



Effect van toediening van verdunde drijfmest met een zodenbemester op grasopbrengst en ammoniak- en lachgasemissies op zandgrond

G. Holshof, J. Huijsmans, G. Velthof

Rapport 1433



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Effect van toediening van verdunde drijfmest met een zodenbemester op grasopbrengst, ammoniak- en lachgasemissies op zandgrond

G. Holshof¹, J. Huijsmans², G. Velthof³

¹ Wageningen Livestock Research

² Wageningen Plant Research

³ Wageningen Environmental Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'B1 Emissiereductie methaan veehouderij' (projectnummer BO-43-105-032).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, juli 2023

Rapport 1433

Holshof, G., J. Huijsmans, G. Velthof, 2023. *Effect van toediening van verdunde drijfmest met een zodenbemester op grasopbrengst, ammoniak- en lachgasemissies op zandgrond*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1433.

Samenvatting NL Het verdunnen van mest is een mogelijke optie om ammoniakemissie na toepassing met een zodenbemester te verminderen. Het verdunnen van mest en mogelijke reductie van de ammoniakemissie kan leiden tot hogere emissies van het broeikasgas lachgas (N₂O). In 2020 en 2021 is op twee locaties in Overijssel een maaiproef uitgevoerd op zandgrond. Er werden twee verdunningen gebruikt: 1 deel mest op ½ deel water (1:0,5) en 1 deel mest op 1 deel water (1:1). Dit werd vergeleken met het toedienen van onverdunde mest. Gedurende één jaar (2021) zijn in een van de maaiproeven lachgasmetingen gedaan. In dezelfde jaren (2020 en 2021) zijn tijdens het bemestingsseizoen op één (andere) locatie ammoniakemissiemetingen uitgevoerd. Op acht tijdstippen is de emissie vergeleken tussen onverdund en verdund (1:0,5), beide toegediend met een zodenbemester op zandgrond. Er was geen significant opbrengstverschil (Ds en N) tussen de objecten met onverdunde mest en verdunde mest (in geen van de mest-watervedhoudingen). Het splitsen van (verdunde) mest over vier in plaats van drie sneden leidde gemiddeld tot een iets lagere (significante) opbrengst. De verschillen in totale N₂O-emissie tussen onverdunde en verdunde mest waren niet statistisch significant. De lachgasemissies van onverdunde en verdunde mest waren veel lager dan die van de nitraatmest KAS. Het ammoniakemissieonderzoek heeft niet geleid tot een effect van verdunning op de ammoniakemissie. Over de acht uitgevoerde experimenten kon geen robuuste emissiereductie worden waargenomen.

Summary UK: Diluting slurry is a possible option to reduce ammonia emission after application by shallow injection. The dilution of manure and possible reduction of ammonia emissions may lead to higher emissions of the greenhouse gas nitrous oxide (N₂O). In 2020 and 2021, a mowing trial was executed at two locations in Overijssel on sandy soil. Two dilutions were used: 1 part manure to ½ part water (1:0.5) and 1 part manure to 1 part water (1:1). This has been compared to applying undiluted manure. In 2021 N₂O was measured at one of the mowing trials. In the same years (2020-2021) ammonia emission measurements were carried out at one (other) location during the fertilization season. At eight points in time, the ammonia emission was compared with undiluted and diluted (1:0.5), both applied with a shallow injection. There was no significant (N and DM) yield difference between the objects with undiluted manure and diluted manure (in none of the manure-water ratios). Splitting (diluted) manure over four instead of three cuts led to a slightly lower (significant) yield on average. The differences in total N₂O emissions between undiluted and diluted slurry were not statistically significant. The N₂O emissions of undiluted and diluted slurry were much lower than those of the nitrate fertilizer CAN. The ammonia emission study did not lead to an effect of dilution on the ammonia emission. No robust emission reduction could be observed over the eight performed experiments.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/632631> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel 4.0 Internationaal-licentie.

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2023

De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

Wageningen 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 Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponereerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.
Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1433

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
Summary	11
1 Inleiding	13
2 Materiaal en methode	15
2.1 Veldproef effect opbrengst	15
2.1.1 Bemesting.	16
2.1.2 Maaien	17
2.1.3 Monsters	17
2.1.4 Statistische analyse	17
2.2 Veldproef effect op lachgas	18
2.2.1 Lachgasmetingen	18
2.2.2 Berekening N ₂ O emissies	19
2.2.3 Emissiefactor	19
2.3 Veldproeven ammoniakemissie	19
3 Resultaten	22
3.1 Veldproef effect opbrengst	22
3.1.1 Weersomstandigheden behorende bij de veldproeven rondom Luttenberg en Lemelerveld	22
3.1.2 Mestgiften en mestanalyse	25
3.1.3 Maaidata en maaiopbrengsten	27
3.1.4 N-opbrengsten	29
3.1.5 Berekende ANE en ANR	32
3.2 Veldproef: lachgasmetingen (alleen uitgevoerd in 2021)	33
3.3 Veldproeven ammoniakemissie metingen	35
3.3.1 Weersomstandigheden	36
3.3.2 Mestsamenstelling en mestgiften	36
3.3.3 Ammoniakemissie	37
3.3.4 Statistische vergelijking emissies onverdunde en verdunde mest	41
4 Discussie	44
4.1 Algemeen	44
4.2 Veldproef effect opbrengst	44
4.3 Lachgasmetingen	45
4.4 Veldproef Ammoniakmetingen	45
4.5 Overall	46
5 Conclusies	47
5.1 Conclusies veldproef effect opbrengsten	47
5.2 Conclusies lachgasmetingen	47
5.3 Conclusies veldproef ammoniakmetingen	47
Literatuur	48
Bijlage 1 Plattegrond proefvelden op de locaties Luttenberg en Lemelerveld	50
Bijlage 2 Bemesting proefvelden veldproef opbrengstbepaling	51
Bijlage 3 Maaioopbrengsten proefvelden veldproef opbrengstbepaling	55

Bijlage 4	Statistische analyses zonder de onbemeste velden	59
Bijlage 5	ANR en ANE per locatie per jaar op de opbrengstenproef	61
Bijlage 6	Weersomstandigheden tijdens de ammoniakemissiemetingen in 2020	57
Bijlage 7	Weersomstandigheden tijdens de ammoniakemissiemetingen in 2021	59



Woord vooraf

De melkveehouderij staat voor de grote opgave om haar ammoniakemissies fors te reduceren. Ruwweg 50% van de totale bedrijfsemisies zijn veldemissies. Wat weer vooral bestaat uit emissies bij het uitrijden van mest. Uitrijden van verdunde mest bij de sleepvoetmachine op klei en vee bleek circa 40% emissiereductie van ammoniakemissie op te leveren bij voldoende verdunning.

Wageningen University & Research is gevraagd door het Ministerie van LNV om te onderzoeken of verdunnen van mest bij een zodenbemester op zandgrond bij kan dragen aan het verlagen van de veldemissies op melkveebedrijven. Ook is gevraagd wat de effecten zijn op de emissie van lachgas. En of er opbrengstverschillen zijn tussen percelen die zijn bemest met verdunde en onverdunde mest.

Zodra duidelijk werd uit de metingen dat verdunning van mest bij een zodenbemester op zand geen significante ammoniak emissiereductie opleverde is dit gedeeld met LNV en met de melkveehouderijsector.

Het verwerken van de uitkomsten in een eindrapportage heeft helaas enige vertraging opgelopen.

Gerard Migchels
Projectleider



Samenvatting

De landbouw is op zoek naar methoden om de uitstoot van stikstof (N) te verminderen. Een deel van deze uitstoot vindt plaats in de vorm van ammoniak (NH_3), dat tijdens en na het toedienen van drijfmest vervluchtigt. Het verdunnen van drijfmest is een mogelijke optie om ammoniakemissie na toediening te verminderen. Uit eerder onderzoek bleek dat de ammoniakemissie bij drijfmesttoediening met een sleepvoet/sleefkouter op veen- en kleigrond lager was als de drijfmest was verdund. Drijfmest moet aan grasland op zandgrond met een zodenbemesting worden toegediend; toediening met sleepvoet of sleefkouter is niet toegestaan. Er is onderzoek uitgevoerd naar het effect van toediening van verdunde drijfmest met een zodenbemesting aan grasland op zandgrond op gewasproductie en N-efficiëntie en de emissie van ammoniak. Het verdunnen van mest en mogelijke reductie van ammoniakemissie kunnen mogelijk leiden tot een hogere emissie van het broeikasgas lachgas (N_2O). Daarom is in het onderzoek ook de emissie van lachgas bepaald.

In 2020 en 2021 is een maaiproef aangelegd op twee locaties in Overijssel op zandgrond. Er is gewerkt met twee verdunningen: 1 deel mest op ½ deel water (1:0,5) en 1 deel mest op 1 deel water (1:1). Dit is vergeleken met het toedienen van onverdunde mest. In alle objecten is de mest toegediend met een zodenbemester. De mest is in de eerste drie sneden toegediend (totaal 65 m^3). Er is één alternatief object waar de totale hoeveelheid over vier objecten is verdeeld (verdunning 1:1). Naast de objecten die alleen drijfmest toegediend hebben gekregen zijn al deze objecten ook nog gecombineerd met een kunstmest-N (KAS) gift, een 100% kunstmest (KAS) object en twee controle objecten zonder toegevoegde N (maar waarvan één object wel water heeft gekregen, toegediend met de zodenbemester) Van alle sneden is de droge-stof opbrengst en de N-opbrengst bepaald. De analyse is gedaan op de jaaropbrengsten (totaal vijf sneden), omdat bij gebruik van dierlijke mest waarschijnlijk sprake zal zijn van nawerking.

In 2020 en 2021 zijn op één locatie ammoniakemissiemetingen uitgevoerd tijdens het bemestingsseizoen. Op acht tijdstippen is de emissie vergeleken bij onverdunde en verdunde (1:0,5), beide toegediend met een zodenbemester. In 2021 is de emissie van lachgas op één van de locaties waar de maaiproef was aangelegd.

Resultaten

Er bleek gemiddeld een opbrengstverschil tussen zowel de locaties als de jaren. De onbemeste velden gaven de laagste opbrengst, maar er was weinig verschil tussen de jaren en tussen de locaties. Er was geen significant verschil tussen het onbemeste object en het onbemeste object dat alleen water (dezelfde hoeveelheid als in verdund drijfmest) toegediend heeft gekregen met de zodenbemester. Hieruit kan worden geconcludeerd dat, gegeven de omstandigheden en het N-niveau (onbemest), het toegediende water niet tot extra opbrengst heeft geleid. Met het verdunnen is maximaal 2,5 mm water toegediend (verdunning 1:1 voorjaarsgift), dus het verwachte effect lijkt daarmee op de groei duur van een snede ook minimaal.

Er was geen significant opbrengstverschil tussen de objecten met onverdunde mest en verdunde mest (in geen van de mest-water verhoudingen). Het opsplitsen van (verdunde) mest over vier in plaats van drie sneden leidde gemiddeld tot een iets lagere (significant) opbrengst. Deze conclusie geldt zowel voor de droge stof opbrengst als de N-opbrengst. Er zijn dus geen aanwijzingen dat verdunnen van mest leidt tot een efficiënter N-gebruik door extra productie van droge stof of door een hoger N gehalte.

De N_2O - emissiefactoren voor drijfmest (0,04% van de toegediende N voor onverdunde drijfmest en 0,14 – 0,17% voor verdunde drijfmesten) waren lager dan de gemiddelde emissiefactor van 0,3% uit eerder onderzoek. De verschillen in totale N_2O -emissie tussen onverdunde en verdunde drijfmesten waren niet statistisch significant. De emissies van onverdunde en verdunde drijfmesten waren veel lager dan die van de nitraathoudende kunstmest KAS. De emissiefactor voor KAS was in dit onderzoek 0,6%, dat redelijk in lijn ligt met de gemiddelde emissiefactor voor KAS op grasland uit eerder studies ($0,8 \pm 0,1\%$). Het verdunnen van drijfmest leidde niet tot een hogere N_2O -emissie bij toediening met een zodenbemester aan grasland op zandgrond.

De gemeten hoogten van de ammoniakemissies zijn sterk afhankelijk van de omstandigheden tijdens en de eerste dagen na de toediening. Voor de ammoniakemissie zijn geen duidelijke aanwijzingen gevonden voor een effect van verdunnen wanneer mest wordt toegediend met een zodenbemester (zandgrond). Over de acht uitgevoerde experimenten kon geen robuuste emissiereductie waargenomen worden.

Summary

Agriculture is looking for ways to reduce nitrogen (N) emissions. Part of this emission takes place in the form of ammonia (NH₃), which volatilizes during and after the application of slurry. Diluting slurry is a possible option to reduce ammonia emission after application. Earlier research showed that the ammonia emission after slurry application with a trailing foot on peat and clay soils was lower when the slurry was diluted. Slurry application to grassland on sandy soil is prescribed as shallow injector (open slot); application with trailing foot is not permitted. Research has been carried out into the effect of applying diluted slurry with a shallow injector to grassland on sandy soil on crop production and N-efficiency and the emission of ammonia. The dilution of manure and possible reduction of ammonia emissions may lead to higher emissions of the greenhouse gas nitrous oxide (N₂O). That is why the emission of nitrous oxide was also determined in the study.

In 2020 and 2021, a mowing trial was executed at two locations in Overijssel on sandy soil. Two dilutions were used: 1 part manure to ½ part water (1:0.5) and 1 part manure to 1 part water (1:1). This has been compared to applying undiluted manure. In all objects, the manure was applied by shallow injection (open slot). The manure was applied in the first three cuts (total 65 m³). There is one alternative object where the total amount is divided over four cuts (dilution 1:1). In addition to the objects that only received slurry, all these objects were also combined with a fertilizer-N (CAN) application, a 100% fertilizer (CAN) object and two control objects without added N (but one object was watered, applied with the slurry injector) The dry matter yield and the N yield were determined for all cuts. The analysis is based on annual yields (a total of five cuts), because the use of animal manure will probably have an after/rest-effect.

In 2020 and 2021, ammonia emission measurements were carried out at one location during the fertilization season. At eight points in time, the emission was compared between undiluted and diluted (1:0.5), both applied by shallow injection. In 2021, the emission of nitrous oxide was measured at one of the locations where the mowing test was installed.

Results

There appeared to be an average yield difference between both the locations and the years. The unfertilized fields gave the lowest yield, but there was little difference between years and between locations. There was no significant difference between the unfertilized object and the unfertilized object that only received water by shallow injection (the same amount as in diluted slurry). It can be concluded from this that, given the circumstances and the N-level (unfertilized), the applied water did not lead to extra yield. A maximum of 2.5 mm of water was applied (dilution 1:1 spring dose), so the expected effect on the growth duration of a cut also appeared to be minimal.

There was no significant yield difference between the objects with undiluted manure and diluted manure (in none of the manure-water ratios). Splitting (diluted) manure over four instead of three cuts led to a slightly lower (significant) yield on average. This conclusion applies to both the dry matter yield and the N yield.

There are therefore no indications that diluting manure leads to more efficient N use due to extra production of dry matter or due to a higher N content.

N₂O emissions were low and slurry emission factors (0.04% of applied N for undiluted slurry and 0.14 – 0.17% for diluted slurry) were lower than the average emission factor of 0.3% from previous research. The differences in total N₂O emissions between undiluted and diluted slurry were not statistically significant. The emissions of undiluted and diluted slurry were much lower than those of the nitrate fertilizer CAN. The emission factor for CAN in this study was 0.6%, which is reasonably in line with the average emission factor for CAN on grassland from previous studies (0.8 ± 0.1 %). Diluting slurry did not lead to higher N₂O emissions when applied to grassland on sandy soil by shallow injection.

Measured ammonia losses strongly depend on the circumstances (i.e. weather) during the first days after slurry application. The ammonia emission study did not lead to an effect of dilution on the ammonia emission. No robust emission reduction could be observed over the eight experiments performed.



1 Inleiding

Een mogelijke manier om de ammoniakuitstoot bij het toedienen van dierlijke mest te verminderen is het verdunnen van de mest bij uitrijden. Op veen- en kleigrond zijn hier bij sleepvoetbemesting positieve waarnemingen over gedaan. Het toedienen van verdunde mest met een sleepvoet op grasland leidt tot forse emissiereductie van ammoniak (NH_3). Bij 0,5 deel water op 1 deel mest is dit 45% reductie (Huijsmans et al., 2017). Deze resultaten gelden voor het toedienen van mest op veen- en kleigrond; er heeft echter nog geen onderzoek plaatsgevonden naar de reductie bij het uitrijden van verdunde mest met een zodenbemester op grasland op zandgrond.

De Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM, 2020) heeft in december 2019 een advies uitgebracht. In dit advies geeft zij een voorzichtige schatting van mogelijk 20-30% reductie aan bij het uitrijden van verdunde mest met een zodenbemester; een onderbouwing/vaststelling door middel van experimenteel onderzoek mist echter. De CDM geeft verder aan dat het toedienen van verdunde mest het risico op lachgasemissie (N_2O) mogelijk kan vergroten ten opzichte van onverdunde mest, omdat er meer stikstof (N) in de bodem blijft en er waarschijnlijk een grotere kans is op zuurstofloze omstandigheden (lachgas wordt gevormd onder zuurstofloze omstandigheden). De commissie geeft in haar aanbeveling voorwaarden en aspecten mee voor onderzoek.

De aanleiding van voorliggend onderzoek is het terugdringen van de NH_3 -emissie bij het toedienen van dierlijke mest (runderdrijfmest, RDM) bij toepassing van zodenbemesting op zandgrond en nagaan of er bij deze maatregel een effect is op de opbrengst en of er een risico bestaat op afwenteling naar het broeikasgas lachgas (N_2O).

Het is dus zaak om experimenteel in veldonderzoek vast te stellen wat het effect is van verdunnen van mest bij zodebemesting op zandgrond (grasland). Verder is een goede borging noodzakelijk om de mate van verdunning te kunnen controleren, maar dat valt buiten de scope van dit veldonderzoek. Middels een maaiproef/veldproef op zandgrond (bij variatie in natuurlijke vochtvoorziening) is in voorliggend experiment gekeken naar het effect van het toedienen van verdunde drijfmest met een zodenbemester, waarbij in dit onderdeel (veldproef) de volgende doelstelling is getoetst:

- Vaststellen van de effecten van het uitrijden van verdunde mest op gewasopbrengsten en stikstofbenutting en lachgasproductie

Daarnaast is met veldproeven op praktijkschaal (eveneens op zandgrond) de ammoniakemissie rond het uitrijden en in de tijd daarna gemeten in de lucht:

- Vaststellen van de effecten van het uitrijden van verdunde mest op ammoniakemissie naar de lucht

Te verwachten resultaten

- 1) Via veldmetingen zijn de effecten van verdunnen op de gewasopbrengsten en de stikstofbenutting vastgesteld;
- 2) Via veldmetingen zijn de effecten van verdunnen op de lachgasemissie vastgesteld;
- 3) Via veldmetingen zijn de effecten van verdunnen op ammoniakemissie vastgesteld.

