopbrengst en alle proefjaren	21
3.9	Overall N-werkingscoëfficiënten op basis van N-opbrengsten en alle proefjaren	23
3.10	N-mineraal in de bodem.....	25
3.10.1	N mineraal in 2012.....	25
3.10.2	N mineraal over alle proefjaren.....	26
3.11	Nitraat in grondwater.....	28
4	Discussie	31
4.1	Dosering van N	31
4.2	N-werkingscoëfficiënt op basis van droge stofopbrengst versus N-opbrengst.....	31
4.3	Spreiding in N-werkingscoëfficiënt ten opzichte van onbewerkte drijfmest	32
4.4	Jaareffect en droogte	33
4.5	Snijwerking van de machine	33
4.6	Ammoniakemissie tijdens uitrijden.....	33
4.7	Nadere analyse van de werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten	33
4.8	N mineraal in de bodem	35
4.9	Nitraatconcentratie bovenste grondwater	35
5	Conclusies	37

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 en het ministerie van Infrastructuur en Milieu hebben gedurende 2009-2012, 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 jaren 2009-2011 is een pilot project uitgevoerd, dat naar diverse aspecten van het verwerken van dierlijke mest heeft gekeken. Een onderdeel (deelproject) van dit grotere project was het bepalen van de werking (de werkingscoëfficiënt) van mineralenconcentraat (MC) op grasland. In de genoemde jaren 2009-2011 zijn hiervoor detail-veldproeven uitgevoerd, waarbij de werking van de stikstof uit mineralenconcentraat is vergeleken met de werking van andere meststoffen. Als referentie is steeds KAS gebruikt en als tweede referentie vloeibare ammonium nitraat (AN). De eerdere resultaten van de graslandproeven zijn beschreven door van Middelkoop en Holshof in het rapport "De stikstofwerking van mineralenconcentraten op grasland" (2011&2012).

Na 2011 is het onderzoek op gras met nog 1 jaar verlengd (proefjaar 2012), waar naast het directe effect van het mineralenconcentraat ook uitvoerig is gekeken naar minerale stikstof die in het najaar in de bodem achterblijft, dan wel in het volgende voorjaar in het bovenste grondwater wordt aangetroffen, een van de milieu-aspecten van het gebruik van mineralenconcentraat.

De vervolgproef in 2012 is aangelegd als veldproef op grasland op zand, waarbij gekozen is voor een relatief nat en een relatief droog perceel. De mestsoorten die in 2012 gebruikt zijn, zijn:

- KAS (kalkammonsalpeter)
- AN (vloeibare ammoniumnitraat)
- MC (mineralenconcentraat van één producent)
- RDM (rundveedrijfmest) met KAS aanvulling
- ZA (zwavelzure ammoniak, vloeibaar; alleen op zand-nat)

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 rundmest 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 in 2012 en over de gehele periode 2009-2012 op zand- en kleigrond.
- Bepaling van de hoeveelheid minerale N in de bodem in het najaar.
- Bepaling van het nitraatgehalte in het bovenste grondwater in het voorjaar (jaar na toediening)

2 Materiaal en methode

2.1 Mineralenconcentraten

De mineralenconcentraten zijn geproduceerd met ultrafiltratie (UF) of een gelijkwaardige techniek gevolgd door omgekeerde osmose (OO). De processtappen waarmee de afzonderlijke concentraten tot stand gekomen zijn is beschreven door Hoeksma et al. (2011).

In 2012 is één mineralenconcentraat gebruikt. De werking is getoetst t.o.v. KAS en vloeibare ammoniumnitraat. Daarnaast is de (gemiddelde) werking van alle eerder gebruikte (proefjaren 2009 t/m 2011) mineralenconcentraten worden bepaald, om een werking coëfficiënt voor het product mineralenconcentraat te bepalen.

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. Ter vergelijking is de analyse van alle gebruikte concentraten in de periode 2009-2012 weergegeven in 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 t/m 2012. *= mondeling doorgegeven door F. de Buissonje

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	-
B	2012 *	8.0	12.0	0.2	

2.2 Locaties

De proef in 2012 is aangelegd als maaiproef op 2 percelen zandgrond bij bedrijf Lugtenberg in de buurt van proefbedrijf Aver Heino. Er is gekozen voor 2 verschillende percelen, een relatief nat en een relatief droog perceel, omdat naast de N-werking in 2012, ook wordt gekeken naar mogelijke uitspoeling (N mineraal bodem en nitraat in het bovenste grondwater). Op de 'natte' locatie zijn de extra ZA objecten aangelegd (zie paragraaf Bemesting).

De objecten zijn geloot maar de plots zijn dubbel zo breed uitgevoerd (2 'basisveldjes' van 10x3 meter, gepaard geloot), om in het voorjaar van 2013 voldoende ruimte te hebben om de grondwatermonsters te kunnen nemen. Voor bepalen van de droge stofopbrengst is slechts steeds 1 veldje gebruikt (gedurende het groeiseizoen wel steeds het zelfde veldje). De proef is in 3 herhalingen (per perceel) aangelegd.

2.3 Bemesting

In de veldproef is de stikstofwerking van het mineralenconcentraat (vloeibaar, % N, Tabel 1) vergeleken met referentiemeststof kalkammonsalpeter (KAS, korrels, 27% N) en referentiemeststof opgeloste (vloeibare) ammoniumnitraat (wordt in dit rapport verder met de code AN weergegeven, 18% N op gewichtsbasis).

De N uit mineralenconcentraten bestaat voor 88-97% uit $\text{NH}_4\text{-N}$, KAS en AN bevatten 50% $\text{NO}_3\text{-N}$ en 50% $\text{NH}_4\text{-N}$.

Als aanvulling op de resultaten van 2011 is in 2012 nogmaals ZA op één van beide proefveldlocaties in de proef op te nemen. De vloeibare ZA is verder opgelost in water zodat het met dezelfde toedieningsmethode kon worden toegediend als de mineralenconcentraten en de AN. De gebruikte oplossing voor ZA voor de eerste snede was 2 % N, voor de tweede en derde snede 1,5 % N. De oplossing is zo gekozen dat zowel van het ZA als het AN evenveel liters oplossing per ha moesten

worden toegediend (resp 2000, 4000 en 6000 liter oplossing voor de N-trappen 1, 2 en 3). Ook de AN is verdund naar 2 % N in de eerste snede en 1,5 % in de tweede en derde snede.

In 2011 is het MC naast de toediening met de speciale proefveldmachine ook toegediend met een praktijk zodebemester, om te onderzoeken of de toedieningsmethode invloed zou hebben op de werking (zie van Middelkoop en Holshof, 2012). In 2012 is de zodebemester gebruikt om normale runderdrijfmest (RDM) toe te dienen, om de werking van het MC eveneens met deze meststof te kunnen vergelijken.

Samengevat zijn in 2012 de volgende objecten aangelegd:

- KAS, AN en ZA (vloeibaar) als bestaande kunstmeststoffen
- MC
- RDM (+KAS)

In alle proefjaren 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

Op de plots die drijfmest kregen, is de drijfmest als basisbemesting gegeven; 20 m³ voor de eerste snede en 15 m³ voor de tweede en 15 m³ voor de derde snede. De RDM objecten zijn aangevuld met KAS tot het niveau van de zuivere KAS objecten, waarbij de N totaal uit de drijfmest is geschat en een werking is aangehouden conform het bemesting advies voor grasland (Adviesbasis, 2011).

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

Drie objecten hebben geen N-bemesting gekregen (blanco's), één object zonder behandeling, één object dat 3x is doorsneden door de proefveldmachine en één object dat 3x is doorsneden 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.

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

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

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

De bemesting met de concentraten en vloeibare kunstmest zijn verzorgd door Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO-AGV). De overige proefveldactiviteiten zijn verzorgd 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 gemeten 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 de heer 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 zodebemester. De proefveldmachine is weergegeven in Figuur 1, de kouters in detail en een sleuf in gras in Figuur 2.

De gebruikte zodebemester was van 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.

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.

2.6 Grondwater

Het bovenste grondwater van de veldjes is tussen 18 en 27 maart 2013 bemonsterd en geanalyseerd. Omdat het grondwater zich niet dieper dan 200 cm beneden maaiveld bevond, is niet het bodemvocht maar het grondwater zelf bemonsterd. In elk veldje zijn op 5 plekken grondwatermonsters genomen (grofweg: in het midden van het veldje en halverwege tussen het midden en de hoekpunten). Op elke plek is met behulp van een Edelmanboor geboord tot ongeveer 20 cm beneden de grondwaterstand. Vervolgens is met behulp van een poreuze cup (porie-diameter 0.45 µm) een grondwatermonster genomen (minimaal 50 ml per plek). Elk van de 5 monsters van ieder veldje zijn geanalyseerd op N-NO₃, N-NH₄ en N_{TS} bij het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem van Wageningen Universiteit.



Figuur 1 Proefveldmachine voor de toediening van vloeibare meststoffen.



Figuur 2 Kouter van proefveldmachine en sleuf in graszode

2.7 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. De monsters zijn geanalyseerd op minerale N door ALNN te Ferwert. De objecten bemest met opgeloste ZA zijn niet bemonsterd omdat die op slechts één van de twee locaties aanwezig was.

2.8 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.

De analyse is 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 de interactie 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.
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 en de locatie hebben op de hoogte van de constante en de hoogte van de factor waarmee de N-bemesting vermenigvuldigd wordt.

Zo is voor iedere meststof en beide locaties een andere lijn ontwikkeld en nagegaan 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 (NUL) 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. Omdat er geen significant effect van het snijden is gevonden, is het nulpunt voor alle meststoffen gelijk (geschat).

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

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

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

In formules is dat:

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

en

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

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

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

$$\text{ANE van te onderzoeken meststof} / \text{ANE van referentie meststof} = N \text{ werkingscoëfficiënt}$$

De N-werkingscoëfficiënt berekend op basis van N-opbrengst:

$$\text{ANR van te onderzoeken meststof} / \text{ANR van referentie meststof} = N \text{ werkingscoëfficiënt}$$

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.

De effecten van de gebruikte meststoffen op de hoeveelheid N-min in de bodem en de hoeveelheid nitraat-N in het bovenste grondwater zijn ook getoetst met REML.

Bij de REML toets N mineraal in de bodem is gekeken of er verschil bestaat in het N-min gehalte van de bodem per bodemlaag (0-30, 30-60 en 60-90 en totaal 0-90, waarbij ook gekeken is of er verschil tussen de lagen bestaat) bij gebruik van de verschillende meststoffen. Ook is gekeken of er verschil bestaat tussen de 2 locaties (droog en nat zand: toets in 2012) of tussen de grondsoorten: klei en zand (overall toets). De hoofdeffecten zijn dus bodemlaag, mestsoort en grondsoort c.q. locatie (2012). Daarnaast is de interactie tussen deze 3 factoren ook getoetst.

Voor de REML-toets grondwater is gekeken of er verschil bestaat in het nitraatgehalte bij gebruik van de verschillende meststoffen. Ook is gekeken of er verschil bestaat tussen de 2 locaties: nat en droog. (hoofdeffecten mestsoort en locatie). Daarnaast is de interactie tussen deze 2 factoren ook getoetst.

3 Resultaten

3.1 Gehalten en giften van meststoffen in 2012

Op basis van een mondelinge mededeling van F. de Buissonje, die het mestverwerkingsproces volgde, is bij de berekening van de toe te dienen hoeveelheid MC uitgegaan van de volgende gehalten:

N; 8 g/kg

P₂O₅ : 0.2 g/kg

K₂O: 12 g/kg

De hoeveelheid te geven concentraat varieert bij een N gift tussen de 40 en 120 kg N per ha van 5 tot 15 m³ per ha. Deze range kan niet behaald worden met een normale praktijkmachine (bv. zodebemester). Met de ontwikkelde proefveldmachine kon dat wel.

De werkelijk toegediende hoeveelheid concentraat is weergegeven in Tabel 2. De gerealiseerde bemesting (kg N/ha) is achteraf berekend met de analyses van de monsters bij het uitrijden zijn genomen (Tabel 7).

Tabel 2 Gerealiseerde giften met concentraten, m³/ha.

Jaar	Concentraat	Snedes	N-niveau, kg/ha		
			100	200	300
2012	MC	1	5,04	10,25	14,75
	MC	2 en 3	3,68	7,48	11,24

Van het gebruikte concentraat 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 (zie boven de tabel).

In 2012 waren de P- en K-gehalten in het gebruikte concentraat uiteindelijk (veel) lager dan de vooraf opgegeven waarden. Het P₂O₅ gehalte van de gebruikte MC bedroeg 0,04 gram/kg en het K₂O gehalte was 8,8 gram/kg, waar vooraf 12 gram/kg was geschat. Het N gehalte bleek met 7,52 kg N totaal, waarvan 7,11 gram ammonium-N ook lager dan de vooraf geschatte 8 gram/kg.

In de analyse is gerekend met de werkelijke N-gehalten. Het afwijkende fosfaatgehalte is dusdanig laag (het totale gehalte is nog steeds verwaarloosbaar) en de aanvullende fosfaatgift zo royaal, dat er geen extra correctie nodig is. De uiteindelijk gegeven hoeveelheid kali met MC bij de hoogste gift was 130 kg ha in plaats van de geschatte hoeveelheid van 177 kg/ha. Beide giften zijn echter ruim voldoende voor een normale grasgroei (Bemestingsadvies, 2011).

3.2 Proefveldomstandigheden

3.2.1 Bodemanalyse van de proefvelden

In 2012 is voor de eerste bemesting een algemeen bodemonmonster van het gehele proefveld (minimaal 40 steken, laag 0-10 cm) genomen en geanalyseerd. De uitslag van de analyse is weergegeven in **Tabel 3** voor nat en in **Tabel 4** voor droog. De fosfaattoestand op het perceel 'Nat' is vrij laag. Hier is een extra fosfaatgift noodzakelijk, om een effect van fosfaatgebrek te voorkomen. De overige 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 3 Analyseresultaten bodemonderzoek 2012, zand 'Nat'

Bepaling	Analyse resultaat	Streeftraject	Beoordeling
C/N	9		
Lutum	2,2 %		
Organische stof (%)	5,5		

Fosfaat (P-AL mg P ₂ O ₅ /100 gr droge grond)	19	27 - 55	Vrij laag
Kali (K-getal mg K ₂ O per 100 gr droge grond)	24	15 – 23	Ruim voldoende
Magnesium (MgO mg/ kg droge grond)	174	137-219	
Natrium (Na ₂ O mg/ 100 gram droge grond)	2	5-8	Vrij laag
Koper (Cu mg/ kg droge grond)	6,4	5.0 – 9.7	Goed
Kobalt (Co mg/ kg droge grond)	0,21	0.29	Vrij laag
pH – KCl	4,9	4.8 – 5.5	Goed
N totaal (mg/ 100 gram droge grond)	306		
NLV (kg N/ha/jaar)	170		

Tabel 4 Analyseresultaten bodemonderzoek 2012, zand 'Droog'

Bepaling	Analyse resultaat	Streeftraject	Beoordeling
Lutum (%)	1,7		
Organische stof (%)	5,4		
Fosfaat (P-AL mg P ₂ O ₅ /100 gr droge grond)	58	27 - 55	Hoog
Kali (K-getal mg K ₂ O per 100 gr droge grond)	55	15 – 23	Zeer hoog
Magnesium (MgO mg/ kg droge grond)	250	137- 219	Hoog
Natrium (Na ₂ O mg/ 100 gram droge grond)	2	5-8	Vrij Laag
Koper (Cu mg/ kg droge grond)	5,5	5.0 – 9.7	Goed
Kobalt (Co mg/ kg droge grond)	<0,1	➤ 0.29	Laag
pH – KCl	5,0	4.8 – 5.5	Goed
N totaal (mg/ 100 gram droge grond)	272		
NLV (kg N/ha/jaar)	160		
C/N ratio	10,0		

Verwacht is dat lagere bodemtoestand voor Na en Co geen negatief effect zal hebben gehad op de grasgroei. Deze elementen zijn van meer belang bij de veevoeding.

Weer tijdens toedienen en tijdens het groeiseizoen

Weer in 2012

Januari was zacht en nat. De eerste helft van februari was erg koud en droog. De tweede helft van februari was wat zachter, maar de totale maand was kouder dan gemiddeld. Maart was juist een zeer zachte en droge maand (gem. 8,3 °C tegen normaal 6,4 °C en slechts 19 mm neerslag). April was juist kouder dan normaal met een gemiddelde etmaaltemperatuur die gelijk was aan die van maart. De lage temperatuur kwam vooral door de vele bewolking. April kende slechts 1 echt zonnige dag. De hoeveelheid neerslag in april was gemiddeld 58 mm tegen 42 mm normaal. De eerste helft van mei verliep als april, maar de tweede helft was duidelijk warmer en met meer neerslag, veroorzaakt door lokale buien. Totaal over de 3 lentemaanden was het voorjaar van 2012 droger en iets zachter dan gemiddeld over 30 jaar met een gemiddeld aantal zonuren.

In genoemde voorjaarsperiode zijn zowel de eerste als de tweede snede bemest.

De bemesting voor de eerste snede is uitgevoerd op 26 maart. Het was een zonnige en relatief warme (bijna 17 graden) en droge dag.

Tijdens de bemesting van de tweede snede op 15 mei was het bewolkt met af en toe lichte regen (ruim 5 mm gedurende de gehele dag) en slechts 11,5 °C.

De zomer (juni-juli-augustus) van 2012 was wat temperatuur betreft normaal, hoewel de maanden juni en juli veel koeler waren dan normaal en augustus juist warmer. Ook was de zomer erg nat ((landelijk 286 mm tegen 225 mm normaal). Met name juni was vooral erg somber, koel en te nat.

De derde snede is in 2012 op 13 en 15 juni bemest. Op 13 juni was het koel (15°C) en wisselend bewolkt, maar wel droog. Op 15 juni was het warmer (19°C), maar geheel bewolkt en droog. Het mineralenconcentraat, de drijfmest, ZA en KAS zijn op 13 juni toegediend, op beide proefvelden, de AN op 15 juni. Er zit dus geen verschil in omstandigheden tussen de proefvelden bij dezelfde meststoffen.

In maart waren de omstandigheden tijdens het toedienen van de meststoffen droog en zonnig waardoor de ammoniakemissie mogelijk hoger waren dan op de andere uitrijmomenten omdat de omstandigheden toen vochtiger waren.

Ten aanzien van de grasgroei, was 2012 een redelijk groeizaam jaar, maar door de weinige zonuren in april en juni/juli geen topjaar. In de warme periode in augustus was er een erg goede groei. 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 geschatte gehalten. Voor de berekening van de uiteindelijk werkelijk gegeven bemesting is uitgegaan van de gehalten die bepaald waren in de monsters die ter plekke genomen zijn. In 2012 bleek het MC een lager N gehalte te hebben dan vooraf was ingeschat, waardoor de werkelijk gegeven N-bemestingen iets onder de geplande N-bemestingen uit kwamen. Bij de statistische analyse is gerekend met de werkelijk gegeven hoeveelheid N.

De bemesting van de derde snede is op twee dagen uitgevoerd. Bij het oplossen van het AN bleek er te weinig AN in voorraad te zijn, waardoor niet voldoende kon worden gemaakt. Besloten is om de gehele AN bemesting (op beide proefvelden) in 1 keer uit te voeren op 15 juni.

Bij nadere beschouwing bleek op de KAS objecten in de eerste snede slechts de halve gift te zijn toegediend, omdat er een misverstand was over de toe te dienen hoeveelheid en de oppervlakte van de objecten. In 2012 waren alle objecten twee keer zo groot in verband met de bemonstering van het grondwater. Bij het strooien is echter de hoeveelheid per object niet verdubbeld. In de analyse is hiermee rekening gehouden.

Tabel 5 N-bemesting 2012 met concentraten en soorten kunstmest in de opvolgende sneden op zandgrond, kg N per ha.

Locatie	meststof	N-niveau	Ngiftsn1	Ngiftsn2	Ngiftsn3	Ngift totaal
Zand Droog	KAS	1	20 *	30	30	80
Zand Droog	KAS	2	40 *	60	60	160
Zand Droog	KAS	3	60 *	90	90	240
Zand Droog	AN	1	35	27	24	85
Zand Droog	AN	2	69	53	48	170
Zand Droog	AN	3	103	80	73	256
Zand Droog	MC	1	38	27	28	93
Zand Droog	MC	2	77	54	57	189
Zand Droog	MC	3	111	81	86	278
Zand Droog	RDM+KAS	1	69 *	76	55	199
Zand Droog	RDM+KAS	2	89 *	109	87	285
Zand Droog	RDM+KAS	3	109 *	139	117	365
Zand Nat	KAS	1	20 *	30	30	80
Zand Nat	KAS	2	40 *	60	60	160
Zand Nat	KAS	3	60 *	90	90	240
Zand Nat	AN	1	34	27	24	85
Zand Nat	AN	2	69	53	48	170
Zand Nat	AN	3	103	80	73	256
Zand Nat	MC	1	38	27	28	93
Zand Nat	MC	2	77	54	57	189
Zand Nat	MC	3	111	81	86	278
Zand Nat	RDM+KAS	1	69 *	76	55	199
Zand Nat	RDM+KAS	2	89 *	109	87	285
Zand Nat	RDM+KAS	3	109 *	139	117	365
Zand Nat	ZA	1	43	34	27	104
Zand Nat	ZA	2	86	69	54	208
Zand Nat	ZA	3	129	103	80	313

*= KAS gift is helft van geplande gift

De hoeveelheid gegeven N bij MC en RDM+KAS is berekend uit het totale N gehalte van de meststof x de gegeven hoeveelheid. Bij RDM is dit uiteraard meer dan de geplande werkzame hoeveelheid, die ongeveer op jaarniveaus van 100, 200 en 300 kg N/ha uit moet komen. Bij de aanvullende N gift met KAS is rekening gehouden met een werking zoals die in de adviesbasis is gegeven.

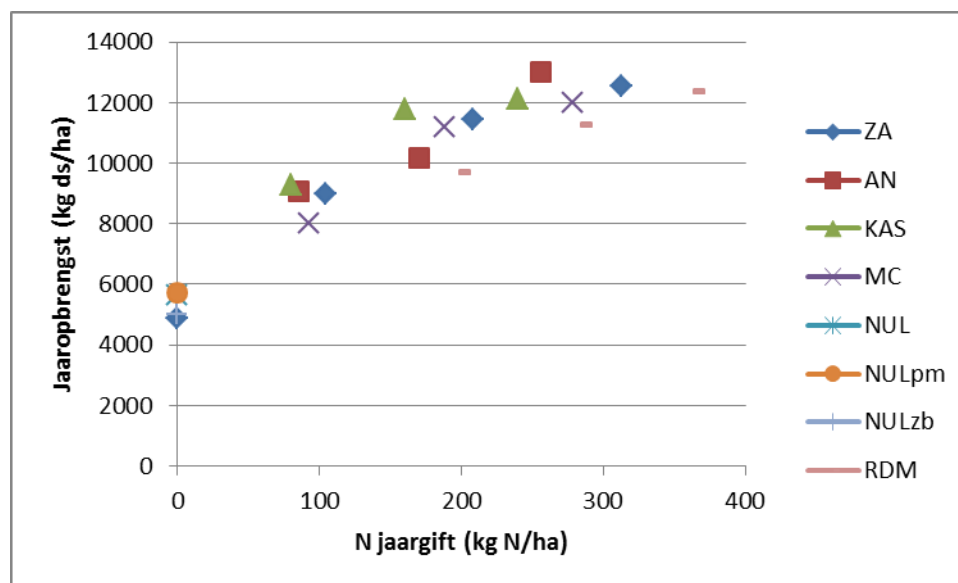
3.4 Droge stofopbrengsten

In **Tabel 6** zijn de droge stofopbrengsten (jaarpbrengsten 2012) per Ntrap weergegeven. Voor het 0 N-niveau bij de vloeibare meststoffen (AN, MC en ZA) zijn de opbrengsten vermeld die gemeten zijn op de objecten die drie maal gesneden zijn met de machine. Het nul N (0N) object behorende bij de RDM is met de zodebemester gesneden. 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 en RDM anders.

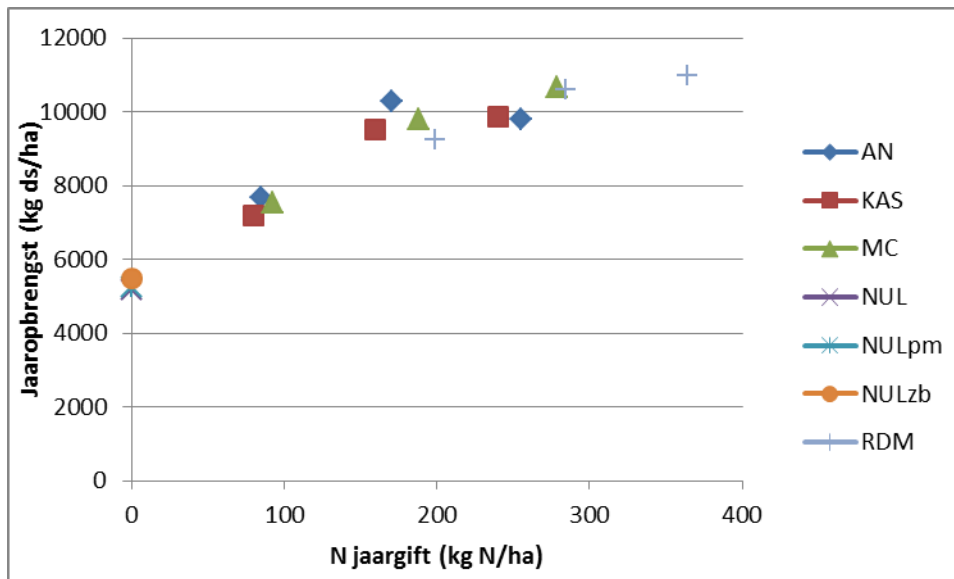
Tabel 6 Gemeten droge stofopbrengst 2012 en meeropbrengst (kg ds/ha) op jaarbasis (5 sneden)

grondsoort/Jaar/meststof	Opbrengst				Meeropbrengst t.o.v. 0 N		
	N-trap 0	1	2	3	1	2	3
Zand Droog							
KAS	5183	7186	9517	9876	2003	4334	4693
AN	5243	7663	10295	9793	2420	5052	4550
MC	5243	7541	9786	10668	2298	4543	5425
RDM+KAS	5496	9228	10597	10966	3732	5101	5470
Zand Nat							
KAS	5625	9288	11762	12139	3663	6137	6514
AN	5516	9078	10153	12990	3652	4637	7474
MC	5516	8001	11169	11986	2485	5653	6470
RDM+KAS	5002	9691	11284	12367	4689	6282	7365
ZA	5516	8970	11452	12553	3454	5936	7037

Er waren duidelijke verschillen in droge stofopbrengst tussen de N-trappen en de mestsoorten. In de volgende 2 figuren (figuur 3 en 4: voor het droge en het nattere perceel) is nogmaals weergegeven hoe de opbrengst toeneemt bij toenemende N giften (voor de getoetste meststoffen). In de figuren zijn de gemeten opbrengsten weergegeven. De afnemende meeropbrengst bij hogere N giften is duidelijk te zien in het verloop van de punten.



Figuur 3 Jaarpbrengsten 2012 (kg ds/ha) bij 3 N niveaus voor de getoetste meststoffen op een nattere zandgrond (ZA; vloeibare zwavelzure ammoniak, AN: vloeibare ammoniumnitraat, MC: mineralenconcentraat, NUL (pm,zb): onbemest (proefveldmachine gesneden, zodebemester gesneden), RDM: runderdrijfmest)



Figuur 4 Jaaropbrengsten 2012 (kg ds/ha) bij 3 N niveaus voor de getoetste meststoffen op een drogere zandgrond (AN: vloeibare ammoniumnitraat, MC: mineralenconcentraat, NUL (pm,zb): onbemest (proefveldmachine gesneden, zodebemester gesneden), RDM: runderdrijfmest)

De significantie van de hoofdeffecten is getoetst in de eerste fase van de statistische analyse (zie 2.8) met REML (**Tabel 7**).