Het onderzoek dat is uitgevoerd in 2020 en 2021 bestaat uit de 3 genoemde onderdelen die in deze rapportage worden besproken:

- Veldproeven: opbrengstmetingen (2020-2021)
- Veldproef: lachgasmetingen (alleen in 2021)
- Veldproeven ammoniakemissie bij uitrijden (2020-2021)

Veldproeven opbrengst

In 2020 en 2021 is een twee-jarige (maai)proef uitgevoerd op zandgrond. De proeven werden op twee locaties aangelegd (Luttenberg en Lemelerveld). In beide proeven werd runderdrijfmest (RDM) zowel onverdund als verdund (2 delen mest op 1 deel water; 1:0,5 en 1 deel mest op 1 deel water, 1:1) opgenomen in de vergelijking. Daarnaast zijn alle drijfmestobjecten zowel met als zonder extra N uit

kunstmest. De totale jaarlijkse drijfmestgift werd gespreid over drie giften gedurende het seizoen en één object met vier giften.

De relatie tussen toegediende mest en opgenomen N is onderzocht. In de proeven lag de nadruk op mogelijke verschillen in N-opname tussen de verdunningen. Meer opgenomen N door het gewas, betekent in theorie een hogere N-benutting en minder stikstofverliezen naar het milieu. De verschillen zijn op jaarbasis getoetst. Alle objecten hebben per snede steeds dezelfde groeiduur (dus groeiomstandigheden) gehad.

Veldproef lachgasemissie

Daarnaast werd op één locatie (Luttenberg) in 2021 binnen deze veldproef ook het effect van verdunnen op lachgasemissie gemeten. Verdunnen van mest heeft mogelijk een effect op de emissie van lachgas (N_2O). N_2O wordt in de bodem gevormd door nitrificatie en denitrificatie (Rietra en Velthof, 2014; Butterbach-Bahl et al., 2013). Denitrificatie is het proces dat voor de meeste N_2O -emissies zorgt (Velthof en Rietra, 2018). Hierbij zetten bacteriën nitraat in de bodem om naar stikstofgas (N_2) en N_2O waarbij koolstof als energiebron gebruikt wordt (Firestone et al., 1989; Velthof en Rietra, 2018). Deze omzetting gebeurt onder zuurstofloze omstandigheden en de snelheid hangt o.a. af van de beschikbaarheid van minerale stikstof, koolstof en de temperatuur (Velthof en Rietra, 2018). Door het verdunnen van mest, worden de omstandigheden in de grond gunstiger voor denitrificatie. Het toevoegen van water zorgt voor meer zuurstofloze omstandigheden en de drijfmest is een bron van beschikbare koolstof en stikstof. Als het verdunnen van mest leidt tot minder ammoniakemissie, dan is er meer minerale stikstof aanwezig in de bodem en dit kan leiden tot meer N_2O -emissie. De hypothese die in deze proef dan ook is onderzocht is: de N_2O -emissie uit verdunde mest is hoger dan onverdunde mest bij toediening met een zodenbemesting, omdat er bij zodenbemesting meer stikstof in de bodem aanwezig is (door lagere ammoniakemissie) en toediening van water mogelijk leidt tot zuurstofarmere omstandigheden in de meststleuf.

Veldproeven ammoniakemissie

De effecten van toedieningstechniek, mestdosering, veld- en weersomstandigheden op de ammoniakemissie kunnen verstrengeld zijn. Voor verschillende toedieningstechnieken is aangetoond dat een reductie in ammoniakemissie mogelijk is door de mest in stroken of in sleuven toe te dienen en daarmee het contact met de buitenlucht te verkleinen (Huijsmans & Schils, 2009; Goedhart & Huijsmans, 2017). Verdunnen van de mest kan bijdragen aan emissiereductie doordat de mest mogelijk sneller de bodem inspoelt en daarmee het contact met de buitenlucht verkleint, maar ook dat de ammoniakale concentratie (TAN; totaal ammoniakaal stikstof) in de mest verlaagd wordt en daarmee een verkleinde drijvende kracht door een minder groot verschil met de buitenlucht achtergrond. Verdunnen betekent echter ook dat bij een gelijkblijvende N-gift het volume uitgereden verdunde mest evenredig groter wordt hetgeen kan betekenen dat de emissie verhoogt. De opzet van het voorliggende onderzoek is gericht op het verkrijgen van inzicht in het effect van de verdunning door een vergelijking te maken tussen de emissie bij toediening van verdunde en onverdunde mest bij toediening met een zodenbemester op grasland op zandgrond. Dit betekende dat gewerkt werd met één mestsoort en een vooraf gekozen mestdosering en dat de metingen op de velden met verdunde en onverdunde mest zoveel mogelijk gelijktijdig werden uitgevoerd. De metingen zijn uitgevoerd op een perceel zandgrond van proefboerderij Unifarm van Wageningen Universiteit & Research. In totaal zijn 4 vergelijkende emissiemetingen uitgevoerd in het bemestingseizoen 2020 en vier in 2021.

2 Materiaal en methode

2.1 Veldproef effect opbrengst

Om de (N)efficiëntie van het al dan niet verdunnen van drijfmest bij toedienen te kunnen meten is een veldproef opgezet. De proef is opgezet als maaiproef om de toegediende hoeveelheid N goed te kunnen reguleren. Een beweidingsproef zou een onzekere aanvoer van N betekenen. In de maaiproef worden alle objecten gelijktijdig gemaaid, zodat alle groei (van de verschillende objecten) onder gelijke omstandigheden heeft plaatsgevonden. Er is gestreefd naar een opbrengststadium dat past bij een praktijkmaaisnede. Dat wil zeggen dat de eerste snede wat zwaarder is gemaaid (streeftraject 4-5 ton ds/ha) en de snedezwaarte later in het seizoen is afgebouwd naar ongeveer 2 ton ds/ha voor de laatste snede. Met een gemiddelde groeiduur van ongeveer 4 weken voor een snede worden met dit schema ongeveer 5 sneden per jaar geoogst. Gekozen is voor proefvelden op zandgrond, om de werking van de zodenbemester in combinatie met deze grondsoort te toetsen.

De proef is aangelegd op twee zandpercelen in twee gemeenten (Lemelerveld en Luttenberg), één perceel waarvan verwacht werd dat deze natter zou zijn (Luttenberg, coördinaten 52.405692, 6.398116) en één die normaal vochthoudend is (Lemelerveld, coördinaten: 52.434528, 6.360629). In onderstaande figuur (1) (Google maps) is de ligging van beide proefvelden weergegeven.



Figuur 1 Luchtopname locatie proefvelden (bron: Google maps). Links Luttenberg, rechts Lemelerveld.

De proef is op beide locaties aangelegd in vier herhalingen, waarbij alle objecten steeds in één blok liggen en de vier blokken achter elkaar in een lijn (zie figuur 1). De verschillende objecten staan in Tabel 1. De veldjes waren 3x10 meter, afgestemd op de gebruikte proefveldapparatuur (zodenbemester: 3 meter werkbreedte, Haldrup proefveldmaaier 1,50 meter werkbreedte (netto maaistroom)). De proef is gedurende twee opeenvolgende jaren (2020 en 2021) op exact dezelfde plaats uitgevoerd op beide locaties (behandelingen/plotjes twee jaar op dezelfde plek).

De hoofdvraag van dit onderzoek is om te toetsen of verdunde mest 'beter werkt', dat wil zeggen een hogere N-werkingscoëfficiënt heeft dan onverdunde mest. Daarnaast is de vraag hoe veel die mest dan verdund zou moeten worden voor een maximale stikstofbenutting. Om de werking te kunnen toetsen is deze proef opgezet als vergelijkingsproef met een situatie met onverdunde mest. De basisgift is gebaseerd op de hoeveelheid gegeven drijfmest in de onverdunde situatie. Wanneer sprake is van een verdunning van 1 deel water op 1 deel mest (1 : 1 verdunning) zal bij deze verdunning dus 50 m³ verdunde mest worden toegediend, wanneer de basisgift onverdunde mest 25 m³ zou zijn.

Omdat drijfmest in de praktijk vaak wordt toegediend in combinatie met (of wordt aangevuld met) een kunstmest-N gift, zijn in deze proeven ook objecten opgenomen waarbij de drijfmestobjecten gecombineerd zijn met kunstmest. Verder zijn 2 objecten opgenomen die helemaal geen mest krijgen (Controle) om de N-levering vanuit de bodem te kunnen schatten.

Van deze onbemeste objecten kreeg 1 object water toegediend met de zodenbemester, in een gelijke hoeveelheid die aan de hoogste verdunning is toegevoegd om te kunnen toetsen of er sprake is van een vochteffect. Naast deze 2 zogenaamde nul-objecten is ook een object toegevoegd met alleen kunstmest N. De drijfmest wordt toegediend aan de eerste 3 sneden. Daarnaast is 1 object waar dezelfde hoeveelheid drijfmest die aan 3 sneden wordt toegediend nu verdeeld wordt over 4 sneden. Totaal resulteert dit in 11 behandelingen (objecten), weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 Overzicht aangelegde objecten.

Object nr	Object letter	Object omschrijving
1	A	Controle ON
2	B	Controle ON met water
3	C	Zodenmesten onverdund
4	D	Zodenbemesten verdund met water 1:0,5
5	E	Zodenbemesten verdund met water 1:1
6	F	Zodenbemesten verdund met water 1:1 4x uitrijden
7	G	Alleen kunstmest N
8	H	Zodenmesten onverdund + kunstmest N
9	I	Zodenbemesten verdund met water 1:0,5 + kunstmest-N
10	J	Zodenbemesten verdund met water 1:1 + kunstmest-N
11	K	Zodenbemesten verdund met water 1:1 + kunstmest-N 4x uitrijden

Omdat de proef in 4 herhalingen is aangelegd, bestaat het totale proefveld uit 44 veldjes per locatie. De 11 objecten zijn per herhaling random geloot. De plattegrond van beide proefvelden is weergegeven in bijlage 1.

2.1.1 Bemesting



De gebruikte drijfmest is per locatie afkomstig van de veehouder/eigenaar perceel. Dat betekent dat er een natuurlijke variatie is in mestsamenstelling en dat ook per snede de samenstelling kan verschillen. De mest

is voor aanwending goed gemixt. De objecten met onverdunde mest (C en H) zijn het eerste toegediend, daarna de verdunning 1:0,5 (D en I) en vervolgens de objecten met de verdunning 1:1 (E, F, J en K). Als laatste is de tank gespoeld en is vervolgens 'nieuw' water toegediend op het nul-object. Bij elke verdunning is een monster genomen (ook van het water) dat is geanalyseerd op N, P en K.

In het voorjaar is in de onverdunde situatie 25 m³ drijfmest toegediend, na de eerste snede 20 m³ per hectare en na de tweede snede 15 m³ per hectare, totaal 60 m³ per hectare. In het (afwijkende) object F en K (4x toedienen van drijfmest) waren de giften 20, 15, 15 en 10 m³ per hectare en daarmee was de totale jaargift gift eveneens 60 m³ per hectare. In alle **verdunde** situaties was de hoeveelheid toegediende **zuivere drijfmest** steeds **gelijk** aan de onverdunde situatie.

In het voorjaar is de mest toegediend zodra het land een berijding zonder schade toeliet. Gedurende het seizoen is de mest zo snel mogelijk na maaien toegediend (soms de dag er na soms na 2-3 dagen; zie resultaten voor de data). De kunstmest is per veldje afgewogen en met de hand gestrooid, nadat de drijfmest was toegediend (soms op dezelfde dag, soms 1 of 2 dagen later). Alle objecten zijn aangevuld met P- en K-kunstmest naar het niveau van de drijfmestobjecten (op basis van een geschat P en K gehalte). Dit betekent in veel gevallen een overmaat aan P en K, zodat alleen de N (beperking) bepalend is voor de opbrengst.

De N uit kunstmest is gegeven in de vorm van KAS. P is aangevuld met tripelsuper (46%) en K met Kali-60.

2.1.2 Maaien

Er was gepland om ongeveer 5 sneden te maaien en in beide jaren zijn ook daadwerkelijk 5 sneden gemaaid. De maaimomenten liggen in de buurt van een (praktijk)maaisnede, maar om praktische reden (platrijden randen, wegmaaien bruto's en afvoeren gras) is het maaimoment afgestemd op het maaimoment van de veehouder op de rest van het perceel waar het proefveld op gesitueerd is. Bepalend hierin was de locatie Luttenberg. Op locatie Lemelerveld werd gras gebruikt voor zomerstalvoeding en kon een maaimoment altijd worden ingepast maar is steeds op dezelfde dag uitgevoerd als op locatie Luttenberg.

De proefvelden zijn gemaaid met een Hadrup proefveldmaaier met een werkbreedte van 1,50 meter. De strooklengte was steeds 10 meter. De grashoeveelheid van de gemaaide 15 m² werd steeds gewogen en per veld is een monster genomen ter bepaling van het droge stofgehalte en het N gehalte. Op basis van het versgewicht, de uitgemaaide oppervlakte en het bepaalde ds-gehalte is de ds-opbrengst berekend. Na analyse van het N-gehalte is met de ds-opbrengst en het N-gehalte ook de N-opbrengst (kg N/ha) berekend.

2.1.3 Monsters

Per uitrijmoment en per locatie is steeds een monster genomen van de mest bij elke verdunning en is ook het gebruikte water bemonsterd. De analyse is uitgevoerd door Eurofins (analyse mest) en bepaald is: N totaal, N-organisch, N-mineraal, P en K gehalte en drogestof percentage.

Per maaimoment is een gewasmonster gestoken en vers opgestuurd naar Eurofins. In de eerste snede is in 2020 een volledige voederwaarde-analyse uitgevoerd (NIRS). De eerste snede is in de praktijk de belangrijkste snede en daarom is in deze snede ook gekeken naar de totale voederwaarde. In de overige sneden is alleen het N-totaalgehalte bepaald (NIRS) om de N opbrengst te kunnen berekenen en daarmee de N-efficiëntie.

2.1.4 Statistische analyse

In de toets wordt bekeken of het verdunnen van drijfmest tot een vermindering van N verlies via vervluchtiging op zal treden. De NH₃-emissies zijn niet in deze veldproef meegenomen, maar in een separate proef. Wanneer minder ammoniak vervluchtigt, is de hypothese dat deze ten goede kan komen aan het gewas. Wanneer de aanname dat verdunnen van de mest de ammoniakemissie reduceert waar zo zijn, zullen de objecten met de verdunde varianten meer opbrengst (droge stof, of alleen N, dus hogere gehalten) geven. Omdat met name dierlijke mest vaak een nawerking geeft over meerdere sneden, geeft een toets per individuele snede te weinig informatie en daarom is de analyse op de totale jaaropbrengst uitgevoerd. Omdat de proef vierkant van opzet is, is de analyse uitgevoerd met een Anova. De herhalingen zullen worden opgenomen als blokeffect. Daarnaast zal worden gekeken of er sprake is van een locatieverschil en een jaareffect. Wanneer er geen significant locatieverschil, dan wel jaareffect is, zullen deze factoren als extra random (block) factor worden meegenomen, hetgeen de toets sterker maakt.

Om de efficiëntie te kunnen bepalen zijn extra berekeningen nodig, namelijk het (schijnbaar of apparent) N-effect afgekort met ANE en de schijnbare N terugwinning (ANR of apparent N-recovery).

De ANE is de hoeveelheid geproduceerde droge stof van een bemest object minus de geproduceerde drogestof opbrengst van het onbemeste object) gedeeld door de gegeven hoeveelheid N. Hetzelfde geldt voor de ANR alleen dan op basis van N opbrengst in plaats van drogestof opbrengst

Formules:

$$\text{ANE} = (\text{Dsopbr_xN} - \text{dsopbr_0N}) / \text{xN}$$

$$\text{ANR} = (\text{Nopbrengst_xN} - \text{Nopbrengst_0N}) / \text{xN}$$

Vervolgens is de berekende ANE en ANR weer getoetst met Anova, waarbij de onbemeste objecten buiten beschouwing blijven, omdat daar geen ANR en ANE van berekend kan worden.

2.2 Veldproef effect op lachgas

2.2.1 Lachgasmetingen

Om de N₂O-emissies te bepalen bij de verschillende behandelingen (zie I Veldproef effect opbrengst) is op het proefveld in Luttenberg in het tweede jaar (2021) van deze proef N₂O gemeten. Dit werd in het seizoen elke week gedaan (na bemesting, 2x in de week), buiten het seizoen is er om de week tot één keer per maand gemeten. Voor het meten van N₂O zijn in alle 44 veldjes ringen met een diameter van 20 cm in de bodem geplaatst. Op het moment van de meting werd een luchtdichte emmer met slangen over de ringen gezet als fluxkamer. Na een sluitingstijd van dertig minuten (exacte sluitingstijd is genoteerd) werd de fluxkamer verbonden met een gas analyser ((INNOVA 1512, LumaSense Technologies, Denemarken) om de N₂O-concentratie in de headspace te meten (zie figuur 2).



Figuur 2 Verbinden van fluxkamer INNOVA.