Tabel 7 Statistische analyse voor droge stofopbrengsten (2012)

Factor	Probability (waarschijnlijkheid)*
Constante	<0,001
Locatie	<0,001
Mestsoort	<0,001
Ngift	<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. 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. 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 7** blijkt dat er significante verschillen zijn maar niet welke kant deze verschillen op wijzen. De opbrengsten op het nattere perceel waren overall steeds significant hoger dan op de drogere. Een hogere N gift leidde op beide percelen tot een hogere opbrengst.

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 8**.

De opbrengst van het KAS-object is daarbij de referentie. De getallen in de effecten tabel stellen de verschillen met de KAS-behandeling gemiddeld voor beide proefpercelen, rekening houdend met de N-bemesting. De overige factoren zijn voor deze meststoffen gelijk. De effecten in **Tabel 8** worden alleen gepresenteerd om een idee te krijgen van de verschillen tussen mestsoorten. Dit kan later in de totale analyse veranderen, omdat dan ook interacties worden meegenomen.

Tabel 8 Significante verschillen in droge stofopbrengst tussen mestsoorten¹.

Meststof	
KAS	0 ^a
AN	-144 ^a
MC	-556 ^{ab}
RDM+KAS	-1370 ^b
ZA	-343 ^a

¹Kleinst betrouwbare verschil (LSD) is 828

De droge stofopbrengst van de vloeibare ammoniumnitraat (AN), vloeibare zwavelzure ammoniak (ZA) en het mineralenconcentraat (MC) verschilt niet significant van de droge stofopbrengst van het KAS object.

Alleen de combinatie drijfmest, aangevuld met KAS geeft een lagere jaaropbrengst.

Naast de toets op hoofdeffecten is net als in de analyse over de jaren 2009-2011 ook gekeken of het snijden effect heeft gehad. Hiervoor is getoetst of de opbrengsten op de onbemeste velden die niet gesneden waren, dan wel gesneden met de proefveldmachine of de zodebemester significant verschilden. Dit bleek niet het geval. Daarom mogen alle onbemeste velden als gemiddelde voor de onbemeste toestand worden opgenomen in de vervolganalyse.

Hoofdeffecten samengevat:

- De droge stofopbrengsten van KAS, vloeibaar ammoniumnitraat en vloeibare ZA zijn in 2012 vergelijkbaar met die van de concentraten. Wanneer we alleen de hoofdeffecten beschouwen zijn er geen significante verschillen in droge stofopbrengst tussen het MC enerzijds en de kunstmeststoffen anderzijds
- De droge stofopbrengsten op de het nattere perceel waren hoger dan op het drogere perceel.
- Het snijden van de (nul)velden heeft geen significante invloed op de droge stofopbrengst.

3.5 N-opbrengsten

In **Tabel 9** zijn de N-opbrengsten (jaaropbrengsten 2012) per N-trap weergegeven. Voor het 0 N-niveau bij de vloeibare meststoffen (AN, MC en ZA) zijn de opbrengsten vermeld die gemeten zijn op de objecten die drie maal gesneden zijn met de machine. Het nul N (0N) object behorende bij de RDM is met de zodebemester gesneden. 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 en RDM anders.

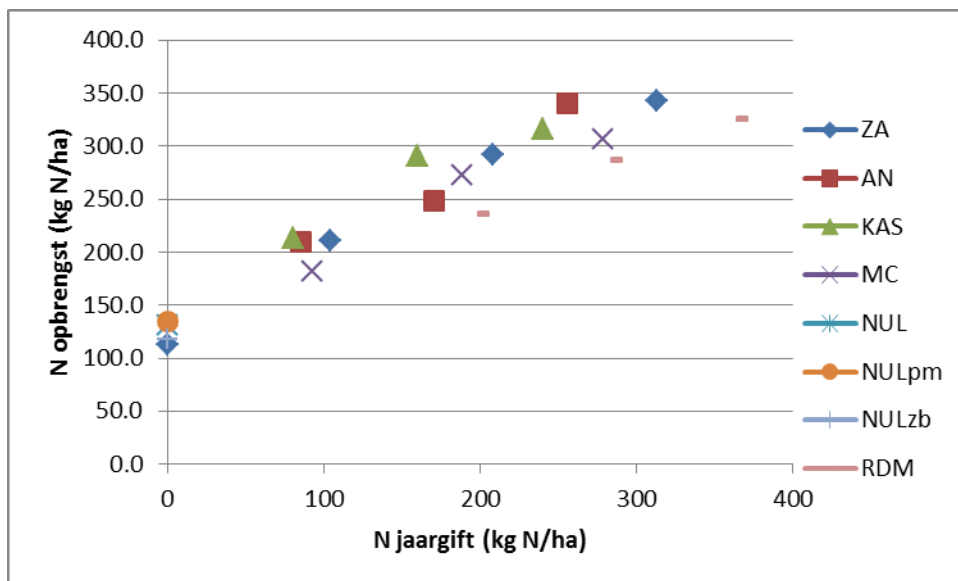
Tabel 9 Gemeten stikstofopbrengst en meeropbrengst (kg N/ha) op jaarbasis (2012, 5 sneden)

grondsoort/Jaar/meststof	Opbrengst				Meeropbrengst t.o.v. 0 N		
	N-trap 0	1	2	3	1	2	3
Zand Droog							
KAS	121	172	258	283	51	137	162
AN	119	181	274	293	62	155	174
MC	119	177	246	276	58	127	157
RDM+KAS	131	235	287	317	104	156	186
Zand Nat							
KAS	131	214	290	316	3663	6137	6514
AN	134	210	248	340	3652	4637	7474
MC	134	182	273	307	2485	5653	6470
RDM+KAS	117	236	287	326	4689	6282	7365
ZA	134	211	292	343	3454	5936	7037

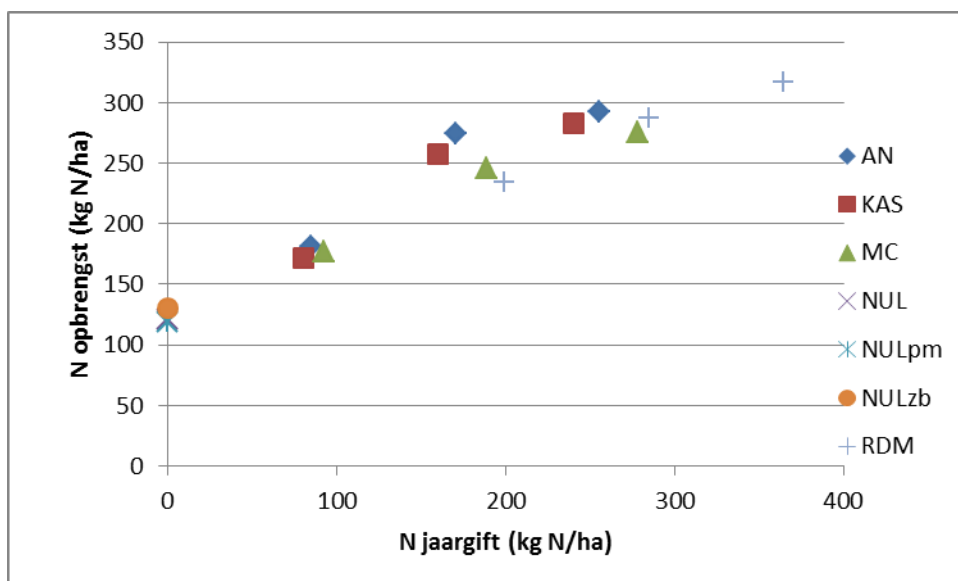
Er waren duidelijke verschillen in de N-opbrengsten tussen de N-trappen en de mestsoorten. Dit komt mede omdat de werkelijk gegeven hoeveelheid N per N trap niet altijd gelijk is geweest bij de verschillende meststoffen.

In de volgende 2 figuren (voor het droge en het nattere perceel) is nogmaals weergegeven hoe de N-opbrengst toeneemt bij toenemende N giften (voor de getoetste meststoffen).

In de figuren zijn de gemeten N-opbrengsten weergegeven.



Figuur 5 N-jaaropbrengsten 2012 (kg N/ha) bij 3 N niveaus voor de getoetste meststoffen op een nattere zandgrond (ZA: vloeibare zwavelzure ammoniak, AN: vloeibare ammoniumnitraat, MC: mineralenconcentraat, NUL (pm,zb): onbemest (proefveldmachine gesneden, zodebemester gesneden), RDM: runderdrijfmest)



Figuur 6 N-jaaropbrengsten 2012 (kg N/ha) bij 3 N niveaus voor de getoetste meststoffen op een drogere zandgrond (AN: vloeibare ammoniumnitraat, MC: mineralenconcentraat, NUL (pm,zb): onbemest (proefveldmachine gesneden, zodebemester gesneden), RDM: runderdrijfmest)

De significantie van de hoofdeffecten op de N opbrengst is getoetst in de eerste fase van de statistische analyse (zie 2.8) met REML (**Tabel 10**), waarbij de N gift continue is opgenomen.

Tabel 10 Statistische analyse voor N-opbrengsten 2012

Factor	Probability (waarschijnlijkheid)
Constante	<0,001
Locatie	<0,001
Mestsoort	<0,001
Ngift	<0,001

*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. Er is gerekend met de hoeveelheid N die werkelijk gegeven is. Door interpolatie kunnen alle N-giften van 0 tot maximum beschouwd worden.

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 7** blijkt dat er significante verschillen zijn maar niet welke kant deze verschillen op wijzen. Het bleek dat de N-opbrengsten op het nattere perceel overall steeds significant hoger waren dan op het drogere perceel. 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 11**. Hierbij is rekening gehouden met de werkelijk gegeven hoeveelheid N; deze hoeveelheid N is in deze pré-analyse als overall N bemesting meegegeven (er is hier nog niet getoetst op het effect van de hoeveelheid gegeven N)..

De getallen in de effecten tabel stellen de verschillen voor t.o.v. de opbrengst bij KAS (gemiddeld over beide percelen). KAS is daarbij dus de referentie. De effecten in **Tabel 11** worden alleen gepresenteerd om een idee te krijgen van de verschillen tussen mestsoorten.

Tabel 11 Significante verschillen in N opbrengst tussen mestsoorten (over alle N giften).

	Effecten (kg N/ha/jaar)
KAS	0 ^a
AN (vl. Ammoniumnitraat)	-4,4 ^a
MC	-28,7 ^b
ZA (vloeibaar)	-11,9 ^{ab}
RDM+KAS	-51,3 ^c

Kleinst betrouwbare verschil (LSD) is 21,8. Verschillende letters zijn significant verschillend binnen een jaar.

Op het niveau van hoofdeffecten zijn in alle jaren de N-opbrengsten van de kunstmeststoffen KAS, AN en ZA onderling niet significant verschillend. De N-opbrengst van de RDM+KAS is in alle proefjaren significant lager dan van de andere meststoffen. Op basis van de analyse op hoofdeffecten geeft het MC een lagere N opbrengst dan de vergelijkende kunstmeststoffen.

Naast de toets op hoofdeffecten is net als in de analyse over de jaren 2009-2011 ook gekeken of het snijden effect heeft gehad. Hiervoor is getoetst of de N-opbrengsten op de onbemeste velden die niet gesneden waren, dan wel gesneden met de proefveldmachine of de zodebemester significant verschilden. Dit bleek niet het geval. Daarom mogen alle onbemeste velden als gemiddelde voor de onbemeste toestand worden opgenomen in de vervolganalyse.

Samengevat:

- De N-opbrengsten van de objecten bemest met 'echte' kunstmeststoffen zijn onderling redelijk vergelijkbaar.
- Op het nattere perceel is de N-opbrengst van de objecten gemiddeld significant hoger dan op het drogere perceel.
- De N-opbrengsten van het MC blijft iets achter bij die van de kunstmeststoffen, maar is hoger dan de RDM+KAS.
- Het snijden heeft geen effect op de N-opbrengst

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 (2012)

De N-werkingscoëfficiënten worden in de tweede fase van de statistische analyse, zoals aangegeven in paragraaf 2.8, berekend met behulp van een model dat ontwikkeld is op basis van de data.

Er wordt getoetst of de verbanden tussen N-gift en droge stofopbrengst curvi lineair of lineair zijn. Op basis van de figuren (figuur 5 en 6) lijkt het eerste het geval te zijn. Om dat te testen is de factor N_{gift}^2

ingevoegd. Deze factor bleek significant, de verbanden tussen N-gift en droge stofopbrengst zijn dus curvi lineair (afnemende meeropbrengst bij hogere N giften).

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 12). De verschillen tussen de locaties worden ook teruggevonden in de interacties met de N-gift. Naast een overall locatieverschil (droog vs. nat), dat kan worden beschreven als een niveauverschil tussen beide percelen, is dit verschil mede afhankelijk van de N-gift en de gebruikte mestsoort.

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 in 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 (perceel) en mestsoort.

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

Tabel 12 REML model, significante factoren voor droge stofopbrengsten (2012)

Fixed term	Probability (waarschijnlijkheid)
Locatie	<0,001
Ngift	<0,001
Ngift2	<0,001
Locatie.Ngift	0,004
Locatie.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 locaties. Daarmee zijn de ANE's berekend voor het drogere en het nattere perceel voor de verschillende meststoffen.

Tabel 13 REML model berekening van droge stofopbrengst (kg per ha) en ANE op het drogere en het nattere perceel in 2012

Locatie		Ngift				ANE		
Droog	Meststof	0	100	200	300	100	200	300
	KAS	5292	7881	9644	10583	25,9	21,8	17,6
	AN	5292	7954	9791	10803	26,6	22,5	18,4
	MC	5292	7963	9809	10830	26,7	22,6	18,5
	RDM+KAS	5292	7893	9668	10619	26,0	21,9	17,8
Nat	KAS	5598	9218	12012	13982	36,2	32,1	27,9
	AN	5598	9005	11587	13344	34,1	29,9	25,8
	MC	5598	8678	10932	12361	30,8	26,7	22,5
	ZA	5598	8756	11089	12596	31,6	27,5	23,3
	RDM+KAS	5598	8411	10399	11562	28,1	24,0	19,9

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

Door de ANE's van de runderdrijfmest, het mineralenconcentraat 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 AN berekend.

Tabel 14 Werkingscoëfficiënten van concentraten in 2012 ten opzichte van KAS en vloeibaar ammoniumnitraat op zand op basis van droge stofopbrengst

Ngift meststof	N-werkingscoëff ten opzichte van KAS				N-werkingscoëff t.o.v. vloeib amm nitr			
	100	200	300	Gemidd.	100	200	300	Gemidd.
Droog								
KAS	100	100	100	100	97	97	96	97
AN	103	103	104	103	100	100	100	100
MC	103	104	105	104	100	100	100	100
RDM+KAS	100	101	101	101	98	97	97	97
Nat								
KAS	100	100	100	100	106	107	108	107
AN	94	93	92	93	100	100	100	100
MC	85	83	81	83	90	89	87	89
ZA	87	86	83	85	93	92	90	92
RDM+KAS	78	75	71	75	83	80	77	80

De N-werkingscoëfficiënten van de vloeibare meststoffen, het mineralenconcentraat en de drijfmest aangevuld met KAS zijn ten opzichte van KAS allemaal hoger op het drogere perceel. Op het nattere perceel geeft KAS de beste werking, gevolgd door AN, ZA en MC. De drijfmest geeft hier de minste werking. Wanneer de werking van het mineralenconcentraat met AN wordt vergeleken bleek de werking op het droge perceel gelijk te zijn en op het natte perceel 11% lager.

De N-werkingscoëfficiënten van het mineralenconcentraat op basis van de droge stofopbrengst en met KAS als referentiemeststof varieert op de individuele N-trappen in 2012 op droog zand tussen 103 en 105 %. Op nat zand was deze variatie tussen 81 en 85 %. Met vloeibare ammoniumnitraat als referentie is de N werkingscoëfficiënt op de individuele N-trappen op droog zand 100 % en op nat zand varieerde deze tussen 87 en 90 %.

Op droge stofbasis en ten opzichte van KAS was de gemiddelde werking (in 2012) van het mineralenconcentraat op droog zand 104% en op nat zand 83% en overall over beide percelen **93%**.

3.7 N-werkingscoëfficiënten op basis van N-opbrengsten (2012)

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 2.8, berekend met behulp van een model dat ontwikkeld is op basis van de data.

Omdat er geen verschil bestaat tussen de opbrengst op onbemeste velden die wel of niet door een machine gesneden zijn, starten de respons lijnen van N-opbrengst daarom in hetzelfde punt, ongeacht de uitrijmethode.

Er wordt getoetst of de verbanden tussen N-gift en N-opbrengst curvilineair of lineair zijn. Om dat te testen is de factor Ngift² ingevoegd. Deze factor bleek in tegenstelling tot de analyse over eerdere jaren nu wel significant. De verbanden tussen N-gift en N-opbrengst zijn dus gelijkvormig met de lijnen voor de droge stofopbrengst (zie figuren 3 en 4 in vergelijking met de figuren 5 en 6). Dit sluit aan bij de theorie van een afnemende meeropbrengst bij een hogere gift.

Op dezelfde manier als bij de droge stofopbrengsten is met REML een model ontwikkeld dat de N-opbrengsten van het gras schat.

Locatie (perceel) als hoofdeffect is significant. De interactie tussen locatie en mestsoort, dan wel locatie en N gift bleken niet significant. Dit betekent dat de locatie alleen maar een niveauverschil heeft veroorzaakt en geen verschil in werking.

De factor Ngift² blijkt zoals aangegeven significant te zijn. Dit betekent dat het model schat dat de lijnen afbuigen bij hogere N giften. Dit komt geheel overeen de theorie (Mengel and Kirkby, 2001).

Tabel 15 REML model, significante factoren voor N-opbrengsten

Fixed term	probability
Locatie	<0,001
Ngift	<0,001
Ngift2	0,027
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 N-opbrengsten geschat bij 0, 100, 200 en 300 kg N per ha bij 3 maal bemesten voor de 2 locaties. Daarmee zijn de ANR's berekend voor de verschillende meststoffen.

De factor "Locatie" (lees nat of droog perceel) heeft bij N-opbrengst alleen een significante invloed op het niveau. Daardoor zijn de ANR's op het droge en natte perceel gelijk. Daaruit volgt dat ook de berekende N-werkingscoëfficiënten op basis van N-opbrengst gelijk zijn. De interactie met N-gift en mestsoort is significant. Omdat de lijnen niet lineair verlopen en wel door het zelfde nulpunt gaan (zelfde opbrengst bij 0 N; geen snijeffect volgens analyse), is per kg gegeven N de N opbrengst niet gelijk. De berekende ANR is dus in het traject 0-100 N ongelijk (hoger) aan de ANR in het traject 200-300 N.

Tabel 16 Reml model berekening van N-opbrengst (kg per ha) en ANR, op het drogere en nattere zandperceel in 2012

Locatie		Ngift				ANR		
Droog	meststof	0	100	200	300	100	200	300
	KAS	117	202	277	343	0,85	0,80	0,75
	AN	117	200	273	337	0,83	0,78	0,73
	MC	117	187	247	298	0,70	0,65	0,60
	RDM+KAS	117	183	239	285	0,65	0,61	0,56
Nat								
	KAS	133	218	293	358	0,85	0,80	0,75
	AN	133	216	289	352	0,83	0,78	0,73
	MC	133	203	263	313	0,70	0,65	0,60
	ZA	133	212	280	340	0,79	0,74	0,69
	RDM+KAS	133	198	254	300	0,65	0,61	0,56

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

Omdat er slechts sprake is van een niveauverschil tussen het droge en het natte perceel, zijn de ANR's bij beide percelen gelijk. Dit betekent uiteraard ook, dat de berekende werking per meststof op beide percelen gelijk is. 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 AN berekend.

Tabel 17 Werkingscoëfficiënten (%) van concentraten in 2012 ten opzichte van KAS en vloeibaar ammoniumnitraat op zowel een droog en nat zandperceel op basis van N-opbrengst

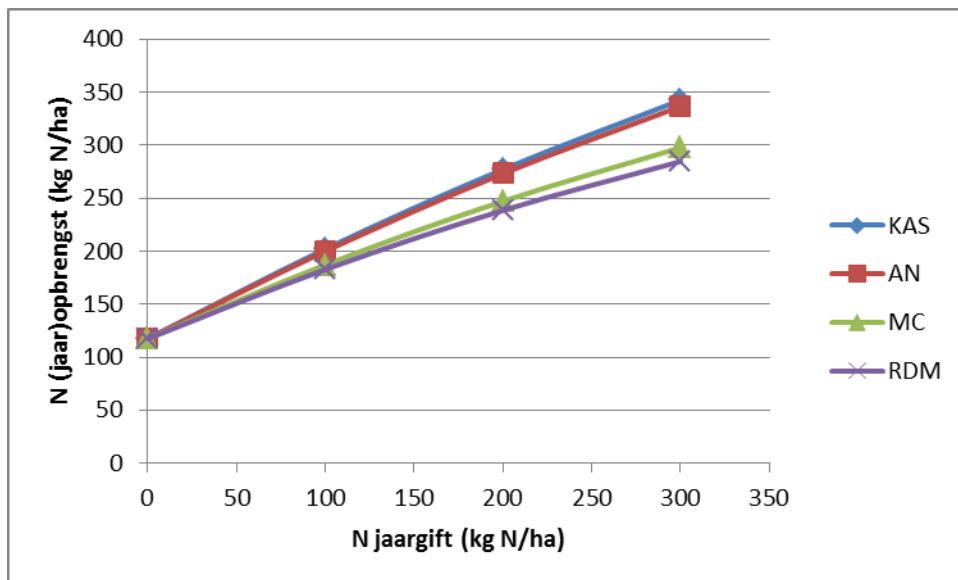
Ngift	N-werkingscoëff ten opzichte van KAS				N-werkingscoëff t.o.v. vloeib amm nitr			
meststof	100	200	300	Gemidd.	100	200	300	Gemidd.
KAS	100	100	100	100	102,4	102,6	102,7	102,6
AN	97,6	97,5	97,3	97,5	100	100	100	100
MC	82,4	81,2	80,1	81,2	84,4	83,3	82,2	83,3
ZA	92,7	92,2	91,7	92,2	94,9	94,6	94,2	94,6
RDM+KAS	77,2	75,8	74,3	75,8	79,1	77,8	76,3	77,7

De N-werkingscoëfficiënten van de vloeibare meststoffen inclusief het concentraat en de runderdrijfmest zijn ten opzichte van KAS allemaal lager dan 100 %.

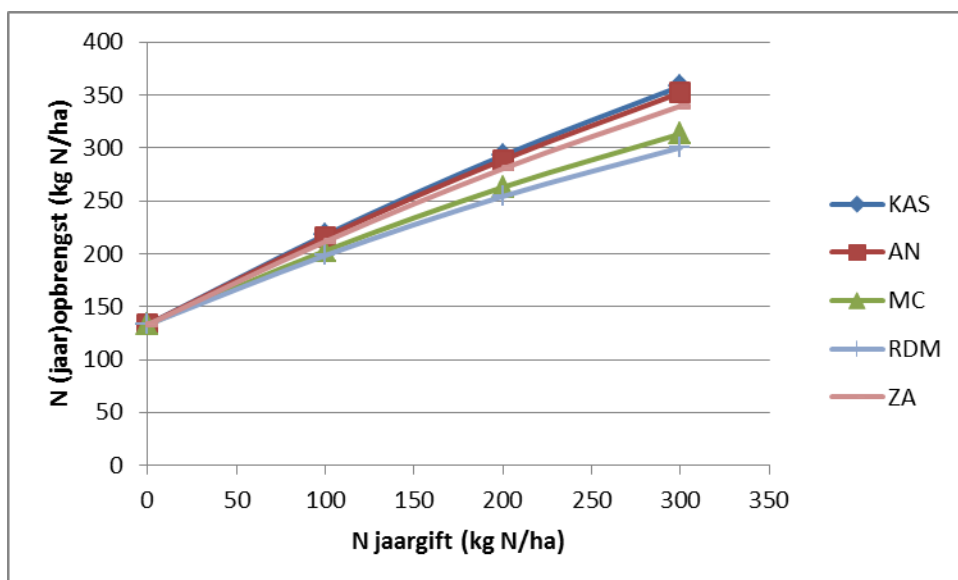
De N-werkingscoëfficiënten van de (zuivere) mineralenconcentraten op basis van de N-opbrengst en met KAS als referentiemeststof variëren tussen de N giften slechts weinig, omdat de afbuiging, hoewel significant, vrij zwak is. Gemiddeld is de N-werkingscoëfficiënt van het MC ten opzichte van KAS 81,2 %.

Met vloeibare ammoniumnitraat als referentie is de werkingscoëfficiënt van het MC 83,3%.

In de volgende 2 figuren is de N opbrengst grafisch weergegeven. In de figuren is duidelijk te zien dat er slechts sprake is van een niveauverschil tussen de 2 percelen en dat de afbuiging van de lijn (afnemende meeropbrengst bij hogere N giften) redelijk zwak is.



Figuur 7 Gemodelleerde N opbrengst op het relatief droge zandperceel in 2012 bij 4 meststoffen en oplopende N giften (AN: vloeibare ammoniumnitraat, MC: mineralenconcentraat, RDM: runderdrijfmest)



Figuur 8 Gemodelleerde N opbrengst op het relatief natte zandperceel in 2012 bij 4 meststoffen en oplopende N giften (AN: vloeibare ammoniumnitraat, MC: mineralenconcentraat, RDM: runderdrijfmest, ZA: vloeibare zwavelzure ammoniak)

3.8 Overall werking mineralenconcentraat op basis droge stofopbrengst en alle proefjaren

In totaal zijn de mineralenconcentraten vier jaar getest. Bij de analyse van de proeven waren individuele effecten van bijvoorbeeld locatie en jaar interessant om de uitkomsten te interpreteren.

Voor de praktijk is echter een uitspraak nodig over de globale werking van het mineralenconcentraat en niet de werking in een bepaald jaar; analoog aan de werking van drijfmest, waar immers ook algemene (gemiddelde) werkingscoëfficiënten worden gegeven. In deze paragraaf wordt de analyse over de periode 2009-2012 gegeven. In de individuele jaren is met verschillende mineralenconcentraten van verschillende verwerkers/aanbieders gewerkt. Ook daarvoor geldt, dat we de werking van het mineralenconcentraat in het algemeen willen weten. In de overall toets is geen onderscheid meer gemaakt tussen de verschillende mineralenconcentraten of de verschillende jaren. De toets is uitgevoerd voor een 'gemiddeld' mineralenconcentraat: dit is een mineralenconcentraat, rechtstreeks van de verwerker aangeleverd, zonder bijvoorbeeld aangezuurd te zijn en die is toegediend met de speciale proefveldmachine. De werking van het MC is vergeleken met KAS (korrel) en vloeibare ammoniumnitraat (AN). Alle andere gebruikte meststoffen in de genoemde proefjaren, waren slechts ter ondersteuning van hypothesen en zijn in de overall analyse buiten beschouwing gelaten (er is een dataset gemaakt met alleen data van KAS, AN en MC en de onbemeste objecten die al dan niet gesneden zijn).