2.2.2 Berekening N₂O emissies

De N₂O-flux werd berekend uit het verschil tussen de N₂O-concentraties (C_t in ppm of μl per liter) na sluitingstijd (D_t in uur) minus de N₂O-concentraties op het moment van sluiten (C_0 in ppm; achtergrondwaarde), vermenigvuldigd met het volume (V) van de fluxkamer in liter en gedeeld door de sluitingstijd (Δt). De concentratie N₂O is omgerekend naar gram N₂O-N door te delen met het molair volume van een gas ($V_m = 22,4 \text{ L/mol}$) en te vermenigvuldigen met de molaire massa M van N₂O (1 mol N₂O = 44 gram) en met het oppervlakte in m² van de ringen (m). Daarnaast geldt er nog een conversiefactor (β) om N₂O naar N₂O-N om te rekenen (28/44). De emissie is per m² uitgedrukt. Voor de berekening van de N-N₂O flux wordt dan de volgende formule gebruikt:

$$Flux = \frac{(C_t - C_0)V}{\Delta t * V_m * M * \beta * m} \quad (\mu\text{g N}_2\text{O in N m}^{-2} \text{ uur}^{-1}) \quad (1)$$

Wanneer de slangen aan de fluxkamer bevestigd worden is er sprake van een gesloten systeem. De gemeten concentratie (C_2) wordt echter beïnvloed door de gasconcentratie (C_1) in de gasmonitor (het interne volume; $V_I = 0,055\text{L}$) en in de slangen (Volume slang; $V_s = 0,019\text{L}$) van de vorige meting. C_t is dus de voor het intern volume gecorrigeerde N₂O-concentratie.

$$C_t = \frac{((V + V_I + V_s) * C_2) - ((V_I + V_s) * C_1)}{V} \quad (\text{ppm N}_2\text{O}) \quad (2)$$

De gemiddelde N₂O-emissie per object is berekend o.b.v. het rekenkundig gemiddelde van de berekende N₂O-fluxen van de vier herhalingen per behandeling. De cumulatieve N₂O-emissie over een bepaalde periode is berekend o.b.v. een lineaire interpolatie van de N₂O-emissies op tussen de meetdagen. De verschillen tussen de behandelingen zijn getoetst door middel van ANOVA met een betrouwbaarheidsinterval van 95% ($p < 0,05$). Wanneer de data niet normaal verdeeld was, is met een Kruskal Wallis de significantie getest.

2.2.3 Emissiefactor

Om te bepalen welk gedeelte van de N-gift verloren gaat via N₂O-emissie, is voor elke behandeling ook een emissiefactor bepaald. Een emissiefactor is het percentage van de toegediende stikstof dat als N₂O verloren gaat. In de rapportages van N₂O-emissies worden emissiefactoren gebruikt. De Nederlandse rekenmethodiek in NEMA (National Emission Model Agriculture) staat beschreven in van der Zee et al. (2021) en de emissiefactoren uit deze rekenmethodiek zijn afgeleid door Velthof en Mosquera (2011). De emissiefactor wordt berekend uit het verschil in cumulatieve emissie tussen de onbemeste en bemeste behandeling als fractie van de N-gift:

$$\begin{aligned} & N_2O - \text{emissiefactor, in \% van toegediende N} \\ & = \frac{(N_2O_{N \text{ bemest}}) - (N_2O_{N \text{ onbemest}})}{N \text{ gift}} * 100 \quad (3) \end{aligned}$$

2.3 Veldproeven ammoniakemissie

In de vier proeven in 2020 en in de vier proeven in 2021 werden steeds op 2 velden mest uitgereden binnen een perceel. Op één veld onverdunde mest en op een ander veld verdunde mest in de verhouding 1 deel mest : 0,5 deel water (1:0,5). Op beide velden werd de mest uitgereden met een vooraf afgestelde zodenbemester. In 2020 zijn twee van de vier uitgevoerde proeven aangelegd na de 1^e snede gras en twee proeven na de 2^e snede gras. In 2021 zijn twee van de vier proeven uitgevoerd als voorjaarsbemesting (voorafgaand aan 1^e snede), een proef na de eerste snede en een proef na de tweede snede. Bij alle proeven werd rundermest uitgereden.

De ammoniakemissie werd gemeten met de micro-meteorologische massabalans methode. De micro-meteorologische massabalansmethode berust op de vergelijking van de 'binnenkomende' ammoniakstroom (flux) met de 'uitgaande' ammoniakstroom (Denmead, 1983; Ryden and McNeill, 1984). Beide fluxen worden gemeten in een denkbeeldig verticaal vlak dat loodrecht staat op de gemiddelde windrichting.

Bij deze meetmethode wordt een cirkelvormig bemest proefveld aangelegd van ca 0,15 ha, waarbij de meetmast die de uitgaande ammoniakflux meet in het midden van de cirkel wordt geplaatst (centrale mast). De binnenkomende ammoniakflux wordt gemeten met een mast die bovenwinds aan de rand van de cirkel staat (achtergrond mast). Bij de centrale mast werden op 5 verschillende hoogtes (logaritmisch verdeeld) de bemonsteringspunten geplaatst (op ca. 0,3, 0,5, 1,0, 2,0 en 3,3 m boven maaiveld (+mv)). Bij de achtergrondmast waren dit 3 meetpunten (op ca. 0,3, 2,0 en 3,3 m +mv).

De ammoniak in de lucht werd gemeten met behulp van een nat-chemische bemonsteringsmethode. Met impingers werd door middel van een pomp en aanzuigslangen circa 2,5 l min⁻¹ te bemonsteren lucht door gaswasflessen gevuld met 20 ml absorptievloeistof (0,02 M HNO₃) geleid. De ammoniakemissie na het toedienen van mest neemt exponentieel af in de tijd. Daarom werden de monsternamperiodes ingedeeld in de volgende tijdsperiodes (uren na toediening van de mest): 0-1; 1-3; 3-6; 6-9; 9-24 en 24-36, 36-48, 48-72 en 72-96 uur. Het ammoniumgehalte in de absorptievloeistof werd bepaald met een 'foto spectrometer'. De hoeveelheid bemonsterde lucht werd tweemaal per bemonsteringsperiode bepaald met behulp van rotorflowmeters. De bemeste proefvelden van ca. 0,15 ha waren bij benadering rond (diameter ca. 45 m), zodat bij verschillende windrichtingen de aanstroamlengte tot de centrale mast vrijwel gelijk bleef. Een cirkelvormig veld werd verkregen door de mest in banen van verschillende lengten uit te rijden. De lengte en breedte van deze banen werden opgemeten. Met de gemeten ammoniakconcentraties werd per monsternamperiode het concentratieprofiel bepaald, waarbij de concentratie afneemt met de hoogte van het monsternamepunt op de meetmast. Het concentratieprofiel werd gecorrigeerd voor de gemiddelde inkomende ammoniakflux (achtergrond-mast bovenwinds), waarbij de ammoniakconcentratie voor alle drie de monsternamepunten ongeveer gelijk is. Tegelijkertijd werd per monsternamperiode op verschillende hoogten de windsnelheid gemeten, waarmee een windprofiel kon worden opgesteld. Met de gemeten windrichting en de afmetingen van een proefveld werd per monsternamperiode de gemiddelde aanstroamlengte (fetch) tot de centrale mast bepaald. Vervolgens werd met het concentratie- en windprofiel en de fetch, de emissie per monsternamperiode berekend volgens Goedhart et al. (2020). De emissie per meetinterval wordt weergegeven als percentage van de met de mest toegediende ammoniumstikstof (NH₄-N). De totale (cumulatieve) emissie gedurende een meetsessie wordt verkregen door optelling van de bepaalde emissies in de aaneengesloten meetintervallen. Een meting van de ammoniakemissie startte direct na toediening van de mest en duurde tot 4 dagen per proef. Het eerder stoppen van een meting vond plaats wanneer er bijvoorbeeld in korte tijd overvloedige neerslag optrad. De metingen werden gespreid over het groeiseizoen uitgevoerd om zo ook verschillende veld- en weersomstandigheden binnen de metingen te betrekken. Tabel 3 geeft een overzicht van de uitgevoerde metingen in 2020 en 2021.

Tabel 3 *Tijdstip, proef, verdunningen, begin- en eindtijdstippen van de proeven.*

Jaar	Week	Proefnummer	Verdunning	Startdatum	Starttijdstip (uur:min)	Einddatum	Eindtijdstip (uur:min)
2020	21	1	Onverdund	22-05-2020	08:33	26-05-2020	07:47
			Verdund 1:0,5		09:01		07:59
	22	2	Onverdund	27-05-2020	08:18	31-05-2020	08:38
			Verdund 1:0,5		08:49		08:47
27 ¹⁾	3	Onverdund	03-07-2020	08:05	06-07-2020	06:50	
		Verdund 1:0,5		08:30		07:09	
28 ¹⁾	4	Onverdund	07-07-2020	08:38	09-07-2020	19:45	
		Verdund 1:0,5		09:01		19:54	
2021	12 ¹⁾	1	Onverdund	17-03-2021	08:32	19-03-2021	17:30
			Verdund 1:0,5		09:01		17:40
	13	2	Onverdund	22-03-2021	08:58	26-03-2021	07:54
			Verdund 1:0,5		09:20		08:03
23	3	Onverdund	09-06-2021	11:06	13-06-2021	22:08	
		Verdund 1:0,5		11:30		22:16	
29	4	Onverdund	20-07-2021	09:38	24-07-2021	07:54	
		Verdund 1:0,5		10:04		08:05	

¹⁾ In 2020 is proef 3 na 70 uur stopgezet vanwege langdurige regen. Proef 4 is na 58 uur afgesloten in verband met hevige regen. In 2021 is de eerste proef na 57 uur afgesloten om vervolgens direct daarna proef 2 te kunnen opstarten. Proef 3 in 2021 is iets eerder gestopt vanwege onweer.

In alle metingen is uitgegaan van rundermest en een mestgift van circa 20 m³ ha⁻¹ onverdunde mest. Voor de verdunde mest (1:0,5 verdunning) werd een gift van circa 30 m³ ha⁻¹ aangehouden om zo een vergelijkbare stikstof/ammonium gift te creëren als met de onverdunde mest. De gebruikte drijfmest was afkomstig van de veehouder/gebruiker perceel. Dat betekent dat er een natuurlijke variatie is in mestsamenstelling en ook per snede de samenstelling kan verschillen. De mest is voor toediening goed gemixt.

Voorafgaand aan de aanleg van ieder proefveld werd de totale combinatie met de verdunde of onverdunde mest gewogen. Na het bemesten van een proefveld werd de totale combinatie nogmaals gewogen. Uit het verschilgewicht en de afmetingen van het proefveld werd de mestgift bepaald. De verdunde mest werd bij iedere meetserie vlak voor het uitrijden aangemaakt. Hiervoor werd tijdens het wegen op een weegbrug water vanuit een waterwagen aangezogen tot de gewenste verdunning werd bereikt. De mest en het water werden voorafgaande aan het uitrijden van de verdunde mest gemengd. Het toedienen van de mest werd uitgevoerd met een zelfrijdende machine. In 2020 is de mest uitgereden met een 8,7 meter brede zodenbemester. In 2021 is bij de proeven 1 en 2 een 7,2 meter brede bemester ingezet; bij de proeven 3 en 4 in 2021 een 9,0 meter brede bemester. Het aanleggen van de proefvelden is op alle tijdstippen met dezelfde type bemester uitgevoerd.

Per proefveld werden twee mestmonsters genomen tijdens of direct na de aanleg van de proefvelden aan de uitloop van de bemester. De mestmonsters werden geanalyseerd op NH₄-N, N_{totaal}, drogestofgehalte en pH.

Om de emissie van een proefveld te kunnen berekenen werd naast, de ammoniakconcentratie, de windsnelheid en de windrichting op de proeflocatie bepaald. Gedurende een gehele meetsessie werd de windsnelheid met behulp van cup-anemometers (Vector Instruments type A100R) op 6 hoogtes (logaritmisch verdeeld) gemeten. De gemiddelde meethoogten waren 0,24, 0,55, 1,09, 2,03 en 3,27 m +mv. De windrichting werd op 3,7 m hoogte gemeten (Vector Instruments W200P). De windgegevens werden verzameld met behulp van een datalogger, waarin de gemiddelden van de waarnemingen iedere 15 minuten werden opgeslagen.

3 Resultaten

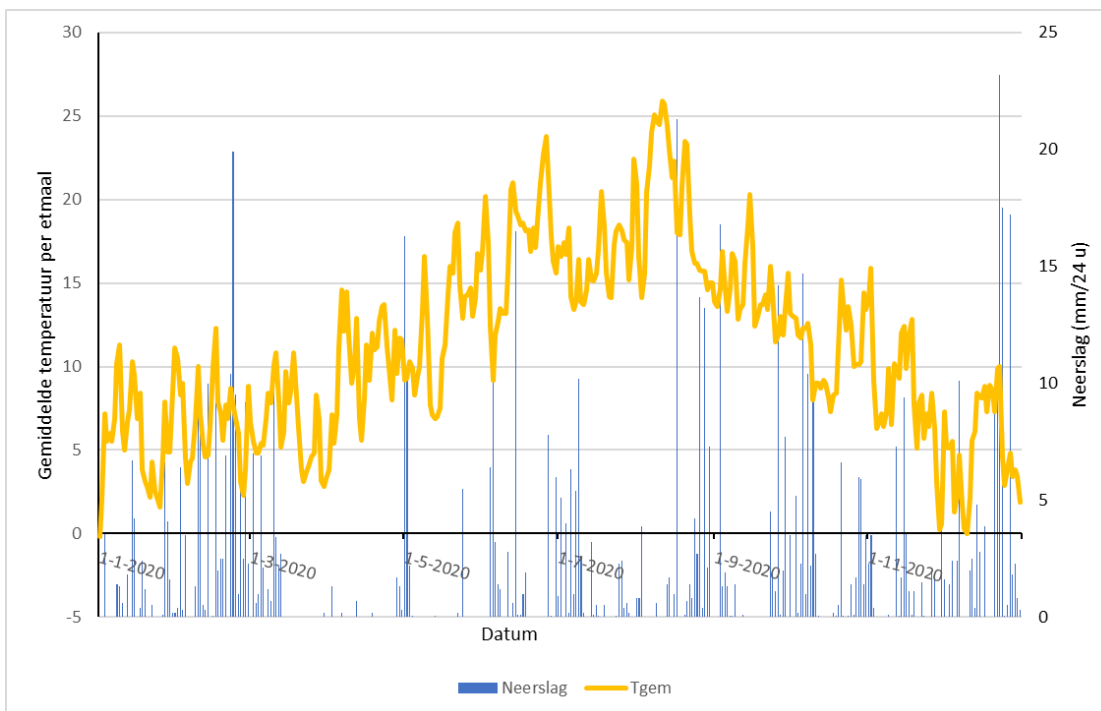
3.1 Veldproef effect opbrengst

De resultaten worden in onderdelen besproken. Per onderdeel zal tevens het resultaat van de statistische toets worden weergegeven. In dit hoofdstuk is vooral gekeken naar de overall analyses op basis van de jaaropbrengsten van 2 jaar (2020 en 2021). De individuele data staan in de bijlagen.

3.1.1 Weersomstandigheden behorende bij de veldproeven rondom Luttenberg en Lemelerveld

Het groeiseizoen van 2020 kende een vroege start. In de wintermaanden was nauwelijks tot geen sprake van (nacht)vorst en in eind februari waren de temperaturen relatief hoog. Het enige tijdelijke nadeel was wateroverlast; half maart stonden op het (proef)veld en de rest van het perceel in Luttenberg veel plassen op het land. Hierdoor is de eerste drijfmestgift uitgesteld tot 23 maart.

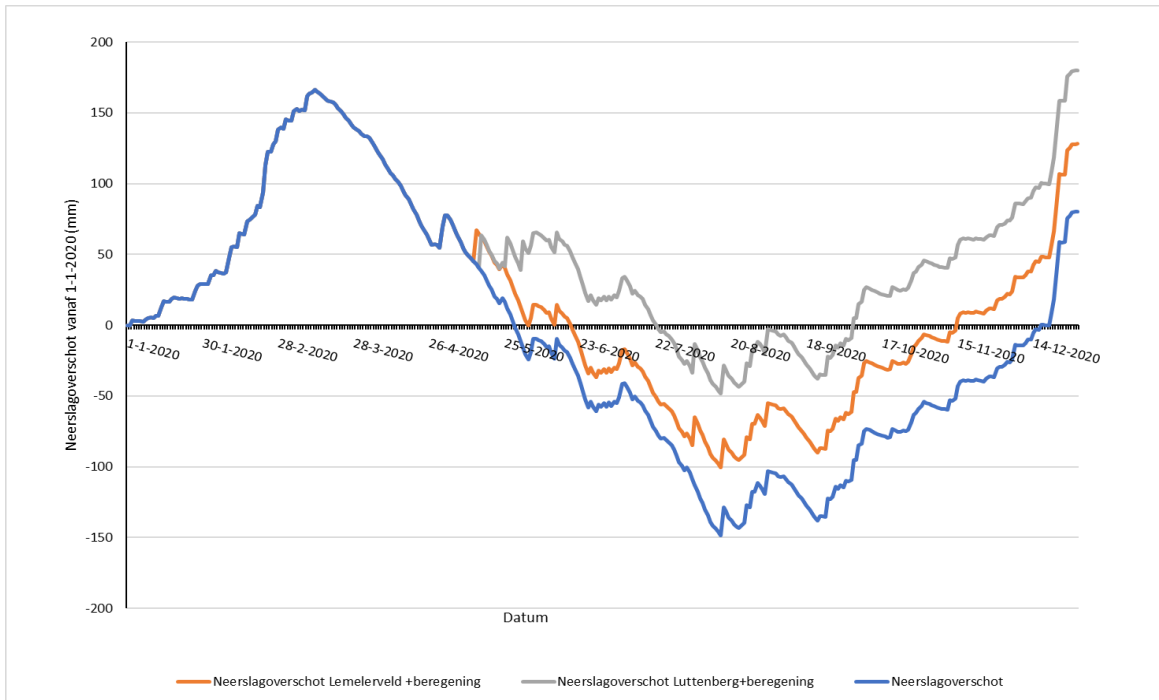
De rest van het seizoen kende vooral een aantal droge perioden en ook zeer warme dagen. In figuur 3 is de temperatuur en de neerslag weergegeven en in figuur 4 het doorlopend neerslagoverschot/tekort. Vanaf 1 januari is dit berekend als het verschil tussen de (cumulatieve) neerslag en (cumulatieve) verdamping. Figuren zijn op basis van gegevens van het KNMI van weerstation Heino. Er zijn geen lokale gegevens bekend.



Figuur 3 Neerslag en temperatuurverloop in 2020 rondom de proefvelden (bron: KNMI weerstation Heino).