In de analyse is ook niet gekeken naar de individuele jaareffecten. Wel is getoetst of er grondsoort effecten optreden. Hiervoor zijn twee grondsoorten onderscheiden klei (jonge zeeklei op basis van de proefjaren 2009 en 2010 op de Waiboerhoeve) en zand (alle proeven rondom Heino in de jaren 2009-2012).

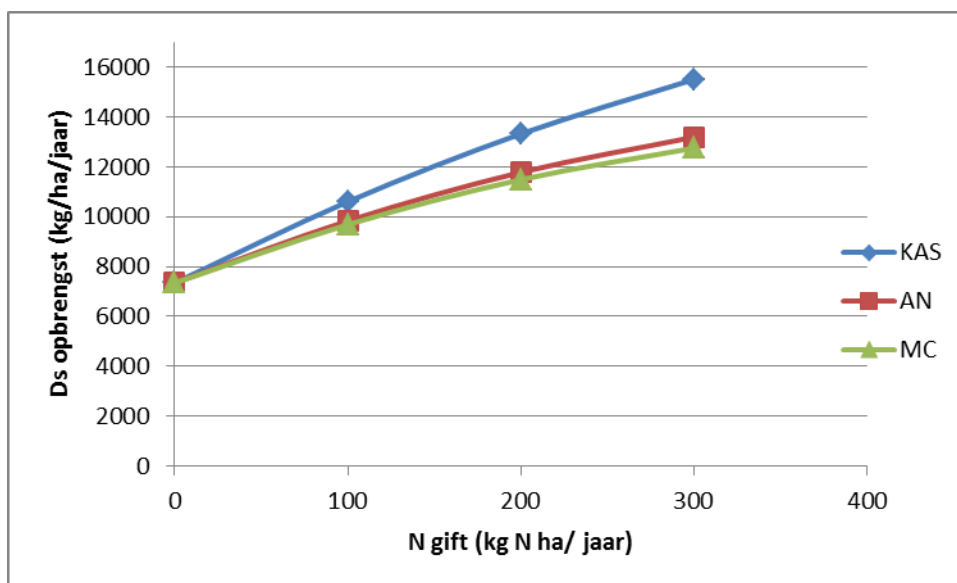
De uitkomst van de analyse voor droge stofopbrengst is weergegeven in tabel 18.

Tabel 18 REML model, significante factoren voor ds-opbrengsten

Fixed term	probability
Grond	0.327
Ngift	<0.001
grond.Ngift	0.014
Ngift.aantalbem	<0.001
grond.mestsoort.Ngift	<0.001
Ngift2	<0.001

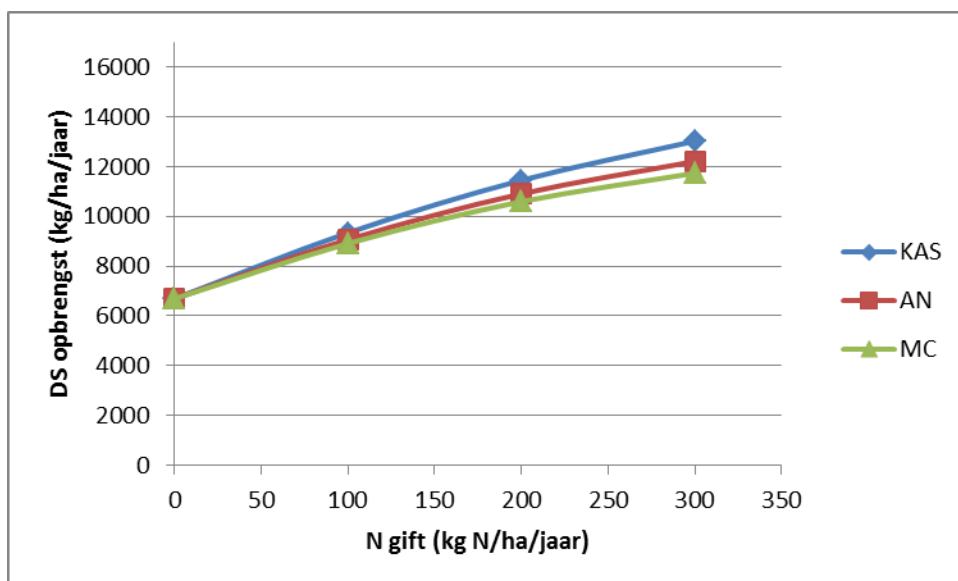
*probability lager dan 0,05 betekent significante verschillen.

De REML analyse heeft een model geschat dat de jaaropbrengst per mestsoort schat voor klei en voor zand bij oplopende N giften. De geschatte modellen voor klei en zand zijn weergegeven in de volgende 2 figuren (9 en 10).



Figuur 9 Geschatte jaaropbrengsten (kg ds/ha) op klei bij gebruik van mineralenconcentraat (MC), KAS of vloeibare ammoniumnitraat (AN) bij oplopende N gift

Met name KAS geeft op klei een hoge respons: bij 300 kg N/ha wordt een opbrengst van 15,5 ton ds/ha geschat. Er blijkt weinig verschil in opbrengst op klei tussen het MC en AN. Wel is sprake van een afnemende meeropbrengst bij hogere N giften (uitgedrukt in Ngift^2).



Figuur 10 Geschatte jaaropbrengsten (kg ds/ha) op zand bij gebruik van mineralenconcentraat (MC), KAS of vloeibare ammoniumnitraat (AN) bij oplopende N gift

Op zand is het verschil in opbrengst tussen de gebruikte meststoffen kleiner en de totale respons lager. Dit geeft aan dat de werking van AN en MC op zand hoger zijn dan op klei, omdat de werking t.o.v. KAS wordt berekend. Met behulp van dit model zijn de ANE's uitgerekend en vervolgens de werkingscoëfficiënten van de 3 meststoffen.

Tabel 19 ANE's en (overall) werkingscoëfficiënten MC, AN en KAS op klei (op basis van droge stof opbrengst) in %

N	ANE			Werking tov KAS		Werking t.o.v. AN	
	KAS	AN	MC	AN	MC	KAS	MC
100	32.6	24.9	23.4	76.3	71.9	131.0	94.1
200	29.9	22.2	20.7	74.2	69.3	134.8	93.4
300	27.2	19.5	18.0	71.7	66.3	139.6	92.5
gem	29.9	22.2	20.7	74.1	69.1	135.1	93.3

Overall gezien werkt het MC iets minder dan AN (t.o.v. KAS). De gemiddelde werking van het MC op klei is **69%** van de werking van KAS en 93% van de werking van AN, op basis van droge stof.

In de figuren was al te zien dat de werking van het MC op klei lager is dan op zand. De berekende ANE's en de werkingscoëfficiënten voor zand zijn weergegeven in tabel 20.

Tabel 20 ANE's en (overall) werkingscoëfficiënten (in %) MC, AN en KAS op zand (op basis van droge stof opbrengst)

N	ANE			Werking tov KAS		Werking t.o.v. AN	
	KAS	AN	MC	AN	MC	KAS	MC
100	26.4	23.7	22.2	89.8	83.8	111.4	93.4
200	23.8	21.1	19.5	88.6	82.0	112.9	92.5
300	21.1	18.4	16.8	87.1	79.7	114.8	91.4
gem	23.8	21.0	19.5	88.5	81.8	113.0	92.5

Met een overall werking van **82%** ten opzichte van KAS heeft het MC een hogere N-werking op zand dan op klei. Ten opzichte van AN is er weinig verschil tussen zand en klei en is de werking van het MC ongeveer 93% van de werking van AN, op beide grondsoorten.

3.9 Overall N-werkingscoëfficiënten op basis van N-opbrengsten en alle proefjaren

De werking van een meststof wordt in principe bepaald op basis van de N-opbrengsten. Daarom is naast een analyse van de droge stofopbrengst ook een analyse van de N-opbrengsten nodig. Ook hiervoor geldt dat voor de praktijk een uitspraak nodig is over de globale werking van het mineralenconcentraat en niet de werking in een bepaald jaar; analoog aan de werking van drijfmest, waar immers ook algemene (gemiddelde) werkingscoëfficiënten worden gegeven. In deze paragraaf wordt de analyse van de N respons (N-opbrengst t.o.v. N gift) over de periode 2009-2012 gegeven. In de overall toets is ook bij de N-opbrengst geen onderscheid meer gemaakt tussen de verschillende mineralenconcentraten of de verschillende jaren. De toets is uitgevoerd voor een 'gemiddeld' mineralenconcentraat: dit is een mineralenconcentraat, rechtstreeks van de verwerker aangeleverd, zonder bijvoorbeeld aangezuurd te zijn en die is toegediend met de speciale proefveldmachine. De werking van het MC is vergeleken met KAS (korrel) en vloeibare ammoniumnitraat (AN). Alle andere gebruikte meststoffen in de genoemde proefjaren waren slechts ter ondersteuning van hypothesen en zijn in de overall analyse buiten beschouwing gelaten (er is een dataset gemaakt met alleen data van KAS, AN en MC en de blanco 's die al dan niet gesneden zijn).

In de analyse is ook niet gekeken naar de individuele jaareffecten. Wel is getoetst of er grondsoort effecten optreden. Hiervoor zijn twee grondsoorten onderscheiden klei (jonge zeelei op basis van de proefjaren 2009 en 2010 op de Waiboerhoeve) of zand (alle proeven rondom Heino in de jaren 2009-2012).

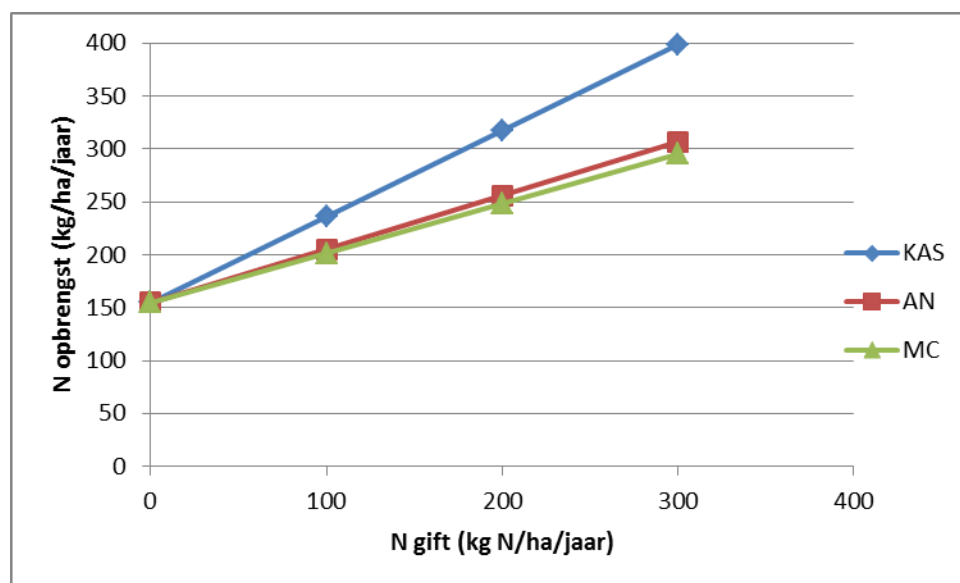
De uitkomst van de analyse voor droge stofopbrengst is weergegeven in tabel 21.

Tabel 21 REML model, significante factoren voor N-opbrengsten

Fixed term	probability
Grond	0.813
Ngift	<0.001
grond.Ngift	n.s.
Ngift.aantalbem	n.s.
grond.mestsoort.Ngift	<0.001
Ngift2	n.s.

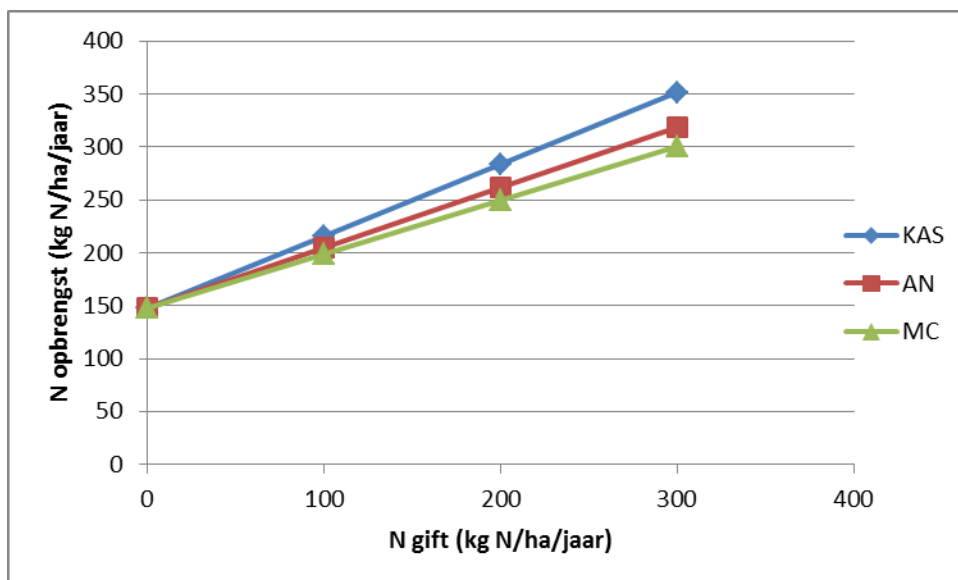
*probability lager dan 0,05 betekent significante verschillen.

Met de REML analyse is een model ontwikkeld dat de N-jaaropbrengst per mestsoort schat voor klei en voor zand bij oplopende N giften. Omdat Ngift^2 niet significant is gevonden, vertonen de lijnen een lineair verband bij een toenemende N-gift (overeenkomstig de analyse van 2009-2011). De geschatte modellen voor klei en zand zijn weergegeven in de volgende 2 figuren (figuur 11 en 12).



Figuur 11 Geschatte jaaropbrengsten (kg N/ha) op klei bij gebruik van mineralenconcentraat (MC), KAS of vloeibare ammoniumnitraat (AN) bij oplopende N gift

Met name KAS geeft op klei een hoge respons: bij 300 kg N/ha wordt een opbrengst van 400 kg N/ha geschat. Er blijkt weinig verschil in opbrengst op klei tussen het MC en AN.