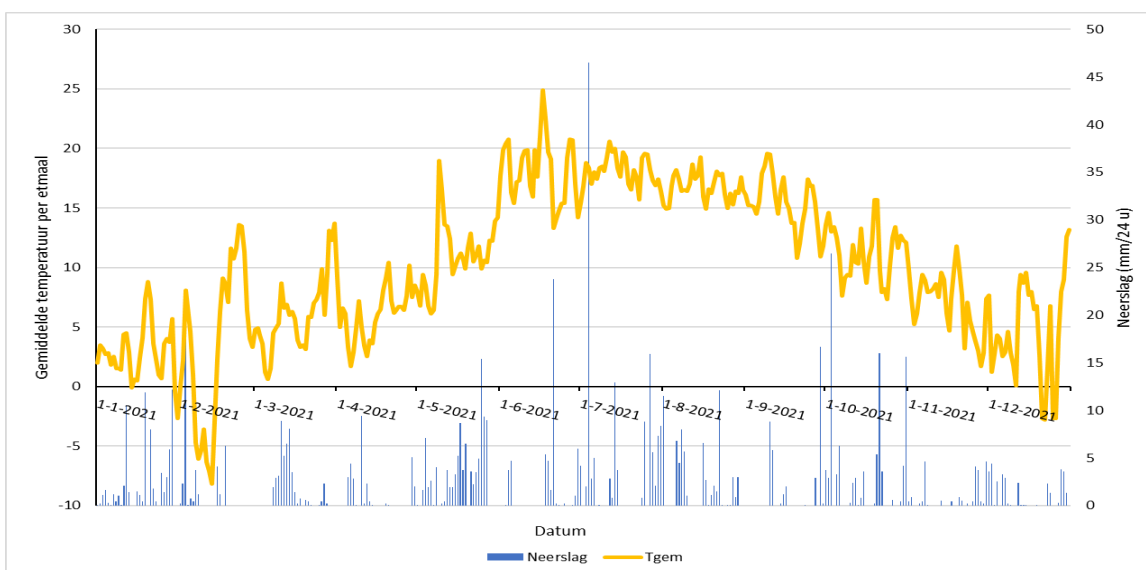
Met name in juli en augustus was sprake van enige (zeer) warme perioden met etmaalgemiddelden van boven de 20 graden Celsius. April en mei waren relatief droog en ook het tweede deel van juli tot de eerste decade van augustus. Daarom hebben de proefveldhouders de praktijkpercelen beregend en daarmee de proefpercelen ook. In figuur 4 zijn de beregeningsgiften verwerkt in het neerslagoverschot. In Lemelerveld zijn de volgende giften toegediend: 24 mm op 14 mei en op 6 augustus. In Luttenberg is toegediend: steeds 25 mm op 16 mei, 26 mei, 1 juni en 6 augustus. Het volledige neerslagtekort is met de giften in Lemelerveld niet geheel opgelost, maar het proefveld heeft geen zichtbare schade ondervonden in de zin dat de grasmat

wel steeds groen is gebleven. Het proefveld in Luttenberg had duidelijk meer last van de droogte. Er ontstonden minder gewenste kruiden, omdat er open plekken ontstonden, ondanks het kleinere neerslagtekort dan in Lemelerveld. Op 4 augustus 2020 is het proefveld daarom pleksgewijs met een herbicide behandeld.

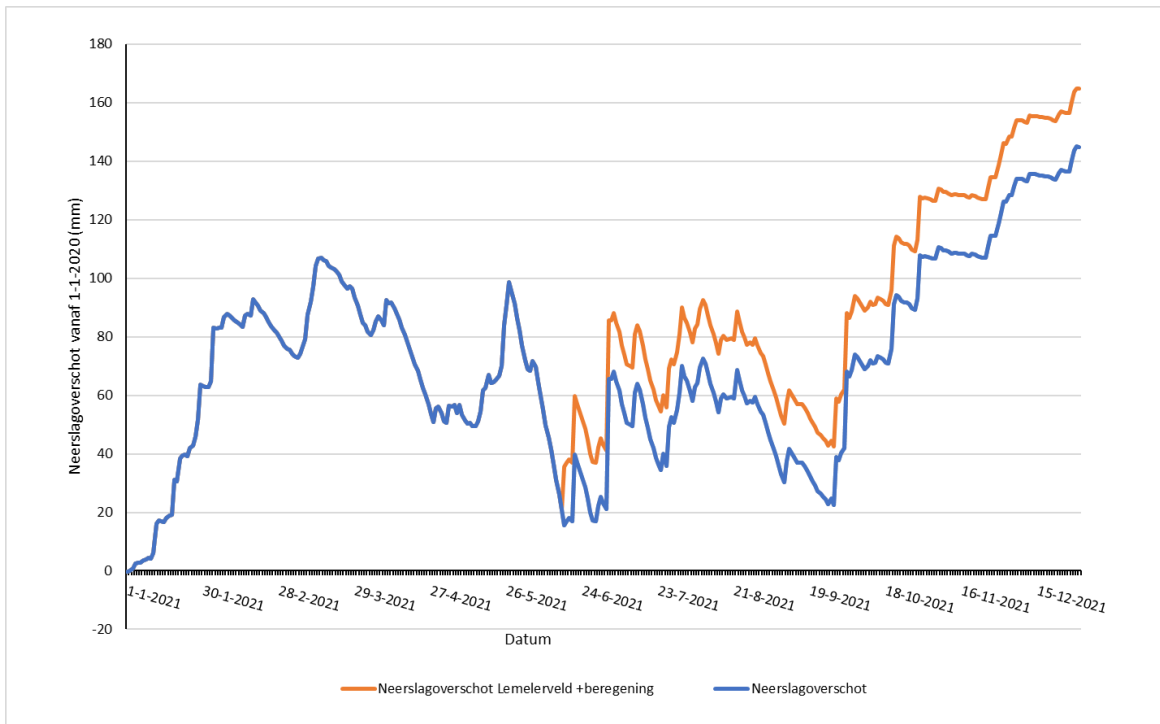


Figuur 4 Doorlopend neerslagoverschot (neerslag-verdamping)vanaf 1 januari 2020 op de proefvelden in Lemelerveld en Luttenberg, met en zonder berekening.

De winter in 2021 was kouder dan in 2020, met in februari een vorstperiode. Over het geheel gezien was het voorjaar kouder dan in 2020 en kwam de grasgroei later op gang. Het voorjaar was wel minder nat dan in 2020, waardoor de mest iets eerder kon worden toegediend: 8 maart. De omstandigheden in rest van het groeiseizoen was voor de grasgroei iets beter dan 2020. Er was voldoende vocht (zie figuur 5) en de temperaturen waren in het hoog (geen extremen). Eind juni-begin juli was sprake van enkele dagen met extreem hoge neerslag (>45 mm/dag) in de vorm van buien. Deze periode trad niet op vlak voor en na het toedienen van de mest. Het neerslagoverschot over groeiseizoen 2021 is weergegeven in figuur 6.



Figuur 5 Neerslag en temperatuurverloop in 2021 rondom de proefvelden (bron: KNMI weerstation Heino).



Figuur 6 Doorlopend neerslagoverschot (neerslag-verdamping) vanaf 1 januari 2021 op de proefvelden in Lemelerveld en Luttenberg, met en zonder beregening.

Waar in 2020 nog sprake was van een neerslagtekort, was gedurende het gehele groeiseizoen 2021 sprake van een neerslagoverschot. Toch is op het proefveld in Lemelerveld nog 1 keer beregend (20 mm op 17 juni). Dit was achteraf niet nodig geweest, gezien de neerslag op de 23^e. De vochtvoorziening was in 2021 in elk geval optimaal voor een goede grasproductie.

Omdat met name de weersomstandigheden tijdens en net na het uitrijden van de mest van invloed zijn op eventuele vervluchtiging van NH₃ en de emissie van N₂O zijn de gegevens rondom neerslag, wind (door KNMI gemeten op 10 meter hoogte) en zon op de dag van uitrijden en op de eerste 5 dagen daarna weergegeven in tabel 4 voor 2020. Hiervoor zijn de data van het dichtbijgelegen KNMI station Heino gebruikt.

Tabel 4 Weercharacteristieken rondom het uitrijden van drijfmest in 2020 (neerslag, windsnelheid en zonnenschijn; Algemene weerinfo KNMI station Heino).

Snede	datum		dag 0	dag 1	dag 2	dag 3	dag 4	dag 5
1	23-3-2020	neerslag (mm)	0	0	0	0	0	0
2	19-mei-20	neerslag (mm)	0	0	0	0.2	0	5.5
3	17-jun-20	neerslag (mm)	1	1.9	0	0	0	0
4	23-jul-20	neerslag (mm)	0	0	2.3	2.4	0.4	0.6
1	23-3-2020	windsnelheid (m/s)	4.3	3.3	3.4	3.7	3.9	3.7
2	19-mei-20	windsnelheid (m/s)	2	1.2	1.5	3.4	5	4.1
3	17-jun-20	windsnelheid (m/s)	1.5	1.8	2	2.3	2	2
4	23-jul-20	windsnelheid (m/s)	1.9	2.7	2.7	3.8	2.2	4.4
1	23-3-2020	windkracht (Bf)	3	2	3	3	3	3
2	19-mei-20	windkracht (Bf)	2	1	1	3	3	3
3	17-jun-20	windkracht (Bf)	1	2	2	2	2	2
4	23-jul-20	windkracht (Bf)	2	2	2	3	2	3
1	23-3-2020	zonnenschijn (uur)	11.3	11.1	11.3	11.5	11.5	11.7
2	19-mei-20	zonnenschijn (uur)	8.6	3	14	1.9	7.5	2.8
3	17-jun-20	zonnenschijn (uur)	4.7	2.9	10.8	11.2	8	14.9
4	23-jul-20	zonnenschijn (uur)	3.6	3	1.7	11.6	1.3	7.7

Uit tabel 4 blijkt dat er erg weinig neerslag is gevallen rondom het moment van uitrijden. Slechts op 17 juni was sprake van enige regen, echter dit vond plaats voor het uitrijden. De voorjaarsbemesting heeft plaatsgevonden onder heel zonnige omstandigheden. Bij het bemesten van snede 3 en 4 was het meer bewolkt. Ook was er sprake van erg weinig wind op de dag van uitrijden en de dagen erna. De weersomstandigheden op de dag van uitrijden en de dagen daarna zijn voor 2021 weergegeven in tabel 5.

Tabel 5 Weercharacteristieken rondom het uitrijden van drijfmest in 2021 (neerslag, windsnelheid en zonnenschijn; Algemene weerinfo KNMI station Heino).

Snede	datum		dag 0	dag 1	dag 2	dag 3	dag 4	dag 5
1	8-mrt-21	neerslag (mm)	1.9	2.9	3.1	8.9	5.2	6.5
2	18-mei-21	neerslag (mm)	3.7	6.5	0	3.6	2.2	3.5
3	21-jun-21	neerslag (mm)	23.8	0.2	0.1	0	0.2	0
4	21-jul-21	neerslag (mm)	0	0	0	0.8	8.8	0
1	8-mrt-21	windsnelheid (m/s)	2	2.6	3.5	8	6.3	7.9
2	18-mei-21	windsnelheid (m/s)	2	1.9	2.8	6	5.3	3
3	21-jun-21	windsnelheid (m/s)	3.1	2.3	1.8	1.6	1.9	1.6
4	21-jul-21	windsnelheid (m/s)	0.8	1.7	1.3	2.2	1.8	2.2
1	8-mrt-21	windkracht (Bf)	2	2	3	5	4	4
2	18-mei-21	windkracht (Bf)	2	2	2	4	3	2
3	21-jun-21	windkracht (Bf)	2	2	2	2	2	2
4	21-jul-21	windkracht (Bf)	1	2	1	2	2	2
1	8-mrt-21	zonnenschijn (uur)	0	0.1	0	2.3	3.9	4
2	18-mei-21	zonnenschijn (uur)	6.2	4.6	4.9	10.2	1.2	4.6
3	21-jun-21	zonnenschijn (uur)	0.2	5.6	1.8	7.6	4	8.8
4	23-jul-20	zonnenschijn (uur)	3.6	3	1.7	11.6	1.3	7.7

De weersomstandigheden in de periode rond het toedienen van mest wisselden sterk in 2021. Net als in 2020 was er sprake van weinig wind op de dag van uitrijden. Pas op dag 3 na uitrijden was er sprake van meer wind in snede 1 en 2. Ook was vaker sprake van neerslag op de dag van uitrijden (snede 1-3) en ook de dagen direct na toediening. Voor, tijdens en na toediening van de mest op 21 juni viel er op de dag veel neerslag (bijna 24 mm). Na toediening van de mest in snede 4 duurde het tot dag 4 voor er serieus neerslag viel (bijna 9 mm). Na toediening in het voorjaar was het de eerste dagen bewolkt en somber in tegenstelling tot 2020.

3.1.2 Mestgiften en mestanalyse

Per snede en per locatie zijn van alle verdunningen en van de onverdunde mest een mestmonster genomen. De totale analyseresultaten zijn weergegeven in de bijlage 2. In tabel 6 zijn alleen de N-totaalgehalten van de mest per snede weergegeven per locatie per jaar (voor de objecten met verdunde mest: na de verdunning).

Tabel 6 N-totaal van de toegediende drijfmest in 2020 en 2021 per locatie.

Verdunding	Snedes	Datum	Lemelerveld		Luttenberg		
			2020	2021	Datum	2021	
Onverdund	1	23-mrt	3,93	3,15	8-mrt	3,59	4,43
Onverdund	2	19-mei	3,78	3,92	18-mei	2,34	4,07
Onverdund	3	17-jun	3,10	2,97	21-jun	3,20	3,78
Onverdund	4	23-jul	3,24	3,99	Niet genomen	NVT	NVT
Verdund 1:0,5	1	23-mrt	2,61	2,24	8-mrt	2,29	2,75
Verdund 1:0,5	2	19-mei	2,50	2,67	18-mei	2,02	2,57
Verdund 1:0,5	3	17-jun	2,06	2,07	21-jun	2,08	2,56
Verdund 1:1	1	23-mrt	2,10	1,79	8-mrt	2,00	2,29
Verdund 1:1	2	19-mei	2,08	1,69	18-mei	1,49	1,41
Verdund 1:1	3	17-jun	1,61	1,75	21-jun	1,60	1,86
Verdund 1:1	4	23-jul	1,56	2,42	21-jul	1,76	1,71

De gehalten in het gebruikte verdunningswater staan ook in de bijlage 2. Een cijfer in de tabel in bijlage 2 aangegeven met < betekent dat de waarde onder de detectiedrempel van de analyse viel. Dit komt voor bij bijna alle waarden in het gebruikte (sloot/bron)water. Dat betekent dat er nauwelijks extra N (P en K) is toegediend met het water dat is gebruikt voor de verdunning. Omdat verwacht werd dat het water nauwelijks tot geen N zou bevatten zijn steekproefsgewijs watermonsters genomen.

De verdunning heeft in alle gevallen geleid tot een (verwacht) lager N gehalte van het mest-water mengsel. Omdat is gewerkt met een praktijkmachine en de verdunning dus ook is uitgevoerd op een wijze die in de praktijk gebruikelijk zal zijn, is vooraf minder nauwkeurig de exacte verdunning te bepalen. Verdunning is gedaan op basis van een doorstroommeter.

Op basis van de geanalyseerde gehalten is berekend hoeveel N is toegediend. Per object staat de totaal toegediende hoeveelheid N (jaargift in kg/ha uit kunstmest en drijfmest samen) per locatie en per jaar weergegeven (tabel 7). In bijlage 2 staan de giften uit drijfmest en kunstmest apart en per snede weergegeven.

Tabel 7 Totale N-gift (kg N/ha) per object voor de proeflocaties Luttenberg en Lemelerveld in 2020 en 2021.

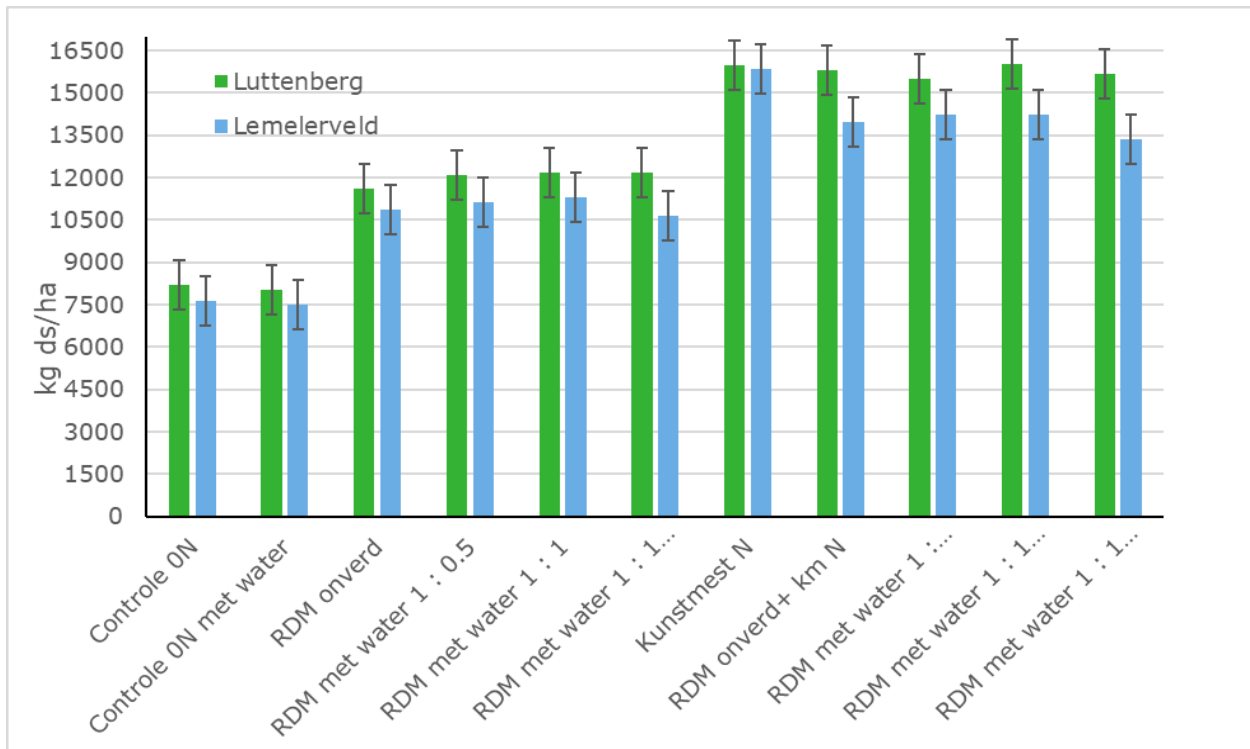
Locatie	Lemelerveld		Luttenberg		Gemiddeld
	2020	2021	2020	2021	
Controle objecten	0	0	0	0	0
KAS	321	321	321	321	321
RDM Onverd.	220	185	202	249	214
RDM Onverd+KAS	415	380	397	444	409
RDM Verd 1:0.5	219	193	211	238	215
RDM Verd 1:1	237	208	210	227	220
RDM Verd 1:1 4x	226	208	223	224	220
RDM Verd. 1:0.5 + KAS	414	388	406	433	410
RDM Verd. 1:1 + KAS	432	403	405	422	415
RDM Verd. 1:1 4x + KAS	421	403	418	419	415

Uit tabel 7 is af te lezen dat de verdunning goed is gelukt. Per locatie is geen significant verschil in totale N gift op jaarbasis (binnen 1 groep bemestingen; onbemest (A en B), de objecten met alleen drijfmest (C,D,E,F) en de objecten met drijfmest+kunstmest (H,I,J,K) verschillen uiteraard wel significant van elkaar). Wel zijn wat schommelingen te zien tussen de sneden. De totale hoeveelheid bij de gecombineerde drijfmest+kunstmestobjecten is zo hoog, omdat in tabel 7 de N totaal wordt weergegeven en niet de werkzame N. Voor de praktijk is de vuistregel dat die op jaarbasis ongeveer 50% van de hoeveelheid toegediende N met drijfmest is. Wanneer rekening wordt gehouden met deze werkingscoëfficiënt is de N gift van de drijfmest+ kunstmestobjecten ongeveer gelijk aan het object met alleen kunstmest (G), nl ongeveer 300 kg N/ha.

3.1.3 Maaidata en maaiopbrengsten

Er zijn in 2020 ondanks de drogere periode 5 sneden geoogst. Beide locaties zijn op dezelfde dag gemaaid. De maaidata waren: 13 mei, 16 juni, 21 juli, 31 augustus en 16 oktober. De individuele snedeopbrengsten (gemiddeld over 4 herhalingen) zijn weergegeven in bijlage 3. De eerste snede is relatief zwaar geoogst. De hoge opbrengst is een combinatie van veel gewas, maar ook van het hoge drogestof gehalte bij oogst. De opbrengst van snede 4 is achtergebleven omdat deze snede toch last heeft gehad van droogtestress. De statistische analyse is uitgevoerd op de jaaropbrengst, omdat er bij drijfmest sprake is van (na)werking over meerdere sneden, die mogelijk niet gelijk is. Om een voldoende robuuste vergelijking tussen de objecten te kunnen maken is op jaaropbrengst getoetst.

De jaaropbrengsten zijn per locatie weergegeven in figuur 7.

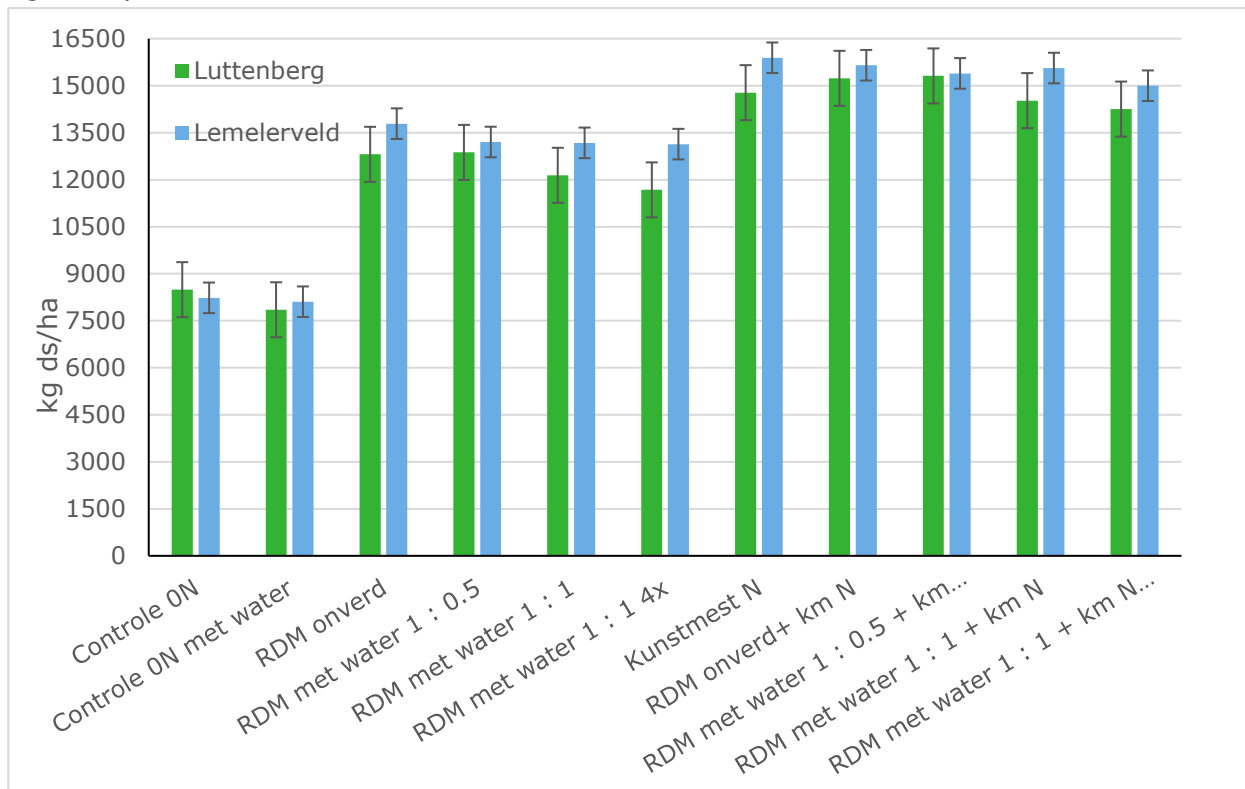


Figuur 7 Jaaropbrengsten (kg drogestof per ha) per bemestingsobject en per locatie in 2020.

Uit figuur 7 (en in bijlage 3) blijkt een opbrengstverschil te bestaan tussen beide proeflocaties. Overall was de jaaropbrengst op locatie Lutzenberg iets hoger dan op locatie Lemelerveld. Het verschil trad op bij alle behandelingen, inclusief de onbemeste objecten. De foutbalk in de figuur is de lsd -waarde (878 kg ds/ha) die uit de statistische analyse is gekomen.

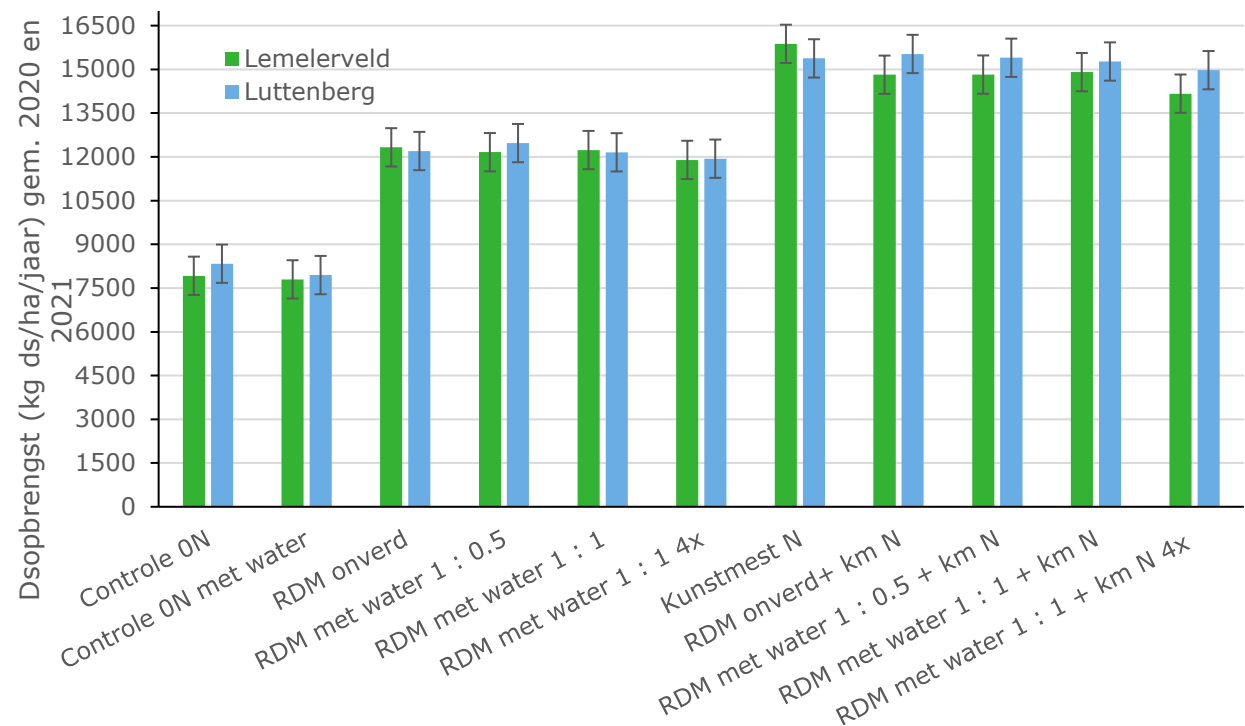
In 2021 zijn eveneens 5 sneden geoogst en weer op beide locaties op dezelfde dag (zie figuur 8). De maaidata in 2021 waren: 14 mei, 16 juni, 19 juli, 24 augustus en 7 oktober. De individuele snedeopbrengsten (gemiddeld over 4 herhalingen) zijn voor 2021 weer weergegeven in bijlage 3. Het overall beeld is ongeveer gelijk aan 2020, maar de opbrengsten waren gemiddeld iets hoger in 2021. Opvallend is dat in 2020 de jaaropbrengsten in Lemelerveld lager waren dan in Lutzenberg en dit in 2021 precies omgekeerd was. Een mogelijke oorzaak zou kunnen zijn dat Lemelerveld in 2020 toch meer droogtestress heeft gehad, hetgeen overeen zou komen met het in de figuur 4 getoonde neerslagoverschot. In 2021 was geen sprake van een vochttekort. De individuele snede-opbrengsten waren in 2021 gelijkmatiger dan in 2020. De extreem hoge opbrengst van snede 1, in 2020 veroorzaakt door een combinatie van massa en een relatief hoog ds-gehalte was in 2021 niet aan de orde. De onbemeste objecten gaven in beide jaren een opbrengst van rond de 8 ton ds/ha. In alle gevallen is de opbrengst van het onbemeste object waar water is

toegeediend met de zodenbemester lager dan het volledig onbehandelde 0-object (maar verschil is niet significant).



Figuur 8 Jaaropbrengsten (kg drogestof per ha) per bemestingsobject en per locatie in 2021.

Omdat de hoofdvraag is of verdunnen zal leiden tot een verbeterde N-benutting in de vorm van een hogere opbrengst is in figuur 9 de gemiddelde opbrengst over beide jaren weergegeven (maar nog wel per locatie).



Figuur 9 Jaaropbrengsten (kg drogestof per ha) per bemestingsobject en per locatie gemiddeld over 2020 en 2021.

Wanneer in figuur 9 alle objecten met elkaar vergeleken worden (dus over de 2 locaties heen) is een verschil pas significant bij 929 kg ds/ha (zie uitslag Anova hier onder), objecten binnen een locatie moeten een verschil hebben van 657 kg ds/ha wil het significant zijn (de foutbalken in de figuur).

De statistische analyse is uitgevoerd met een Anova. De proef was 'vierkant' van opzet waardoor deze methode goed toepasbaar is. Als behandelingseffect is opgenomen: de aangelegde objecten (11 stuks) en er is gekeken of de behandeling locatie-afhankelijk zou zijn (Object x Locatie effect). Als blockeffect zijn de 4 herhalingen en de 2 proefjaren opgenomen. Omdat het zuiver gaat over het effect van het toedienen van verdunde mest is de analyse ook nog een keer apart gedaan voor alleen de bemeste objecten (exclusief de objecten A en B die geen stikstof hebben gekregen) en met zowel Jaar, locatie en Herhaling als block-effect. De uitslag is hierdoor niet veranderd (die statistische analyse is weergegeven in de bijlage 4).

Analysis of variance

Variate: Jaaropbrengst kg drogestof/ha

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Jaar stratum	1	1.582E+07	1.582E+07	2.90	
Jaar.Herh stratum	6	3.268E+07	5.447E+06	6.16	
Jaar.Herh.*Units* stratum					
FObj	10	1.201E+09	1.201E+08	135.73	<.001
Locatie	1	2.592E+06	2.592E+06	2.93	0.089
FObj.Locatie	10	6.138E+06	6.138E+05	0.69	0.729
Residual	147	1.301E+08	8.848E+05		
Total	175	1.388E+09			

Standard errors /Least significant differences of means (5% level)

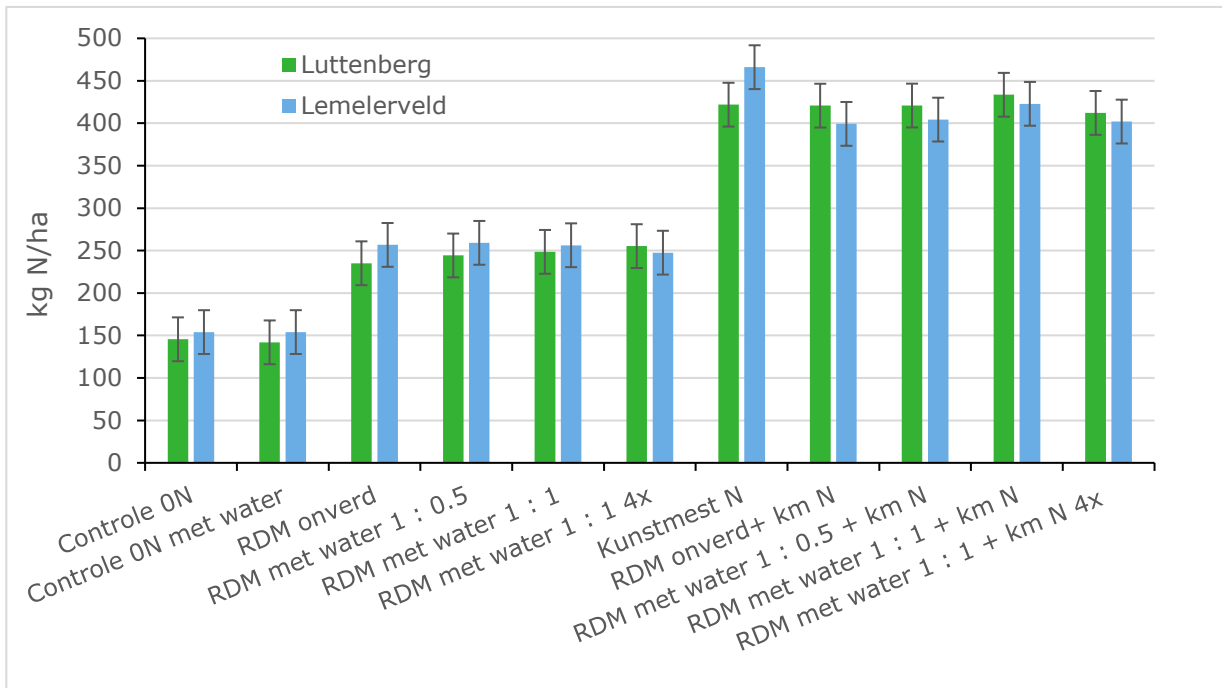
Table	FObj	Locatie	FObj Locatie
rep.	16	88	8
d.f.	147	147	147
s.e.d.	332.6	141.8	470.3
l.s.d.	657.2	280.2	929.5

Er was geen significant interactie effect (Object x Locatie), hetgeen betekent dat de effecten van de aangelegde behandelingen niet locatie-specifiek zijn (een verdunning op locatie X geeft hetzelfde effect als op locatie Y). Het gemiddelde niveau van de jaaropbrengst (over de twee jaar) was ook (net) niet significant verschillend tussen de locaties (lsd= 280 kg ds/ha). Dit is ook te zien in figuur 9; de opbrengsten in Luttenberg waren gemiddeld in 2020 hoger, maar in 2021 gemiddeld juist lager dan in Lemelerveld, waardoor er overall geen verschil is aangetoond. Wel waren de objecten binnen 1 locatie significant verschillend ($p < 0.001$, lsd=657 kg ds/ha). Dit is vooral veroorzaakt door het grote verschil tussen de onbemeste objecten en de bemeste objecten enerzijds, maar ook tussen de alleen met drijfmest bemeste objecten versus de objecten met drijfmest+kunstmest anderzijds. Wanneer de objecten met en zonder verdunning worden vergeleken binnen de groep zonder toevoeging van kunstmest, dan geeft een verdunning geen significant andere opbrengst dan een situatie waarbij onverdunde mest is toegediend. Het zelfde geldt voor de groep waaraan extra kunstmest is toegediend; geen van de opbrengsten van de objecten met verdunning wijkt significant af van de onverdunde variant. Wel geeft het object waarbij de mest 4 keer is toegediend de laagste opbrengst, maar deze opbrengst wijkt niet significant af van de onverdunde, zie bijlage 3. Als de objecten over de locaties heen worden vergeleken moet een verschil van 929.5 kg ds zijn, willen ze (significant) verschillen.

3.1.4 N-opbrengsten

Naast de drogestof-opbrengst geeft de N-opbrengst een goed beeld van de opgenomen stikstof. De N-opbrengst wordt berekend uit de ds-opbrengst x N-gehalte van het gewas. Een efficiënter N gebruik hoeft niet direct tot een hogere opbrengst te leiden. Het kan ook zijn dat de opbrengst niet verhoogd wordt, maar het N-gehalte wel. In dat geval zal de N-opbrengst dus hoger zijn. Deze toets is eveneens uitgevoerd met Anova. De individuele snede N-opbrengsten staan voor beide jaren en locaties weer in bijlage 3.