Figuur 12 Geschatte jaaropbrengsten (kg N/ha) op zand bij gebruik van mineralenconcentraat (MC), KAS of vloeibare ammoniumnitraat (AN) bij oplopende N gift

Op zand is het verschil in opbrengst tussen de gebruikte meststoffen kleiner en de totale respons lager. Dit geeft aan dat de werking van AN en MC op zand beter zijn dan op klei, omdat de werking t.o.v. KAS wordt berekend.

Met behulp van dit model zijn de ANR's uitgerekend en vervolgens de werkingscoëfficiënten van de 3 meststoffen. Door het lineaire verband is de werking in het traject 0-100 kg N gelijk aan bijvoorbeeld de werking in het traject 200-300 kg N.

Tabel 22 ANR's en (overall) werkingscoëfficiënten (in %) MC, AN en KAS op klei (op basis van N opbrengst)

N	ANR			Werking t.o.v. KAS		Werking t.o.v. AN	
	KAS	AN	MC	AN	MC	KAS	MC
100	0.81	0.51	0.47	62.4	57.6	160.4	92.3
200	0.81	0.51	0.47	62.4	57.6	160.3	92.3
300	0.81	0.51	0.47	62.4	57.6	160.3	92.3
gem	0.81	0.51	0.47	62.4	57.6	160.3	92.3

Overall gezien werkt het MC iets minder dan AN (t.o.v. KAS). De gemiddelde werking van het MC op klei is 58% van de werking van KAS en 92% van de werking van AN, op basis van N-opbrengst.

Zoals aangegeven bij de responscurves is de werking van het MC op zand hoger dan op klei. De ANR's en de werkingscoëfficiënten voor zand zijn weergegeven in tabel.

Tabel 23 ANR's en (overall) werkingscoëfficiënten (in %) MC, AN en KAS op zand (op basis van N opbrengst)

N	ANR			Werking t.o.v. KAS		Werking t.o.v. AN	
	KAS	AN	MC	AN	MC	KAS	MC
100	0.68	0.57	0.51	83.8	74.9	119.3	89.5
200	0.68	0.57	0.51	83.8	74.9	119.3	89.4
300	0.68	0.57	0.51	83.8	74.9	119.4	89.4
gem	0.68	0.57	0.51	83.8	74.9	119.4	89.4

Met een overall werking van 75% ten opzichte van KAS heeft het MC een hogere werkingscoëfficiënt op zand dan op klei. Ten opzichte van AN is er weinig verschil tussen zand en klei en is de werking van het MC ongeveer 89% van de werking van AN op zand, tegen 92% op klei.

De werking berekend op basis van N opbrengst is lager dan op basis van ds-opbrengst.

Omdat er per jaar verschillen in werking zijn opgetreden, is in tabel 24 de werking van het MC per jaar weergegeven. De berekende N-werkingscoëfficiënten voor de verschillende jaren staan in tabel 24.

Tabel 24 Stikstofwerkingscoëfficiënt (%), op basis van KAS en vloeibaar ammoniumnitraat AN) van mineralenconcentraat (MC) in de verschillende proeven. Resultaten per jaar, periode 2009-2012.

Grondsoort	Jaar	Referentie meststof: KAS			Referentie Meststof: AN		
		KAS	AN	MC	KAS	AN	MC
Klei+zand	2009	100	63	54	159	100	86
Klei+zand	2010	100	69	71	144	100	102
Zand	2011	100	102	80	98	100	79
Zand	2012	100	98	81	103	100	83

In 2009 en 2010 zijn mineralenconcentraten gebruikt van meerdere (3) verschillende installaties. De weergegeven werking van het MC is het gemiddelde van alle gebruikte mineralenconcentraten in dat betreffende jaar.

3.10 N-mineraal in de bodem

3.10.1 N mineraal in 2012

De resultaten van de analyses van N mineraal in de bodem in 2012 op een droog en nat zandperceel zijn weergegeven in Tabel 25 Tabel 28 in bijlage 2. De statistische analyse is uitgevoerd met REML (**Tabel 25**). Getoetst is Locatie, mestsoort, N-gift en bodemlaag. Zowel de bodemlaag als hoofdeffect als de interacties tussen bodemlaag en mestsoort en bodemlaag en locatie bleken significant. Zoals verwacht is het N-min gehalte in de laag 0-30 het hoogst en in de laag 60-90 het laagst. Opvallend was, dat de N-jaargift geen effect heeft gehad op de gevonden N-min waarden in de bodem. De gebruikte meststof als hoofdeffect had in 2012 een significante invloed op de bodemvoorraad stikstof: de N min gehalten waren hoger bij het gebruik van KAS en RDM vergeleken met het gebruik van MC, AN of geen bemesting. De interactie tussen bodemlaag en locatie wordt veroorzaakt door het hogere gehalte (overall) in de bodemlagen 30-60 en 60-90 op het nattere perceel (!). De interactie met mestsoort en bodemlaag is niet duidelijk en is niet systematisch. Er is zeker geen duidelijk hoger N min gehalte gevonden bij het mineralenconcentraat.

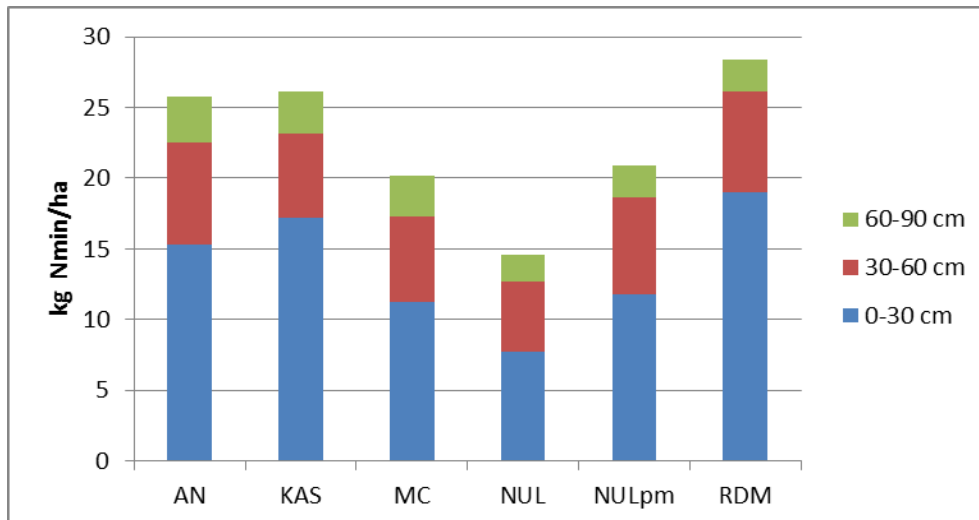
Tabel 25 REML model, significante factoren voor N-mineraal in de bodem

Fixed term	probability
N-niveau	n.s.
Locatie	0,002
Meststof	0,002
Bodemlaag	<0,001
Locatie.bodemlaag	<0,001
meststof.bodemlaag	0,004

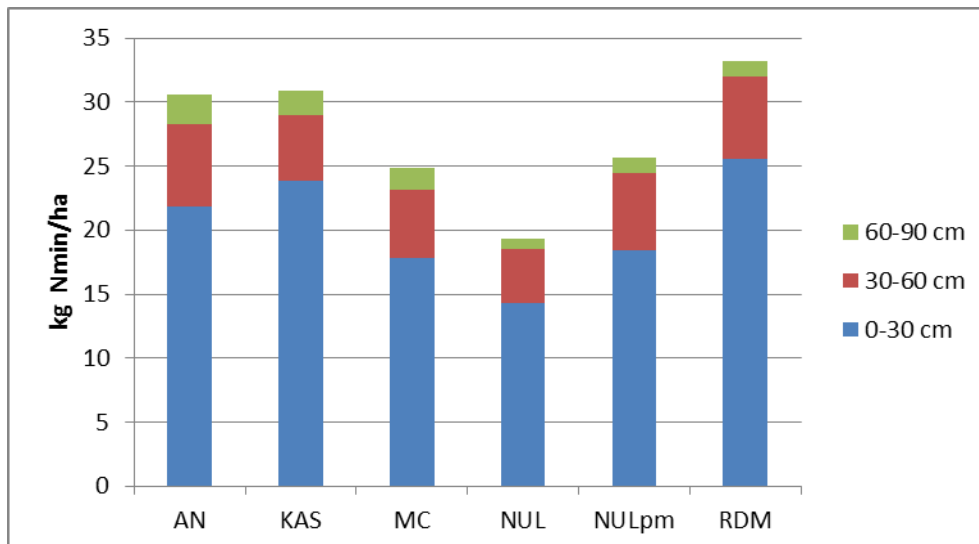
*probability lager dan 0,05 betekent significante verschillen.

De N-mineraal in de bodem van de mineralenconcentratenobjecten is in 2012 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 een toenemende bemesting. In de volgende 2 figuren zijn de met REML berekende N-min gehalte per laag weergegeven voor de mestsoorten MC, KAS, AN en RDM, en voor de onbemeste objecten.

De staafdiagrammen laten de opgetelde waarden zien voor de 3 lagen. Duidelijk is het verschil te zien tussen de hoeveelheid N min bij KAS en RDM t.o.v. de onbemeste velden, maar ook t.o.v. het mineralenconcentraat. Uit deze figuur blijkt duidelijk dat het gebruik van mineralenconcentraat niet leidt tot veel hogere gehalten N-min in de bodem.



Figuur 13 Met REML berekende N min in het bodemprofiel bij een natte zandgrond in 2012 bij het gebruik van verschillende mestsoorten (AN: ammoniumnitraat, MC: mineralenconcentraat, RDM: rundveedrijfmest, NUL: onbemest en NULpm: onbemest en gesneden)



Figuur 14 Met REML berekende N min in het bodemprofiel bij een drogere zandgrond in 2012 bij het gebruik van verschillende mestsoorten (AN: ammoniumnitraat, MC: mineralenconcentraat, RDM: rundveedrijfmest, NUL: onbemest en NULpm: onbemest en gesneden)

3.10.2 N mineraal over alle proefjaren

Naast de analyse van alleen proefjaar 2012 is ook een analyse uitgevoerd over alle proefjaren. Omdat het hier om een globaal effect gaat, is het jaar opgenomen in het random deel van het model. Getoetst is of de gebruikte meststof, de N gift en de grondsoort (inclusief de interacties) effect hebben gehad op de hoeveelheid bodemstikstof in het najaar. Niet alle locaties zijn alle jaren gebruikt. In de analyse is locatie niet opgenomen maar grondsoort. Dit betekent dat klei alleen waarnemingen heeft voor 2010. De mineralenconcentraten zijn als één mesttype beschouwd: MC.

De resultaten van de REML analyse zijn weergegeven in tabel 26.

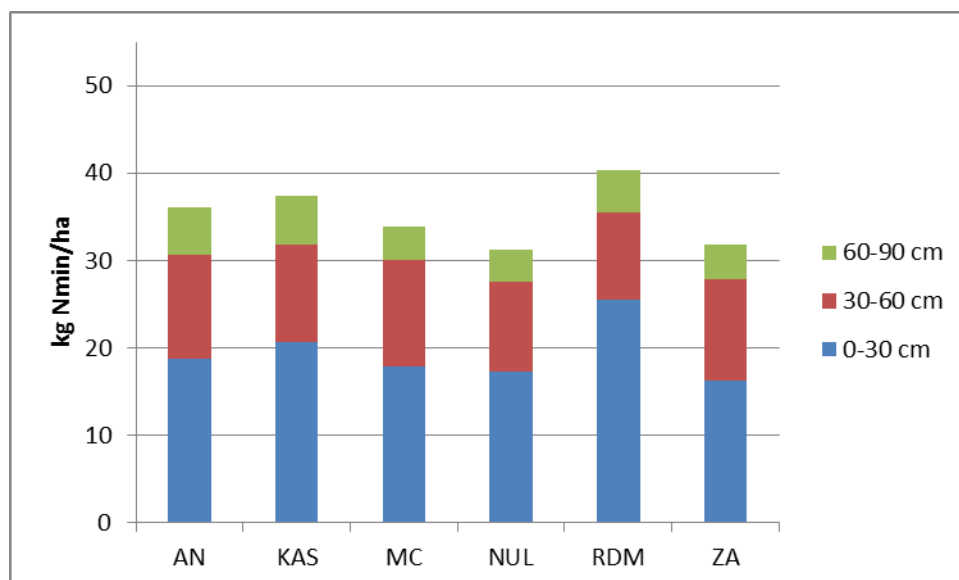
Tabel 26 REML model, significante factoren voor N-mineraal in de bodem

Fixed term	probability
grondsoort	0.559
esttype	0.021
Bodemlaag	<0.001
grondsoort.mesttype	0.927
grondsoort.bodemlaag	<0.001
mesttype.bodemlaag	0.002
grondsoort.mesttype.bodemlaag	0.006

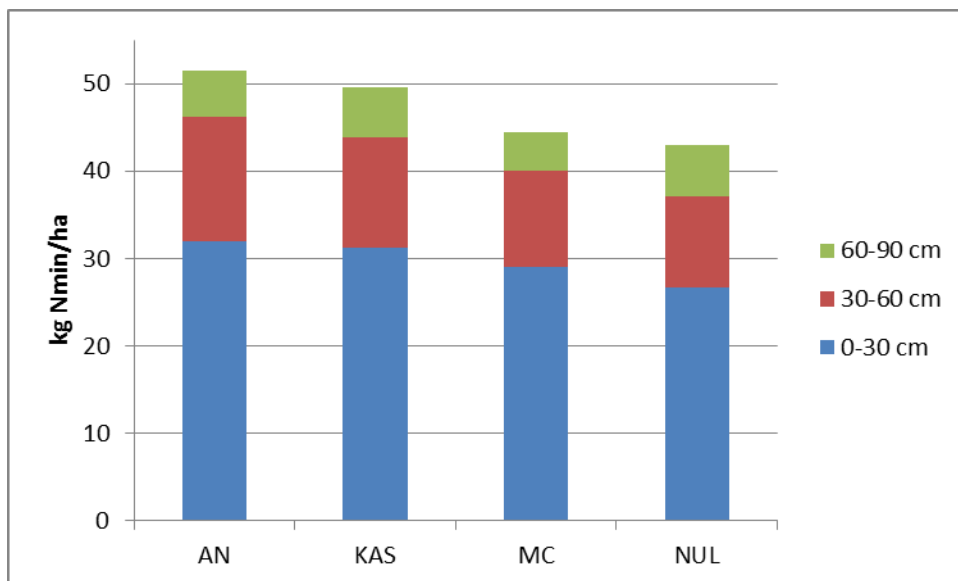
*probability lager dan 0,05 betekent significante verschillen.