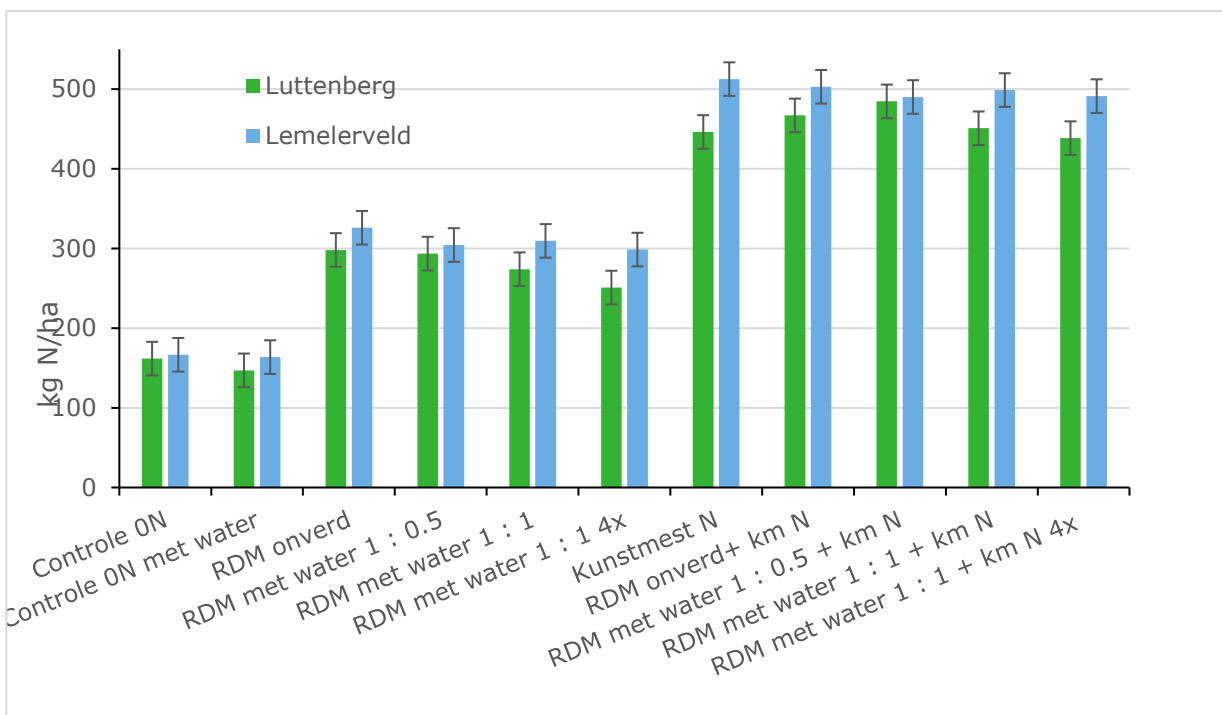
De statistische toets is weer uitgevoerd op de jaaropbrengst, met weer als reden: nawerking van de drijfmest over de sneden. De N-jaaropbrengsten zijn per behandeling voor beide locaties weergegeven in



figuur 10 voor 2020 en in figuur 11 voor 2021.

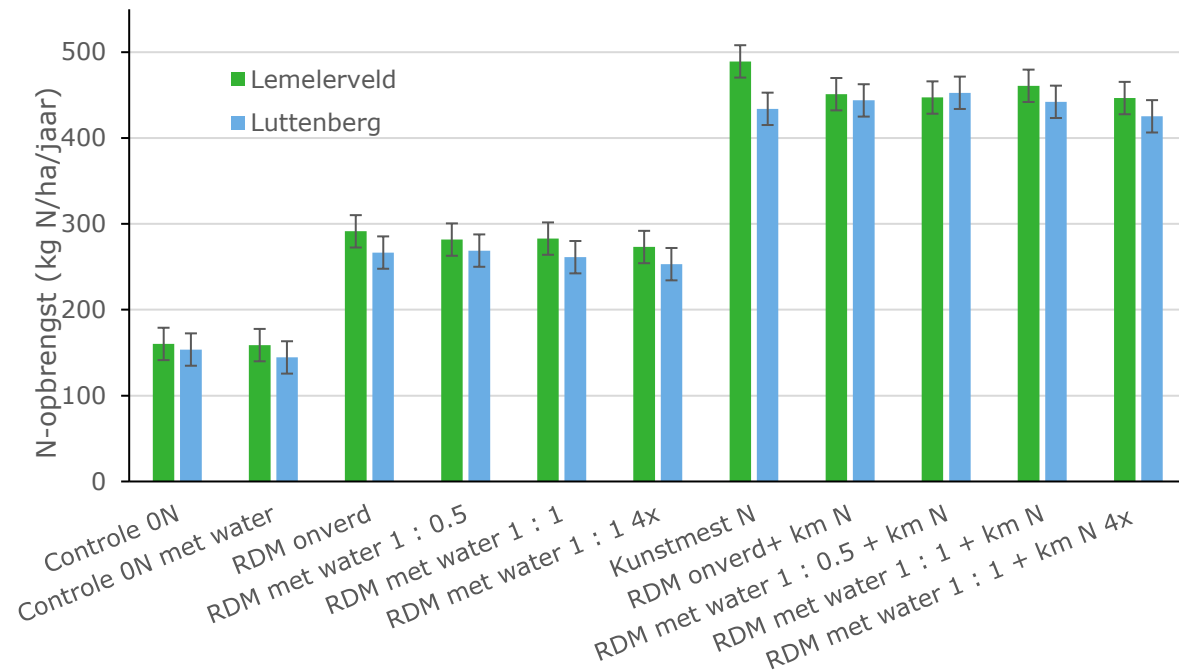
Figuur 10 Jaaropbrengsten (kg N per ha) per bemestingsobject en per locatie in 2020.

Uit figuur 10 (en bijlage 3) blijkt in 2020 in tegenstelling tot de droge stofopbrengst geen N-significant opbrengstverschil te bestaan tussen beide proeflocaties (op basis van de statistische analyse voor 2020). Overall was de jaaropbrengst op locatie Luttenberg 307 kg N/ha en op locatie Lemelerveld 311 kg N/ha. Ook was er weer geen sprake van een interactie tussen de aangelegde behandelingen en de locatie (zie statistische toets). De foutbalk in de figuur is de lsd-waarde (25.8 kg N/ha) die uit de statistische analyse over alleen 2020 is gekomen. De data voor 2021 staan in figuur 11. In 2021 werden de hoogste opbrengsten juist behaald op de proefvelden in Lemelerveld in plaats van Luttenberg. De totale N-opbrengst was gemiddeld met 353 kg N/ha hoger dan in 2020. Luttenberg had een gemiddelde N-opbrengst van 337 kg N/ha en Lemelerveld 369 kg N/ha. Een verschil tussen de objecten (per locatie) van 21.2 kg N/ha is significant.



Figuur 11 Jaaropbrengsten (kg N per ha) per bemestingsobject en per locatie in 2021.

Net als voor de ds-opbrengst is de analyse uitgevoerd op de totale data van 2 jaar onderzoek. In figuur 12 zijn de gemiddelden per object per locatie (over 2020 en 2021) weergegeven voor de totale N-opbrengst (kg N/ha).



Figuur 12 Jaaropbrengsten (kg N per ha) per bemestingsobject en per locatie gemiddeld over 2020 en 2021.

Gemiddeld was de N-opbrengst op de locatie Lemelerveld (340 kg N/ha) (significant) hoger dan op de locatie Luttenberg (322 kg N/ha), zie figuur 12. Dit wordt deels veroorzaakt door de iets lagere N-levering door de bodem. De verschillen tussen de locaties binnen 1 object zijn echter klein. Op beide locaties gaf het verdelen van de drijfmest over 4 in plaats van 3 sneden een wat lagere N-opbrengst. Zonder combinatie met kunstmest was de N-opbrengst op de 'verdunde' objecten altijd lager dan bij gebruik van onverdunde mest, maar het verschil is niet significant. Bij een combinatie van drijfmest en kunstmest is het beeld wisselender, maar zijn er geen duidelijk significante verschillen aangetoond.

De statistische analyse is uitgevoerd met een Anova, op dezelfde wijze als voor de totale ds-opbrengst. Als behandelingseffect is weer opgenomen: de aangelegde objecten (11 stuks) en is gekeken of de behandeling locatie-afhankelijk zou zijn (Object x Locatie effect). Als blockeffect zijn de 4 herhalingen opgenomen. De uitkomst van de ANOVA analyse op de N-opbrengst is hier onder weergegeven. In bijlage 3 is met een letter aangegeven welke behandelingen significant van elkaar verschillen.

Analysis of variance

Variate: **N-Opbrengst (jaaropbrengst) kg N/ha**

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Jaar stratum	1	86365.2	86365.2	29.75	
Jaar.Herh stratum	6	17416.0	2902.7	3.99	
Jaar.Herh.*Units* stratum					
FObj	10	2346861.2	234686.1	322.36	<.001
Locatie	1	14114.2	14114.2	19.39	<.001
FObj.Locatie	10	9208.0	920.8	1.26	0.256
Residual	147	107019.4	728.0		
Total	175	2580983.9			

Standard errors of differences of means

Table	FObj	Locatie	FObj Locatie
rep.	16	88	8
d.f.	147	147	147
s.e.d.	9.54	4.07	13.49
l.s.d.	18.85	8.04	26.66

Wanneer de objecten binnen 1 locatie worden vergeleken, is een verschil van 18.85 kg N significant. Een verschil tussen locaties is aan de orde bij 8.04 kg (op objectniveau en gemiddeld) en wanneer alles met elkaar vergeleken wordt (dus over objecten en locaties heen) moet een verschil groter zijn dan 26.66 kg N om significant te zijn.

De onbemeste objecten hadden op beide locaties de laagste N-opbrengst, significant lager dan de andere objecten. Er was geen (significant) verschil tussen het onbemeste object waarop extra water is toegediend en het onbemeste object zonder extra water. De met drijfmest bemeste objecten met extra kunstmest hadden allemaal een significant hogere N-opbrengst dan de objecten alleen bemest met drijfmest. Op locatie Lemelerveld gaf het kunstmestobject de hoogste opbrengst, die significant hoger was dan alle andere objecten. Op locatie Luttenberg was de N-opbrengst op dit object niet significant hoger dan de met drijfmest+kunstmest bemeste objecten.

Het verdunnen van de toegediende drijfmest met water, ongeacht de gebruikte hoeveelheid, gaf geen significant verschil in N-opbrengst (zowel bij de objecten met alleen drijfmest als bij de objecten drijfmest+kunstmest).

3.1.5 Berekende ANE en ANR

Om werkelijk iets te kunnen zeggen over de efficiëntie van de opgenomen N uit mest, zijn 2 parameters te gebruiken.

1. Voor de ds-opbrengst: ANE (aparent N efficiency; schijnbare N-efficiëntie)
2. Voor de N-opbrengst: ANR (aparent N recovery; schijnbare N terugwinning)

De ANE wordt berekend als (ds-opbrengst bemest object – ds opbrengst onbemest object)/ Ngift
De ANR wordt berekend als: (N-opbrengst bemest object – N-opbrengst onbemest object)/ Ngift

Het gaat hierbij om de totale opbrengst en de totale N-gift (op jaarbasis). In tabel 8 staat de berekende ANR en in tabel 9 de berekende ANE gemiddeld over 2020 en 2021 voor beide locaties voor alle bemeste objecten.

Tabel 8 Berekende N-recovery (ANR), kg stikstofopbrengst per kg toegediende N) per locatie gemiddeld over de jaren 2020 en 2021.

Object	Lemelerveld	Luttenberg	Gem. 2020/2021
RDM onverd	0.67 ^b	0.50 ^a	0.58 ^{ab}
RDM met water 1:0,5	0.60 ^{ab}	0.55 ^a	0.58 ^{ab}
RDM met water 1:1	0.57 ^a	0.53 ^a	0.55 ^a
RDM met water 1:1 4x	0.53 ^a	0.49 ^a	0.51 ^a
Kunstmest N	1.03 ^d	0.87 ^c	0.95 ^d
RDM onverd+ km N	0.74 ^c	0.69 ^b	0.71 ^c
RDM met water 1:0,5 + km N	0.72 ^c	0.73 ^b	0.73 ^c
RDM met water 1:1 + km N	0.73 ^c	0.72 ^b	0.72 ^c
RDM met water 1:1 + km N 4x	0.71 ^b	0.67 ^b	0.69 ^c
Gemiddeld	0.70^a	0.64^b	0.67

Tabel 9 Berekende N-efficiëntie (ANE), kg drogestofopbrengst per kg toegediende N) per locatie gemiddeld over de jaren 2020 en 2021.

Object	Lemelerveld	Luttenberg	Gem. 2020/2021
RDM onverd	22.4 ^{bc}	17.1 ^{ab}	19.8 ^b
RDM met water 1:0,5	21.5 ^{bc}	20.1 ^b	20.8 ^{bc}
RDM met water 1:1	20.2 ^{bc}	19.3 ^{ab}	19.8 ^b
RDM met water 1:1 4x	19.1 ^b	17.9 ^{ab}	18.5 ^{ab}
Kunstmest N	24.8 ^c	21.9 ^b	23.4 ^c
RDM onverd+ km N	17.4 ^a	17.2 ^{ab}	17.3 ^a
RDM met water 1:0,5 + km N	17.5 ^a	17.8 ^{ab}	17.7 ^a
RDM met water 1:1 + km N	17.1 ^a	17.8 ^{ab}	17.4 ^a
RDM met water 1:1 + km N 4x	15.5 ^a	16.4 ^a	16.0 ^a
Gemiddeld	19.5^b	18.4^a	19.0

Deze rekenmethode is iets zuiverder dan alleen kijken naar de absolute ds-opbrengst en N-opbrengst, omdat nu wordt gecorrigeerd voor een mogelijk verschil in N-levering door de bodem. Nu was het verschil in N-levering tussen beide locaties niet erg groot. Als N-gift is de totaal gegeven hoeveelheid N gebruikt (dus geen rekening gehouden met een theoretische werking coëfficiënt van de drijfmest, omdat deze in de praktijk nogal wisselend is). De berekende ANR voor de drijfmestobjecten ligt gemiddeld rond de 55%. Wanneer naast drijfmest ook kunstmest wordt toegediend stijgt de ANR met 15-20%. De kunstmest werkt gemiddeld over beide locaties 95%.

Uit de Anova analyse (zie bijlage 4) bleek dat er geen interactie was tussen locatie en behandeling (voor zowel ANE als ANR). Alle behandelingen reageerden op beide locaties op dezelfde manier. Wel was er een verschil in N-efficiëntie ($p=0.084$, $LSD=1.262$); de ANE was op locatie Lemelerveld hoger dan op Luttenberg, maar het verschil is niet significant. Dat geldt ook voor de N-recovery (ANR). Deze was echter wel significant ($p<0.001$, $LSD=0.032$) hoger op locatie Lemelerveld.

De behandelingen waren ook significant verschillend voor zowel ANE als ANR ($p<0.001$, ANE: $LSD= 2.677$, ANR: $LSD= 0.068$). Dit is aangegeven met een kleine letter in tabel 8 (de letters gelden binnen 1 locatie, locaties onderling waren verschillend). De N-efficiëntie was het hoogst bij het 100% kunstmest object. De ANE was significant hoger dan bij alle andere behandelingen. De behandelingen met alleen drijfmest had geen andere ANE dan die met drijfmest+kunstmest. Ook gaf het verdunnen van mest geen significant afwijkende ANE.

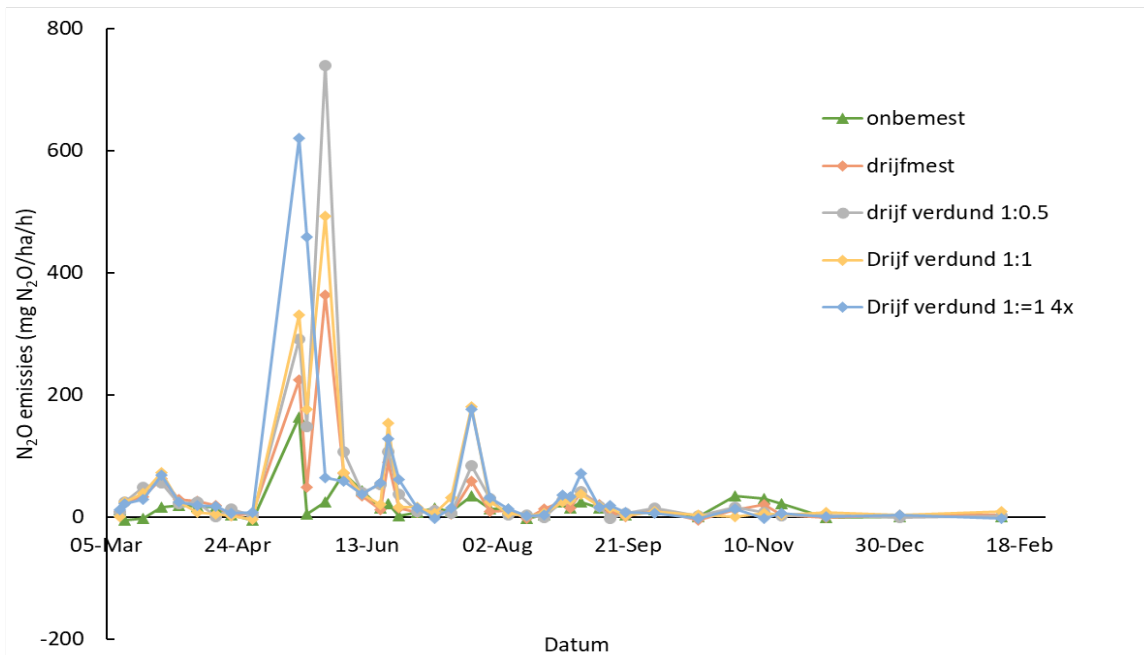
De ANR was ook weer het hoogst (significant) bij het kunstmest object. De ANR van de drijfmest+kunstmest objecten was significant hoger dan van alleen de drijfmestobjecten. Het al dan niet verdunnen had geen (significante) invloed op de ANR. De ANE was ook het hoogst bij het 100% kunstmestobject, maar juist lager bij de objecten waarbij kunstmest is gecombineerd met drijfmest ten opzichte van 100% drijfmest objecten. Het verdunnen had ook op de ANE geen effect. Wel was de ANE bij het object waarbij de drijfmest in 4 sneden in plaats van in 3 sneden is toegediend lager (en soms was het verschil tussen individuele objecten significant; zie kleine letters tabel 9).

3.2 Veldproef: lachgasmetingen (alleen uitgevoerd in 2021)

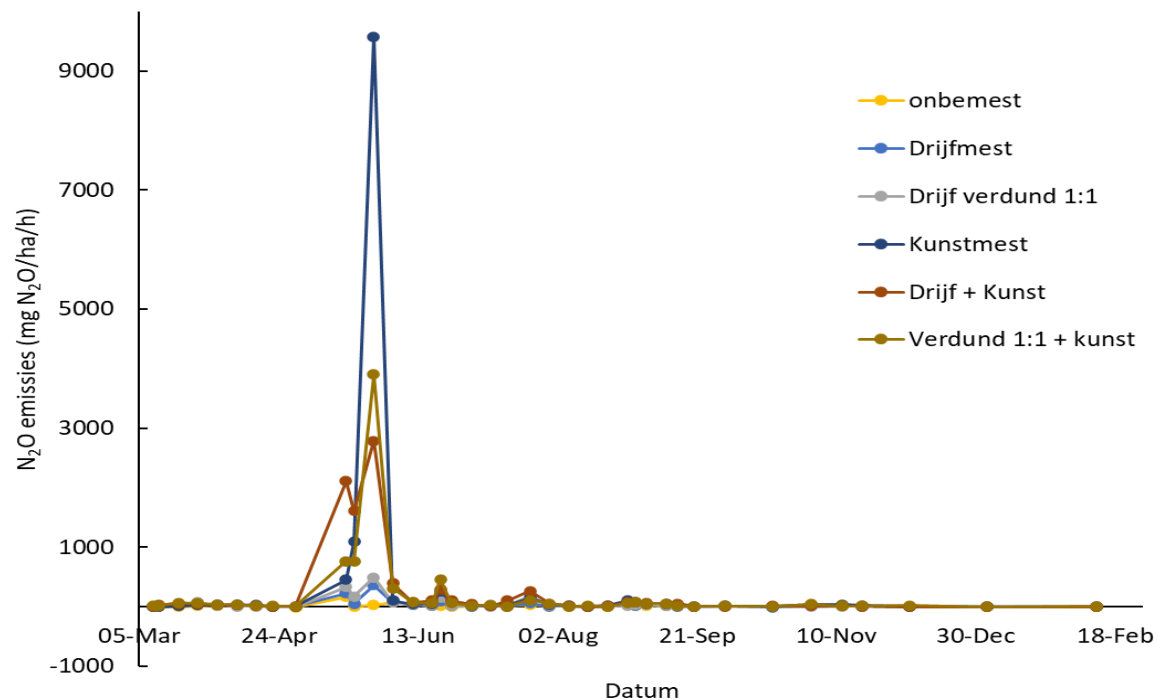
De weersomstandigheden, opbrengsten en mestgiften tijdens proefjaar 2021 zijn al besproken onder de resultaten I Veldproef effect opbrengst. Het overzicht van de behandeling is te vinden in Tabel 1.

In Figuren 13 en 14 staan de emissies over de tijd uitgezet. Uit de figuren blijkt dat de N₂O-emissie toeneemt na bemesting. De N₂O-emissie uit verdunde drijfmest is bij de meeste pieken (iets) hoger dan die uit onverdunde drijfmest (Figuur 13). Dit verschil in emissie trad met name op in het begin van 2021 jaar. Van alle bemestingen in 2021 zijn die in het voorjaar onder meest droge omstandigheden uitgevoerd. De hogere pieken bij de verdunde behandelingen leiden niet tot een significant hogere totale N₂O-emissie over de gehele periode (Figuur 14).

De N₂O-emissies van kunstmest (KAS) waren veel hoger dan die van drijfmest (Figuur 14; Let op verschil in eenheid van de Y-assen in Figuren 13 en 14). De hoogste N₂O-emissie werd gevonden na toediening van alleen kunstmest (behandeling G).



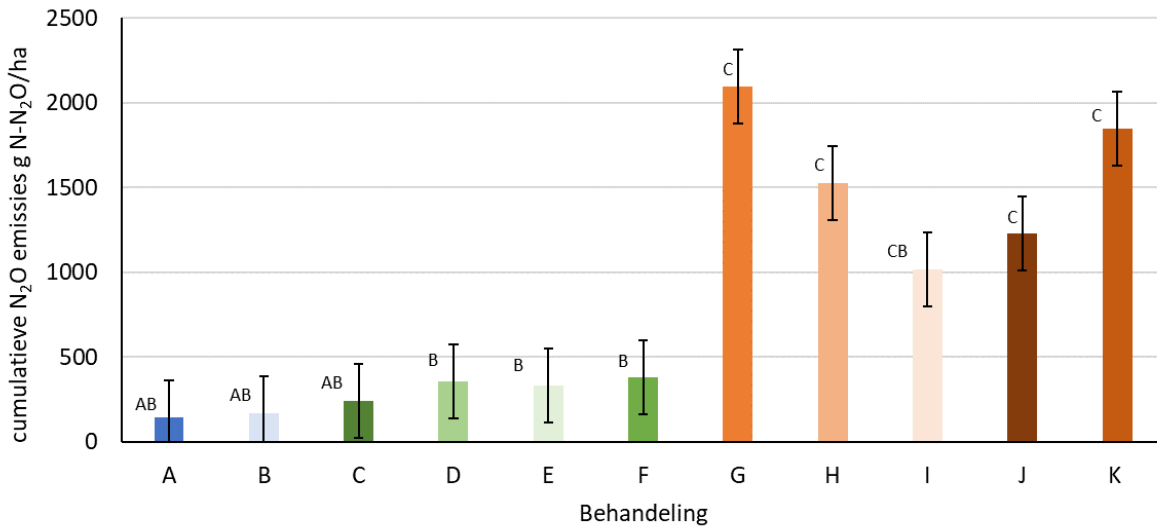
Figuur13 *N₂O-emissies in 2021 voor de controle (onbemest) en de objecten bemest met onverdunde en verdunde drijfmest (Let op, de schaal is anders dan in Figuur 14).*



Figuur 14 *N₂O-emissies in 2021 voor de controle (onbemest) en de objecten bemest met onverdunde en verdunde drijfmest en met kunstmest (Let op, de schaal is anders dan in Figuur 13).*

Door middel van interpolatie van de emissie in de tijd is de totale (cumulatieve) emissie berekend; zie Figuur 15. De totale emissies uit de behandelingen waarin kunstmest is toegediend zijn veel hoger (en statistisch significant) dan de totale emissies van de behandelingen met alleen drijfmest (zowel verdund als niet verdund). De N_2O -emissie uit de controle zonder bemesting is het laagst. De spreiding in N_2O -emissie is hoog, waardoor er geen statistisch significante verschillen zijn tussen de controle en drijfmest plots. Het is bekend dat de ruimtelijke variatie in N_2O -emissie hoog is en doordat er relatief kleine fluxkamers worden gebruikt (20 cm doorsnede) is de spreiding hoog. Ook de veel hogere N_2O -emissies uit de objecten met kunstmest (G t/m K) dan met alleen drijfmest (C t/m F) heeft een effect op gevoeligheid van de statistische toets. Als de kunstmestobjecten uit de statistische analyses worden weggelaten, is de emissie uit de

drijfmestobjecten wel statistisch significant hoger dan de controle. Ook dan is er geen statistisch verschil in N₂O-emissie tussen de onverdunde en verdunde drijfmest.



Figuur 15 Cumulatieve N₂O-emissies van de verschillende behandelingen. De errorbars geven de standaardfout weer en de letters geven significante verschillen aan tussen de behandelingen ($p < 0,05$). Zie tabel 1 voor uitleg van de objecten.

In tabel 10 staan de berekende emissiefactoren weergegeven. De N₂O-emissiefactor voor onverdunde mest toegediend met zodebemesting was 0,04%, die van verdunde mest (0,09 – 0,11%) en die van kunstmest 0,61%. Combinaties van drijfmest en KAS leidden tot een emissiefactoren van 0,20 – 0,41%.

Tabel 10 N₂O-emissiefactoren in % van toegediende N, berekend op basis van de cumulatieve N₂O-emissies en de N-gift.

Object	N gift (kg N/ha)	Cumulatieve emissies (g N-N ₂ O/ha)	EF (%)
Controle 0N	0	144	x
Controle 0N + Water	0	173	x
RDM onverd	249	244	0,04
RDM met water 1:0,5	238	360	0,09
RDM met water 1:1	227	343	0,08
RDM met water 1:1 4x	224	385	0,11
Kunstmest N	321	2094	0,61
RDM onverd+ km N	444	1528	0,31
RDM met water 1:0,5 + km N	433	1018	0,20
RDM met water 1:1 + km N	422	1232	0,26
RDM met water 1:1 + km N 4x	419	1846	0,41

3.3 Veldproeven ammoniakemissie metingen

Alle metingen en analyses bij het onderzoek naar de ammoniakemissie van verdunde mest versus onverdunde mest zijn beschreven in een aparte notitie (Goedhart & Huijsmans, 2023). In dit hoofdstuk worden de eindresultaten weergegeven.

3.3.1 Weersomstandigheden

Voor het vaststellen van de weersomstandigheden werden de weergegevens gebruikt van WUR weerstation Veenkampen. Dit weerstation was gelegen op hemelsbreed ca. 1,5 km van het emissieproefveld. In tabel 11 staan per proef de gemiddelde weergegevens (Windsnelheid, T, RV en neerslag) van de eerste 9 uur na de mesttoediening en de hoeveelheid neerslag gedurende de totale meetperiode van een emissiemeting weergegeven. In Bijlage 6 worden de weersomstandigheden gedurende alle perioden van de ammoniakemissiemetingen in 2020 weergegeven. In Bijlage 7 de weersomstandigheden tijdens de experimenten in 2021.

Tabel 11 Gemiddelde windsnelheid ($m s^{-1}$) op 2 m hoogte, temperatuur ($^{\circ}C$) en relatieve luchtvochtigheid (%) op 1,5 m hoogte gedurende de eerste 9 uur na toedienen van de mest en de hoeveelheid neerslag (mm) gedurende de gehele meetperiode voor iedere proef.

Jaar	Week	Proefnummer	Wind ($m s^{-1}$)	T ($^{\circ}C$)	RV (%)	Neerslag (mm)
2020	21	1		21,5	62,4	4,99
	22	2		19,4	54,9	0,00
	27	3		18,9	69,8	13,06
	28	4		17,2	62,8	12,14
2021	12	1		5,9	80,8	1,16
	13	2		7,4	68,5	0,00
	23	3		24,2	47,4	0,59
	29	4		20,8	52,7	0,03

3.3.2 Mestsamenstelling en mestgiften

In tabel 12 is de mestgift en de gemiddelde mestsamenstelling per proefveld gegeven. De gerealiseerde mestgiften waren iets lager dan de gewenste mestgiften van 20 en 30 $m^3 ha^{-1}$ bij respectievelijk onverdund en verdunde mest. Aan de hand van de mestanalyses kan geconcludeerd worden dat de verdunningen zeer goed gelukt zijn. De relatieve gehalten bij de verdunningen (gehalte verdund/gehalte onverdund) waren bij de 1:0,5 verdunning gemiddeld 66,5% in 2020 en 69% in 2021. De beoogde verdunning was 66,6%.

Tabel 12 Mestgift en mestsamenvatting van de onverdunde en verdunde mest ¹⁾.

Jaar	Week-jaar	Proefnummer	Verdunding	Mestgift (m ³ ha ⁻¹)	Mestgift (kg NH ₄ -N ha ⁻¹)	NH ₄ -N (g kg ⁻¹)	Ntotaal (g kg ⁻¹)	Ds (%)
2020	21	1	Onverdund	18,2	43,6	2,40	4,75	9,4
			Verdund 1:0,5	28,2	46,1	1,63	3,30	6,2
	22	2	Onverdund	16,6	40,2	2,43	4,80	9,4
			Verdund 1:0,5	25,7	43,1	1,67	3,29	6,2
	27	3	Onverdund	18,5	40,6	2,20	4,33	8,4
			Verdund 1:0,5	28,1	42,9	1,53	3,03	5,6
	28	4	Onverdund	17,9	38,8	2,16	4,34	8,1
			Verdund 1:0,5	28,4	42,5	1,50	2,99	5,4
2021	12	1	Onverdund	18,9	38,8	2,06	3,81	5,8
			Verdund 1:0,5	27,6	39,9	1,44	2,77	4,0
	13	2	Onverdund	18,5	38,1	2,06	3,80	3,8
			Verdund 1:0,5	27,6	40,6	1,47	2,71	2,7
	23	3	Onverdund	18,6	49,6	2,67	5,19	9,4
			Verdund 1:0,5	28,9	51,4	1,78	3,46	6,3
	29	4	Onverdund	19,0	33,9	1,78	3,47	6,1
			Verdund 1:0,5	28,4	35,2	1,24	2,38	4,1

1) Resultaten mestanalyses zijn het gemiddelde van 2 mestmonsters genomen tijdens het uitrijden.

3.3.3 Ammoniakemissie

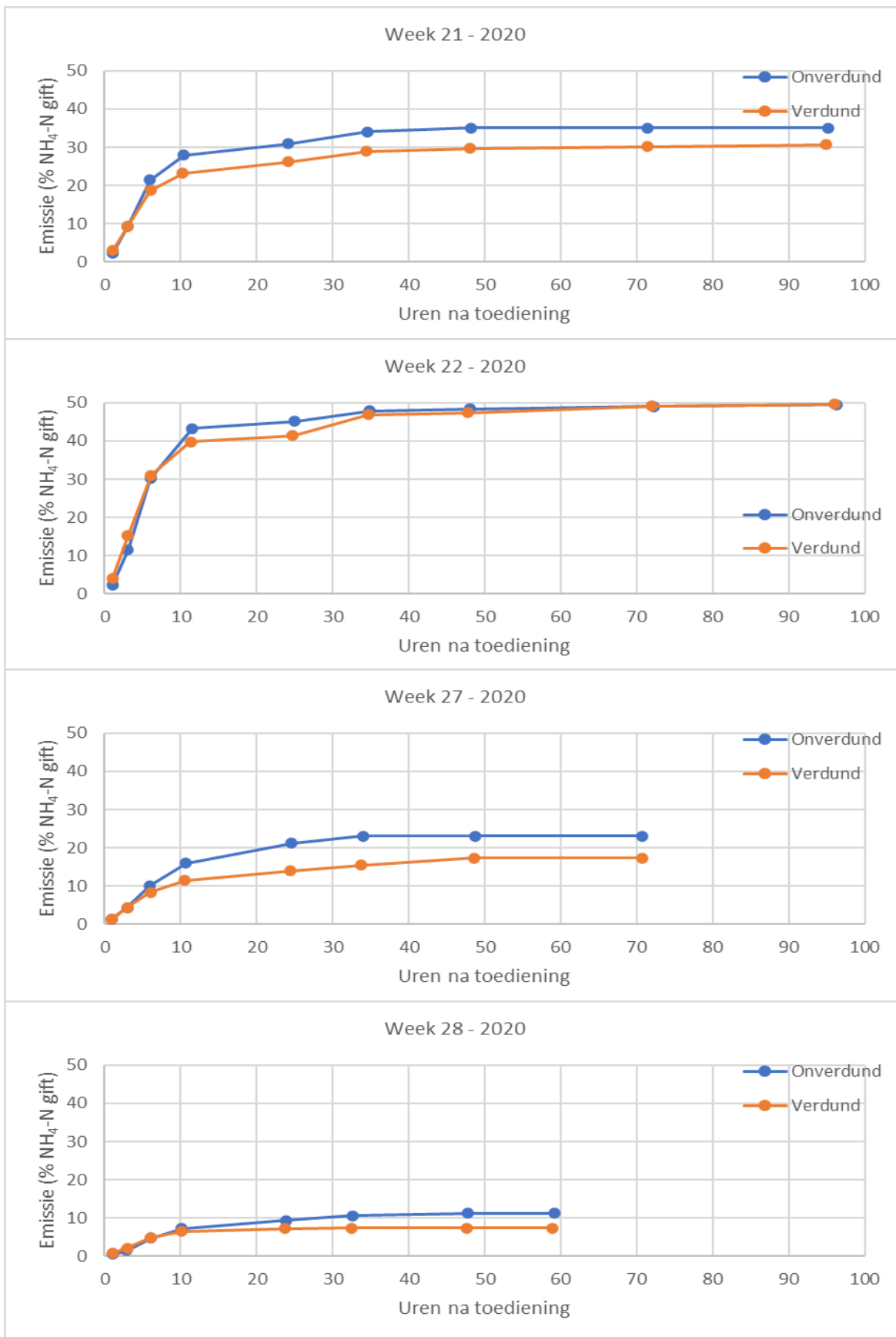
Tijdens een experiment werd gedurende meerdere achtereenvolgende perioden, direct volgend op het tijdstip van de mesttoediening, de ammoniakemissie gemeten. In tabel 13 staat voor het jaar 2020 en 2021 de totaal gemeten ammoniakemissie voor de verschillende proeven en proefvelden op de zandgrond. In figuur 16 staat het verloop van de cumulatieve ammoniakemissie na de mesttoediening voor respectievelijk week 21, 22, 27 en 28 in 2020. In figuur 17 wordt de cumulatieve emissie voor de weken 12, 13, 23 en 29 in 2021 weergegeven.

In 2020 is proef 3 na 70 uur stopgezet vanwege langdurige regen. Proef 4 is na 59 uur afgesloten in verband met hevige regen. In 2021 is de eerste proef na 57 uur afgesloten om vervolgens direct daarna proef 2 te kunnen opstarten. Proef 3 in 2021 is iets eerder gestopt vanwege onweer.

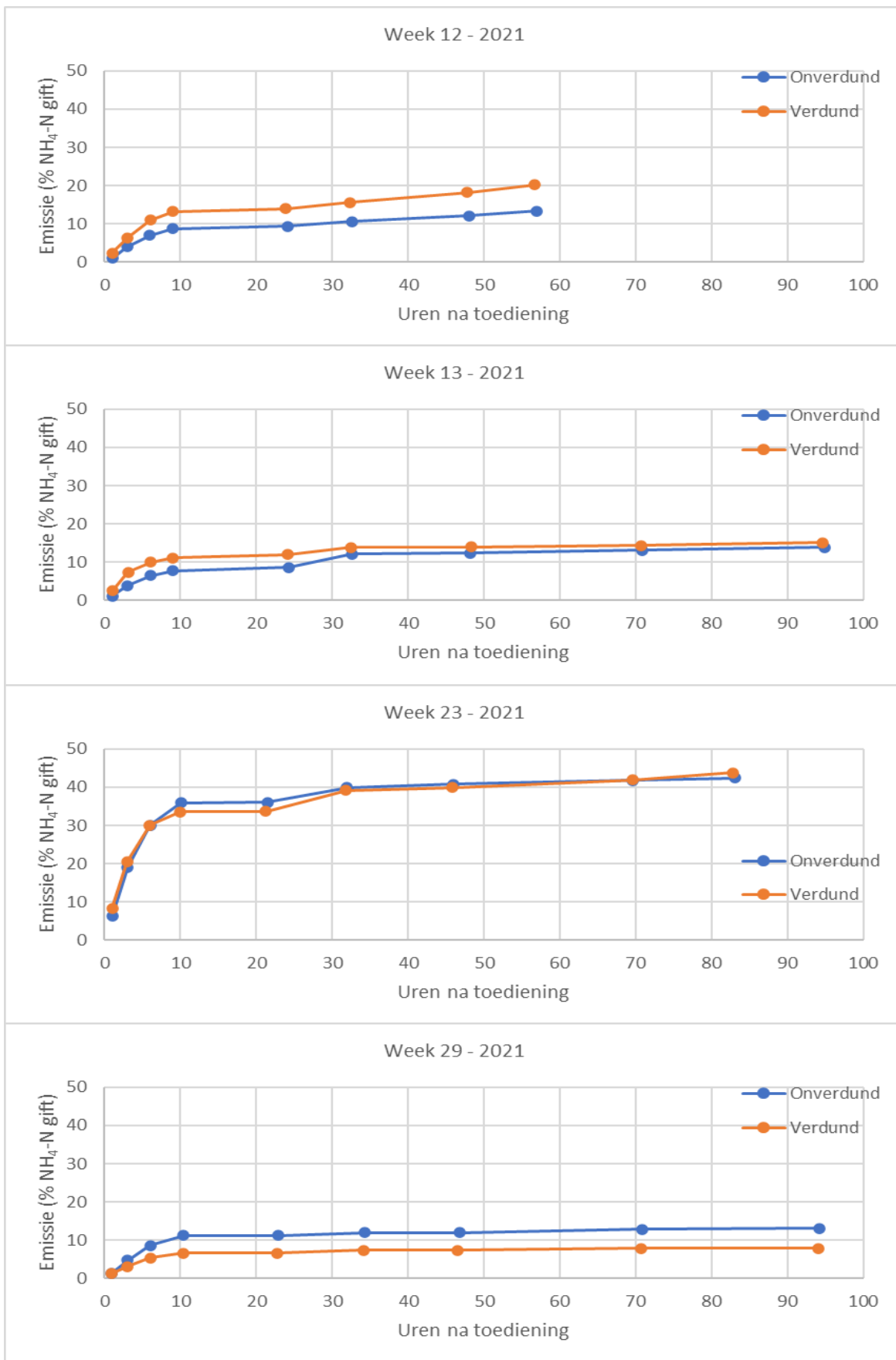
De ammoniakemissie bij de toediening van de onverdunde mest was in 2020 gemiddeld 29,7% (n=4) en varieerde van 11,2 tot 49,5% van de toegediende ammoniumstikstof. Bij de verdunde mest was de gemiddelde ammoniakemissie 26,3% (n=4) en varieerde van 7,4 tot 49,7%. In 2021 was de gemiddelde ammoniakemissie voor onverdunde mest 20,7% (n=4) en varieerde van 13,2 tot 42,3%. Voor verdunde mest was dit gemiddelde 21,8% (n=4) met een variatie van 7,9 tot 43,8%.