Net als in alleen 2012 blijkt het N-niveau geen significant effect te hebben op de N-min voorraad in de bodem. Er is geen hoofdeffect van grondsoort; dit effect zit in de interactie met bodemlaag en met mesttype en bodemlaag.

Op basis van de analyse is het mogelijk om een model te maken. Dit model schat de N-min waarden voor de grondsoorten zand en klei per mesttype voor de 3 lagen 0-3-, 30-60 en 60-90. De modelmatig voorspelde N-min waarden zijn per grondsoort weergegeven in de volgende 2 figuren



Figuur 15 Met REML berekende N-min gehalten in de bodem op een zandgrond bij gebruik van verschillende mestsoorten (AN: ammoniumnitraat, MC: mineralenconcentraat, RDM: rundveedrijfmest, NUL: onbemest en ZA: vloeibare zwavelzure ammoniak).

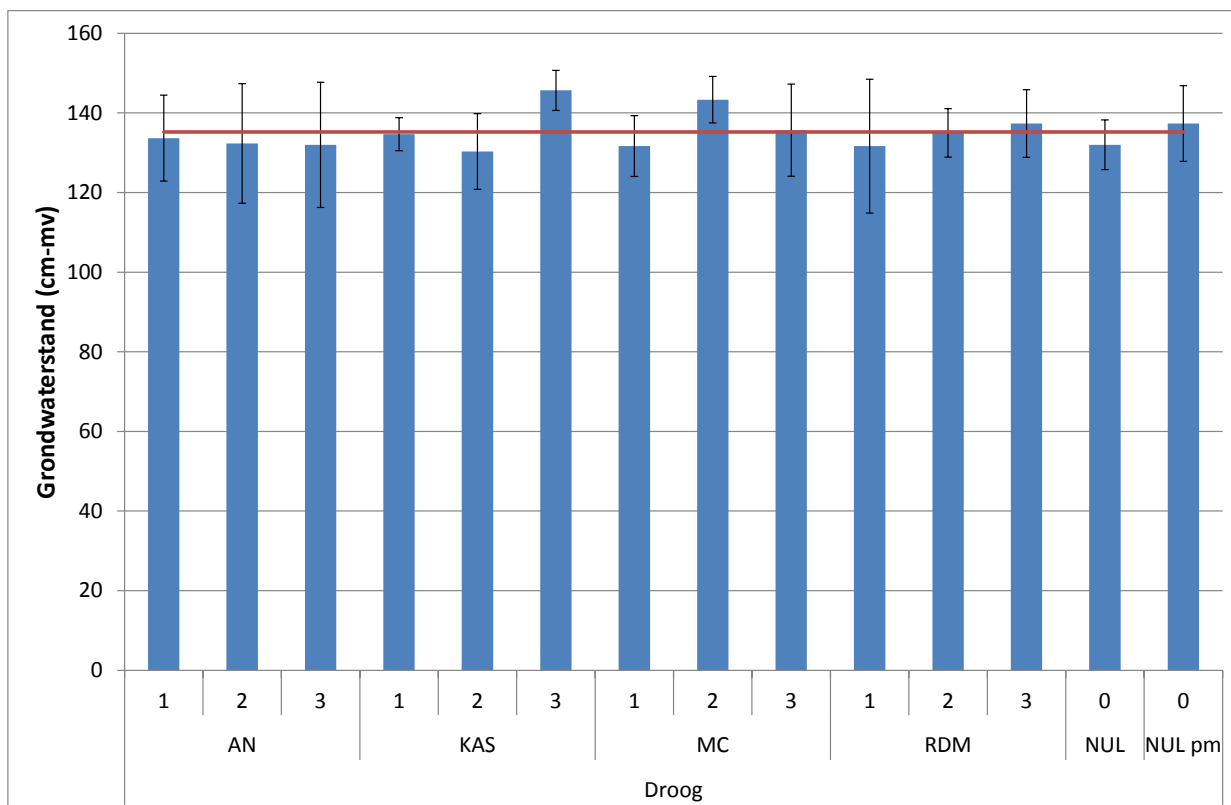


Figuur 16 Met REML berekende N-min gehalten in de bodem op een kleigrond bij gebruik van verschillende mestsoorten (AN: ammoniumnitraat, MC: mineralenconcentraat, NUL: onbemest).

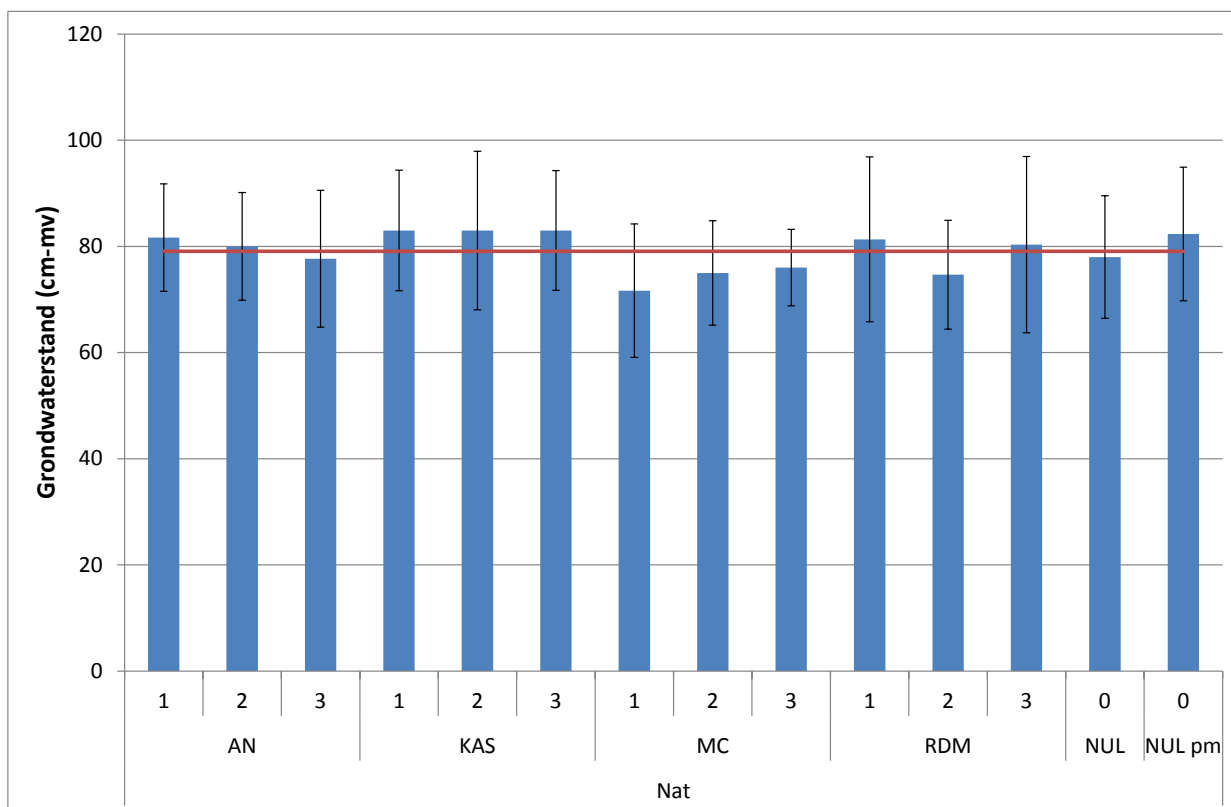
Uit de figuren 15 en 16 is te zien dat de N-min gehalten op klei in het algemeen hoger liggen dan op zand, hoewel dit hoofdeffect niet significant is. Het effect van grondsoort zit vooral in de combinatie met de bodemlaag: op klei zijn de gehalten in de laag 0-30 duidelijk hoger dan op zand. Een ander deel van het grondsoorteffect zit in de 3-weg interactie tussen grondsoort, bodemlaag en mesttype. Dit betekent dat er bij verschillende mestsoorten een grote spreiding voorkomt in de N-min waarden in de laag 0-30 cm. Deze spreiding is ook nog verschillend voor de 2 grondsoorten. Het N-min gehalte bij gebruik van het mineralenconcentraat (MC) is in elk geval niet hoger dan bij het gebruik van KAS. In de lagen 0-30 en 60-90 is het gehalte N-min zelfs lager.

3.11 Nitraat in grondwater

In het voorjaar van 2013 zijn grondwatermonsters genomen om te analyseren of er residuen van de stikstofbemesting in de vorm van nitraat terug te vinden is in het grondwater. Het maaiveld van het droge perceel vertoonde een licht golvend patroon. Ter hoogte van de dalen dan wel pieken was de gemeten grondwaterstand ondieper dan wel dieper. Op basis hiervan is verwacht dat de grondwaterspiegel in het perceel vrij vlak geweest is, in ieder geval vlakker dan het licht golvende patroon van het maaiveld. Het maaiveld van het natte perceel liep enigszins bol. De grondwaterstanden in het midden van het perceel waren dieper dan meer aan de rand. Naar verwachting zal de grondwaterspiegel in het perceel, ondanks de lichte bolling in het maaiveld, ook vrij vlak geweest zijn, waardoor het grondwater steeds uit ongeveer de zelfde laag is afgetapt. De gemiddelde grondwaterstand op het droge perceel bedroeg 135 cm-mv. Binnen het perceel varieerde de grondwaterstand tussen 117 en 151 cm-mv. De gemiddelde grondwaterstand op het natte perceel bedroeg 79 cm-mv. Binnen het perceel varieerde de grondwaterstand tussen 60 en 98 cm-mv. In figuur 9 zijn de gemiddelde grondwaterstanden per behandeling weergegeven voor beide percelen.



Figuur 17 Gemiddelde grondwaterstand op het drogere perceel (incl. standaardafwijking) per behandeling in cm-mv. De rode lijn geeft het perceelsgemiddelde weer.



Figuur 18 Gemiddelde grondwaterstand op het nattere perceel (incl. standaardafwijking) per behandeling in cm-mv. De rode lijn geeft het perceelsgemiddelde weer.

Nitraat

De gemiddelde nitraatconcentratie op het droge perceel was 13.6 mg NO₃-N per liter. De laagst gemeten nitraatconcentratie op het droge perceel is 2.2 mg NO₃-N per liter en de hoogst gemeten nitraatconcentratie is 50.4 mg NO₃-N per liter. De hoogst gemeten nitraatconcentratie op het natte perceel was 0.5 mg NO₃-N per liter. De laagst gemeten en gemiddelde nitraatconcentratie op het natte perceel zijn lager dan de detectielimiet van de analysemethode (zijnde 0.03 mg NO₃-N per liter).

In een analyse (REML) is gekeken naar verschillen in nitraatconcentratie in het grondwater.

De analyse gaf de volgende significante effecten aan:

Tests for fixed effects

Fixed term	F. propability
mestsoort	<0.001
Locatie	<0.001
mestsoort.Locatie	<0.001

Het N niveau bleek verrassend niet significant, ook niet als interactie met het perceel of de mestsoort. Het model heeft per mestsoort de volgende nitraatgehalten berekend per perceel:

Mestsoort	AN	KAS	MC	NUL	NUL pm	NUL zb	RDM	ZA
Droog	15,9	19,2	16,1	7,8	12,4	2,2	13,9	
Nat	2,3	2,2	2,3	2,3	2,2	2,2	2,3	2,2

De verschillen tussen de mestsoorten zijn klein. Wel zijn er duidelijke verschillen met de onbemeste situatie. Ook de individuele perceelsverschillen zijn groot. Het perceel met de laagste opbrengst (Droog) gaf de hoogste concentraties in het grondwater, echter bij alle gebruikte meststoffen. Het gebruik van mineralenconcentraten leidt in elk geval niet tot hogere nitraatconcentraties in het grondwater.

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 toediening 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 'afdraaioproef'. 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 afdraaioproef is een tabel gemaakt die bij diverse kraanstanden voor 1 en 1,5 bar de afgegeven opbrengst weergeeft, bij een vaste (constante) rijsnelheid van de trekker. Wanneer de werkelijke gift die nodig is, iets afwijkt van de gift in de tabel, wordt door middel van een snelheidsaanpassing deze gift uiteindelijk gehaald. De trekker is hiertoe uitgerust met een geijkte snelheidsmeter. De exacte onnauwkeurigheid van de afgifte is niet bepaald maar geschat wordt dat die enkele procenten zal zijn. De rijsnelheid van de trekker op het veld 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 gehalten zijn bepaald, zijn genomen uit de tank van de machine, die zorgt dat de vloeistof voortdurend in beweging is. Verwacht wordt dat er een goed representatief monster is genomen. De gehalten van de concentraten zijn bepaald in een gecertificeerd laboratorium. Verwacht wordt dat deze betrouwbaar zijn.

De toediening van de KAS en de P- en K-meststoffen is uitgevoerd met een proefveldkunstmeststrooier met een zeer betrouwbare dosering.

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

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

In

Tabel 27 is een overzicht van de berekende werkingscoëfficiënten over alleen 2012 en over alle jaren (2009 t/m 2012) gegeven. In alle gevallen is de werkingscoëfficiënt lager wanneer gerekend wordt met de N-opbrengst dan wanneer gerekend wordt met de droge stofopbrengst.

In de overall-analyse is locatie vervangen door grond(soort). Hiermee is het verschil getoetst tussen klei (2 locaties Waiboerhoeve; 2009-2010) en zand (5 locaties rondom Heino; 2009-2012). In de analyse van 2012 is wel gekozen voor de factor locatie: dit is het verschil tussen een droog en een nat perceel op zand.

De berekening van de N-werkingscoëfficiënt op basis van de N-opbrengst blijkt van minder factoren af te hangen dan op basis van de ds-opbrengst: Ngift in interactie met grond en met het aantal malen bemesten heeft onder deze omstandigheden geen invloed op de N-werkingscoëfficiënt.

Hoewel locatie (droog vs. nat in 2012) wel een niveauverschil geeft (op basis van N-opbrengst), heeft het geen effect op de meeropbrengst voor elke kg gegeven N en daarmee ook geen effect op de werking.

Tabel 27 Berekende werkingscoëfficiënten van het MC in 2012 en van alle concentraten gemiddeld over 2009-2012.

	Droge stofopbrengst		N-opbrengst	
	Tov KAS	tov ANvl	Tov KAS	tov ANvl
Zand 2012	94	94	81	83
Zand (2009-2012)	82	93	75	89
Klei (2009-2010)	69	93	58	92

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 is in dit geval die zijn op basis van N-opbrengst. Voor het naar buiten rapporteren van de uiteindelijke N-werkingscoëfficiënt zal voor deze laatst genoemde vergelijking 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. De spreiding in werking van het anorganische deel zal naar verwachting gelijk zijn aan die van KAS.

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 (maar de werking relatief laag), de spreiding in werkingscoëfficiënt bedraagt over deze jaren 47 tot 78%. Door de betere werking in 2011 en 2012 is de spreiding echter toegenomen (spreiding tussen 47% en 91% werking) Bij toename van het aantal proefjaren en producten (verschillende concentraten) neemt in eerste instantie bij het toetsen van het mineralenconcentraat de spreiding toe. Dit geldt echter ook voor de spreiding in de werking van KAS. Bij (veel) meer proefjaren zal de spreiding waarschijnlijk steeds in een bestaand traject liggen, omdat niet mag worden verondersteld dat de werking van het MC plotseling veel meer dan 100% van de KAS werking zal gaan bedragen.

In het rapport van Bruinenberg & van Middelkoop (2004) over runderdrijfmest is de werking bepaald over meerdere jaren, proeven en partijen drijfmest. De lagere spreiding bij de mineralenconcentraten, 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 in de eerste proefjaren (en met name op klei) 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 spreiding in werking van het MC op basis van KAS (27%: 54-81%) verschilt weinig in bandbreedte dan de werking van het MC op basis van AN (spreiding 23%: 79-102).

De vloeibare ammoniumnitraat gaf t.o.v. KAS maar een werking van 76%, gemiddeld over alle jaren en locaties, waarbij net als bij het MC de werking van AN op zand (4 jaar 84%) hoger was dan op klei (2 jaar, 62%).

Het aantal getoetste mineralenconcentraten en de verschillen in het organisch N gehalte zijn 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, terwijl gezien de samenstelling een ongeveer gelijke werking verwacht werd. Alleen in 2011 werkte de KAS iets minder dan de vloeibare ammoniumnitraat. Mogelijk heeft in 2011 de droogte een positief effect gehad op de werking van de vloeibare meststof(fen).

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 goed vergelijkbaar) toch een grote spreiding in werking. Deze effecten lijken van meer invloed op de droge stofopbrengst dan op de N opbrengst.

De spreiding werd sterk vergroot door de resultaten van 2011, met name doordat de werking in 2001 beter was dan in andere jaren. De proef in 2012 heeft deze spreiding niet verder vergroot, want de resultaten lagen in de bestaande range (zie ook paragraaf 4.3). 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 in dat jaar, maar geeft nog geen verklaring voor de lagere werking in de eerste twee proefjaren. Met deze laatste toediening is nl 3,25 tot 11 m³ water direct bij de wortels gebracht. In 2012 bleek de werking op het natte perceel echter niet beter dan op het droge perceel. Wel was de absolute opbrengst (niveauverschil) op het natte perceel hoger dan op droog, maar dit gold voor alle toegediende meststoffen.

4.5 Snijwerking van de machine

Een effect van het snijden van de zode op de opbrengst (negatief dan wel positief) is op basis van alle proefjaren (2009-2012) niet aangetoond. In alle jaren is het onbemeste object wel en niet gesneden en is geen significant opbrengstverschil aangetoond tussen het ongesneden en het gesneden object voor zowel de droge stofopbrengst als de N-opbrengst.

4.6 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 en de werking van het MC ligt ook dicht bij de werking van het AN (gemiddeld over alle jaren rond de 90%). Als ammoniakemissie een relatief grote rol gespeeld zou hebben tijdens het uitrijden (bijvoorbeeld door de hogere pH van het MC), zou een groter verschil in opbrengst en werking 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. De ammoniakemissie is niet daadwerkelijk gemeten, maar ook t.a.v. de werking van AN is de werking van MC lager (gemiddeld 11%). Door de hoge pH van het MC kan er dus mogelijk meer ammoniakemissie hebben plaatsgevonden.

4.7 Nadere analyse van de werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten

De N-werking van de mineralenconcentraten bleek lager te zijn dan verwacht, met name door de tegenvallende werking in het eerste proefjaar en de lagere werking op klei. 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..

Opvallend is dat de werking van mineralenconcentraten beter is wanneer vloeibaar ammoniumnitraat als referentie meststof wordt gebruikt (wc = 89%). 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 proeven (2009-2012) is aangetoond dat het snijden van de zode onder de proefomstandigheden in geen van de proefjaren een (negatieve) invloed had, zowel zonder N-bemesting als met N-bemesting (zie ook van Middelkoop en Holshof, 2011 en 2012). 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 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 uitgevoerd met ZA (vloeibaar en korrel) en in 2012 herhaald met ZA vloeibaar (op het natte perceel). Opvallend was dat ondanks de droogte, ZA vloeibaar een betere werking had dan KAS, maar ook de mineralenconcentraten hadden in 2011 een zeer goede werking. Door de droogte zou een nitraatmeststof het juist mogelijk beter doen, omdat er bij droogte weinig uitspoelt. Echter ook de vloeibare ammoniumnitraat deed het beter dan KAS, maar 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) een (grote) invloed heeft op de werking van de meststof. In 2012 bleken zowel de vloeibare AN als de vloeibare ZA weer een lagere werking te hebben dan KAS, waarbij ZA (100% ammonium) het weer minder deed dan AN. Dit geeft wel een aanwijzing dat er sprake kan zijn van een gecombineerd effect (vorm, toediening en N vorm), waarbij N in ammoniumvorm toch iets minder lijkt te werken, op basis van de proefgegevens uit 2012. Daarnaast zo ammoniakvorming door de hogere pH van het MC hogere concentraties ammoniak bij het wortelstelsel kunnen geven. Dit is schadelijk voor de wortels en de bodemprocessen worden geremd.

De werking is in de laatste twee proefjaren beter dan in voorgaande twee proefjaren. Er zijn echter veel factoren die dit hebben kunnen beïnvloeden: het weer, de gebruikte concentraten. In 2011 en 2012 is alleen het B concentraat gebruikt. Hoewel voortgang in techniek het resultaat zou kunnen hebben verbeterd, is de verhouding N mineraal – N organisch, dan wel de totale samenstelling van het mineralenconcentraat weinig veranderd in de jaren.

Opgemerkt dient te worden dat in 2011 en 2012 alleen op zandgrond is getoetst.

Bij de vergelijking van het MC met runderdrijfmest + KAS (op basis van vooraf berekende werking is de hoeveelheid N uit RDM+KAS gelijk aan de hoeveelheid zuivere KAS), bleek dat op basis van de toegediende N (N uit MC, KAS en totaal N uit RDM) de werking van de combinatie KAS+RDM een lagere werking te hebben dan het MC. Dit zou kunnen betekenen dat de vooraf aangenomen werking van de RDM (volgens de Adviesbasis bemesting grasland) in werkelijkheid niet gehaald is in 2012. Terug herleiden van deze werking is moeilijk, omdat de werking van alleen RDM niet bepaald is.

4.8 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 vier proefjaren op zand (en in 2010 op klei).

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 en denitrificatie uitgevoerd.

4.9 Nitraatconcentratie bovenste grondwater

In 2012 (bemonsterd in voorjaar 2013) is voor het eerst gekeken naar de effecten van het gebruik van de verschillende meststoffen op het N-gehalte in het bovenste grondwater. De resultaten in het grondwater komen min of meer overeen met de N-min gehalten in de bodem in de herfst. Blijkbaar komt in de winter geen extra N vrij bij bijvoorbeeld het mineralenconcentraat, dat uitspoelt naar het grondwater. Het gebruik van mineralenconcentraat lijkt dus niet te leiden tot extra verontreiniging (in verhouding tot het gebruik van KAS) met nitraat van het grondwater en is daarmee te vergelijken met KAS.

5 Conclusies

2012

- In 2012 was de werking van MC 81% ten opzichte van KAS en 83% ten opzichte van vloeibare AN (op basis van N opbrengst).
- Op basis van N opbrengst is geen verschil in werking op natte- of droge zandgrond
- Met de (beperkte) proefgegevens van het gebruik van vloeibare ZA op het natte perceel in 2012 lijkt dat een NH₄-N meststof iets minder te werken dan KAS (en AN). De N vorm kan dus een verklaring zijn voor de mindere werking van het MC.
- Toepassing MC heeft niet geleid tot meer nitraatuitspoeling naar grondwater ten opzichte van KAS.
- De werking van de RDM was 59% van de werking van KAS. Dit . Blijkbaar was de werking van de drijfmest lager dan vooraf was ingeschat op basis van de werkingscoëfficiënten uit de Adviesbasis Bemesting.

Overall

- De N-werkingscoëfficiënten van de mineralenconcentraten op basis van de N-opbrengst en met KAS als referentiemeststof variëren tussen 54 % en 81 % (op basis van alle proefgegevens van de jaren 2009-2012). Gemiddeld is de N-werkingscoëfficiënt van de mineralenconcentraten ten opzichte van KAS 75 % op zand en 58% op klei (zie tabellen 22, 23 en 27).
- De N-werkingscoëfficiënten van de mineralenconcentraten op basis van de N-opbrengst en met vloeibare ammoniumnitraat als referentie variëren tussen 79 % en 102 %. Gemiddeld is de N-werkingscoëfficiënt van de mineralenconcentraten ten opzichte van vloeibaar ammoniumnitraat 89 % op zand en 92 % op klei. Bij deze vergelijking is dus weinig verschil tussen de grondsoorten (zie tabellen 22, 23 en 27).
- Snijwerking lijkt 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. Alleen in 2011 lijken de vloeibare meststoffen in het voordeel te zijn door een droge periode.
- Er is een verschil in werking van het MC op zand- en kleigrond, maar de werking op een natte zandgrond is gelijk aan de werking op een droge zandgrond (proefresultaten 2012)
- Toepassing MC heeft niet geleid tot hogere gehalten aan minerale N in de bodem in het najaar ten opzichte van KAS. Het is niet duidelijk waar de niet-werkzame N uit mineralenconcentraten is gebleven. Mogelijk is een deel van deze N verloren gegaan door ammoniakemissie en/of denitrificatie of is in de bodem vastgelegd als organische N. Deze metingen zijn echter niet binnen deze proef uitgevoerd..

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 Buissonjé 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.
- Middelkoop J.C. van & G. Holshof, 2011. Stikstofwerking van mineralenconcentraat op grasland. Veldproeven 2009 en 2010. Rapport 475 , Wageningen Livestock Research.
- Middelkoop J.C. van & G. Holshof, Oktober 2012. Stikstofwerking van mineralenconcentraat op grasland. Veldproeven 2009, 2010 en 2011. Rapport 643 , Wageningen Livestock Research.
- 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.
- Veldhof, G.L., 2011. Synthese van het onderzoek in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten. Alterra-Rapprt 2211. Alterra, onderdeel Wageningen-UR.
- 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
Aver Heino	2012	26 maart	15 mei	13/15 juni
Waiboerhoeve	2009	24 maart	8 mei	11 juni
Waiboerhoeve	2010	30 maart	11 mei	9 juni

Bijlage 2**Tabel 28** N min bodemlagen 0-30, 30-60, 60-90 en totaal 0-90 op zand in 2012 bij een N niveau van 0, ongeveer 100 ,200 en 300 kg N/ha.

Locatie	Mest soort	Nniv	Bodemlaag			
			0-30	30-60	60-90	0-90
AH Droog	AN	1	13.2	3.6	1.6	18.4
		2	26.1	5.5	1.5	33.0
		3	21.0	11.7	2.1	34.8
	KAS	1	22.7	6.0	1.7	30.4
		2	20.9	2.0	3.9	26.7
		3	25.1	5.1	1.2	31.4
	MC	1	15.9	4.6	1.8	22.3
		2	18.6	3.9	1.0	23.4
		3	22.2	3.7	1.0	26.9
	NUL	0	15.2	3.8	1.3	20.3
	NULpm	0	19.6	6.7	1.2	27.6
	RDM	1	25.4	4.7	1.8	31.9
		2	31.1	9.3	1.8	42.2
		3	22.7	9.1	1.3	33.1
AH Nat	AN	1	20.5	7.7	5.0	33.2
		2	14.8	8.9	5.6	29.3
		3	17.0	4.6	2.0	23.5
	KAS	1	15.3	6.3	3.6	25.2
		2	23.3	7.8	3.1	34.2
		3	17.5	7.7	3.2	28.4
	MC	1	7.4	8.2	3.5	19.2
		2	11.0	6.6	3.8	21.4
		3	11.9	6.7	2.2	20.7
	NUL	0	6.4	5.0	1.1	12.6
	NULpm	0	11.4	6.9	3.1	21.4
	RDM	1	23.0	6.4	2.9	32.3
		2	12.5	4.8	1.0	18.3
		3	18.8	5.8	1.1	25.7