Tabel 13 Cumulatieve emissie over de gemeten periode na uitrijden van de mest als % van de opgebrachte ammoniumstikstof NH₄-N.

Jaar	Week- jaar	Proefnummer	Verdunning	Ammoniakemissie (% NH ₄ -N gift)
2020	21	1	Onverdund	35,1
			Verdund 1:0,5	30,6
	22	2	Onverdund	49,5
			Verdund 1:0,5	49,7
	27	3	Onverdund	23,1
			Verdund 1:0,5	17,3
	28	4	Onverdund	11,2
			Verdund 1:0,5	7,4
2021	12	1	Onverdund	13,3
			Verdund 1:0,5	20,2
	13	2	Onverdund	13,8
			Verdund 1:0,5	15,1
	23	3	Onverdund	42,3
			Verdund 1:0,5	43,8
	29	4	Onverdund	13,2
			Verdund 1:0,5	7,9



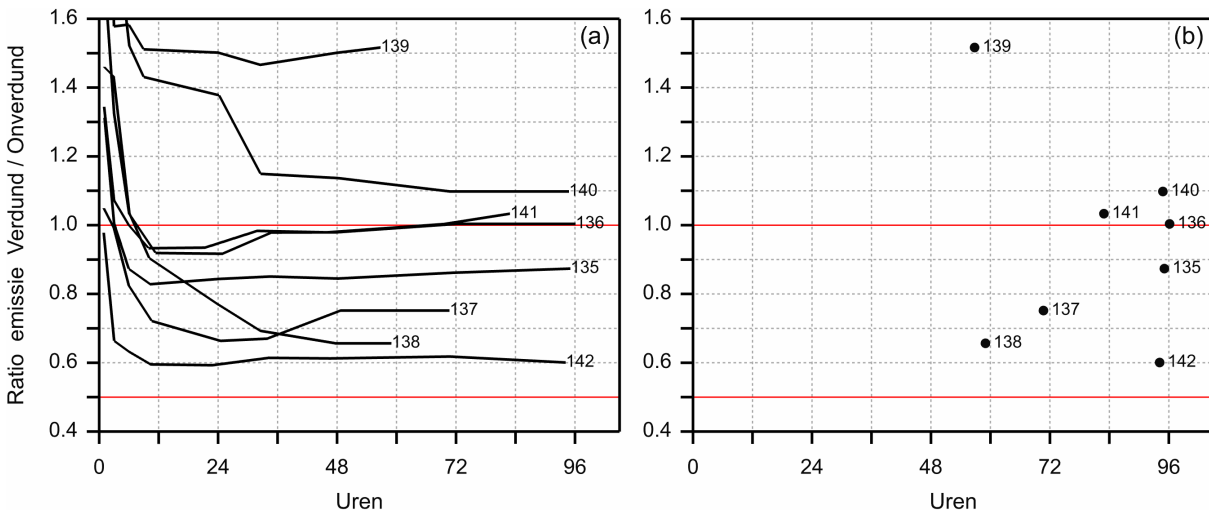
Figuur 16 Verloop cumulatieve ammoniakemissie week 21, 22, 27 en 28 2020 na mesttoediening op zandgrond met de zodenbemester met onverdunde en verdunde rundermest.



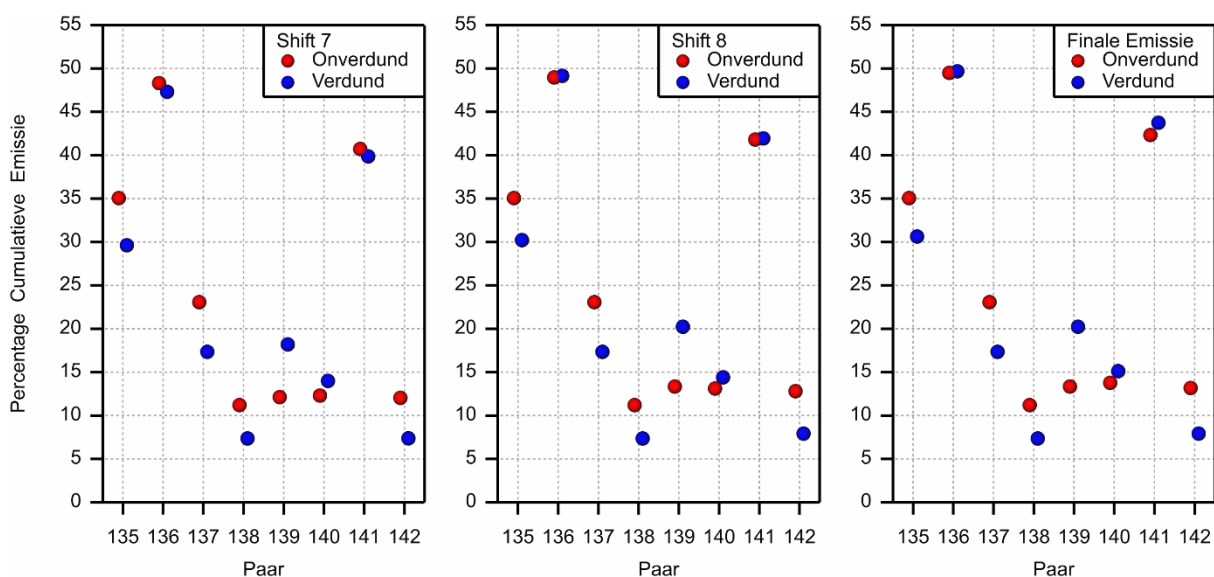
Figuur 17 Verloop cumulatieve ammoniakemissie week 12, 13, 23 en 29 2021 na mesttoediening op zandgrond met de zodenbemester met onverdunde en verdunde rundermest.

3.3.4 Statistische vergelijking emissies onverdunde en verdunde mest

Het doel van deze 8 experimenten was een paarsgewijze vergelijking van (cumulatieve) emissie percentages van onverdunde en verdunde mest. Figuur 18a geeft voor elk paar de ratio van de cumulatieve emissie van verdunde en onverdunde mest versus de cumulatieve tijd. Na ongeveer 36 uur is de ratio gestabiliseerd. Figuur 18b geeft de ratio voor de finale emissie versus de duur van het experiment; er is geen aanwijzing dat de ratio afhangt van de duur van het experiment. Figuur 19 geeft de cumulatieve percentages emissies na meetinterval 7 (shift 7 t/m circa 48 uur na het moment van uitrijden), na shift 8 (t/m 57-72 uur na uitrijden) en de laatste, of finale, emissie in Tabel 13. In deze figuur is te zien dat de emissies in shift 8 en daarna gering zijn. De emissies na shift 7 zijn allemaal ongeveer na 48 uur, terwijl de emissies na shift 8 tijdsduren tussen 57 en 72 uur betreft. Voor de paarsgewijze vergelijking van onverdunde en verdunde mest maakt die wisselende tijdsduren niet veel uit, omdat de vergelijking gemaakt wordt **binnen** een paar; dit geldt temeer omdat de emissies in de laatste shifts gering zijn.



Figuur 18 Waargenomen ratio's van de cumulatieve emissie van onverdunde en verdunde mest versus de tijd binnen paarsgewijze experimenten (paneel a). Waargenomen ratio's voor de finale cumulatieve emissie versus de duur van het experiment (panel b).



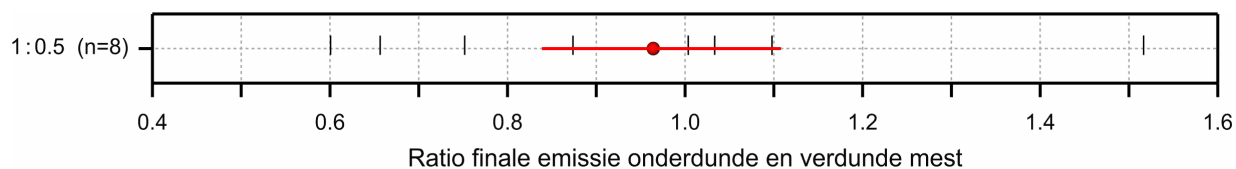
Figuur 19 Percentages cumulatieve emissie per paar na shift 7, na shift 8 en de finale emissie.

De cumulatieve emissie percentages na shift 7, na shift 8 én de finale emissie in Tabel 13 zijn statistisch geanalyseerd met een gegeneraliseerd lineair model (GLM) met een quasi binomiale verdeling en een log link. De overdispersie parameter wordt daarin geschat met de Pearson statistic. De quasi binomiale verdeling is standaard om percentages te modelleren; het houdt rekening met het feit dat zeer lage en zeer hoge emissie percentages minder zullen variëren dan emissies rond de 50%. In de analyse is de log link in plaats van de standaard logit link gebruikt, omdat met de log link direct de ratio tussen de emissie van verdunde en onverdunde mest wordt geschat. Voor relatief lage percentages is er weinig verschil tussen een analyse met de log en de logit link. Het additieve model "Paar + Behandeling" is aangepast opdat de vergelijking "Verdund" versus "Onverdund" binnen paren wordt uitgevoerd analoog aan een gepaarde t-toets. Een quasi deviance toets op het verschil tussen onverdunde en verdunde mest geeft een p-waarde van respectievelijk 0.373, 0.536 en 0.624 voor de drie cumulatieve emissie percentages. De voorspelde gemiddelde emissies conform het statistische model zijn gegeven in Tabel 8. Er zijn dus geen duidelijke aanwijzingen voor een effect van verdunnen wanneer mest wordt toegediend met een zodenbemester.

Tabel 14 Gemiddelde ammoniak emissie (%) conform het logistische regressie model.

Behandeling	Shift 7	Shift 8	Finale emissie
Onverdund	24.3	24.8	25.0
Verdund	22.7	23.7	24.1

De schatting voor de ratio tussen de emissie van verdunde mest en onverdunde mest is, voor de finale emissie, gelijk aan 0.96 met een 95% betrouwbaarheidsinterval (0.84, 1.11). Dit is grafisch weergegeven in Figuur 20. Bij weglating van paar 139, met een duidelijk hogere emissie voor verdunde mest, is de ratio schatting 0.93 met 95% interval (0.83, 1.05). Ook dan is er dus geen duidelijke aanwijzing voor een verschil in emissie.



Figuur 20 Waargenomen ratio's van de cumulatieve emissie van onverdunde en verdunde mest versus de tijd binnen paarsgewijze experimenten; in rood de schatting van de emissie ratio met het bijbehorende 95% betrouwbaarheidsinterval.

4 Discussie

4.1 Algemeen

De achterliggende theorie bij dit onderzoek is dat het verdunnen van de mest de NH_3 emissie verlaagt en daaruit volgend zou deze niet vervluchtigde stikstof bij kunnen dragen aan de grasgroei. Dat zou betekenen dat bij een gelijke mestgift (gelijke N-hoeveelheid), meer stikstof terug kan worden gevonden in het gras, hetzij als extra ds-opbrengst, hetzij als extra eiwit (N-gehalte), dan wel een combinatie van die 2. Een andere mogelijkheid zou kunnen zijn, dat als deze NH_3 niet vervluchtigt deze niet in het gewas terecht komt, maar wordt toegevoegd aan de bodemvoorraad (en daarmee het N-leverend vermogen van de bodem (de NLV) verhoogt) of via denitrificatie als N_2O of N_2 verloren gaat. Dit is echter niet te meten binnen 1 seizoen en zou ook eigenlijk alleen goed te meten zijn met gelabelde N. Het voorliggende experiment is alleen gericht op extra opbrengst in de bovengrondse gewasdelen, zowel massa als N-gehalte.

In een eerder 1-jarig experiment (van Schooten et al, 2017) met het uitrijden van verdunde drijfmest met een sleepvoetenmachine op veen, was wel een verhoogde opbrengst waargenomen, echter niet in alle gevallen, dus hier veel spreiding in de resultaten. Omdat zowel deze methode niet mag worden toegepast op zandgrond en de grondsoort mogelijk ook van invloed kan zijn, is in dit onderzoek gebruikt gemaakt van een op zandgrond toegestane zodenbemester die de mest in de grond brengt en is de grondsoort zandgrond. Het verdunnen van mest geeft een groter (afhankelijk van de gekozen verdunning) toe te dienen volume. Er moet dus meer product worden uitgereden voor eenzelfde dosering N. Dit betekent meer transport (kosten en energie) en mogelijk een wat langere werktijd op een perceel. In de proef gaven de toegepaste verdunningen geen aanleiding tot een aangepaste werkwijze. Het vloeibare product kon goed worden toegediend in de gemaakte sleuven, waardoor niet extra langzaam behoefde te worden gereden.

4.2 Veldproef effect opbrengst

In de opbrengst veldproef zijn de verdunningen 'in het veld' gemaakt. Hoewel het een tot proefveldmachine omgebouwde zodenmester betrof, is dit nog steeds geen laboratoriumschaal. De verdunning met water is ter plekke gemaakt, door een bepaalde hoeveelheid mest op te zuigen (doorstroommeter) en daar een bijbehorende hoeveelheid water (weer doorstroommeter) aan toe te voegen. Dat betekent dat de verdunning nooit helemaal exact kan worden gemaakt, dus is het de vraag of deze methodiek wel (ook) van toepassing gaat worden voor de praktijk in verband met controle mogelijkheden. Toch is de benodigde verdunning goed te realiseren, gezien de N-gehalten in het onverdunde product en de N-gehalten van de 2 verdunningen. De resultaten zijn in elk geval niet beïnvloed door een sterke afwijking van de gekozen uitgangspunten. De totale N gift die is toegediend op de drijfmestobjecten is door lichte afwijkingen in het N-gehalte bij de verdunningen en een zekere minimale variatie rondom de toegediende hoeveelheid, niet exact gelijk, maar de kleine verschillen zijn niet significant. Daarbij is het gelukkig ook niet zo, dat op de verdunde objecten consequent minder N is toegediend, en zelfs regelmatig iets meer N is gegeven.

Het zou kunnen, zeker in het relatief droge groeiseizoen 2020, dat het toedienen van extra water mede de oorzaak zou kunnen zijn van extra opbrengst. Met de drijfmestgiften in het voorjaar is het meeste extra water gegeven, namelijk 25 m^3 (de onverdund gegeven hoeveelheid was ook 25 m^3). Deze 25 m^3 water ($25000 \text{ liter/ha} = 25000 \text{ liter}/10000 \text{ m}^2$ of $2.5 \text{ liter per m}^2$) komt overeen met een buitje van 2.5 mm . Dit is echter minder dan er op een mooie zomerse dag verdampt (namelijk tussen de 3 en 5 mm en soms zelfs iets meer). In theorie is dit dus een te verwaarlozen hoeveelheid. Toch is er een toets uitgevoerd, door op het onbemeste object eveneens de grootste hoeveelheid water die per snede bij een verdunning is toegepast ook toe te dienen. Uit de resultaten blijkt dat er geen extra opbrengst is behaald met het toedienen van deze extra hoeveelheid water, hetgeen uit bovenstaande uitleg ook niet was te verwachten.

Het eventuele negatieve effect van het snijden is niet 'los' getoetst, maar als we een onbemest object waarop wel water is toegediend als combinatie-object beschouwen, levert de combinatie van sneden en het toedienen van extra water geen extra opbrengst op. Ook in eerdere bemestingsproeven (Van Middelkoop en Holshof, 2017) is geen effect gevonden van snijden, noch van berijden.

In de in 2020 uitgevoerde proef is op jaarbasis 65 m³ drijfmest per hectare toegediend, met een gemiddeld N-NH₄ gehalte van 1,5 kg N/m³ mest. Stel dat gemiddeld 17% van de N-NH₄ vervluchtigt. Als verder wordt uitgegaan van een 20% reductie van de vervluchtiging door verdunnen, dan komen we in deze proef theoretisch tot de volgende berekening:

Toegediend: 65 m³ × 1,5 = 97,5 kg N-NH₄/ha per jaar. Bij 'normale' toediening zal daar 17% van kunnen emitteren. Dat is (uitgedrukt in kg N) ongeveer 16,6 kg N per ha. Als we deze hoeveelheid met 20% kunnen reduceren dan emitteert ongeveer 13,3 kg N per ha; de verdunning zou in dit voorbeeld dan leiden tot circa een extra beschikbare 3,3 kg N per hectare per jaar.

In werkelijkheid zal de winst waarschijnlijk veel lager liggen en derhalve zeer onwaarschijnlijk terug te vinden zijn in extra meetbare opbrengstverschillen. Het N-verlies door N₂O-emissie is laag (<<1%). Het is bekend dat als er N₂O wordt gevormd er ook N₂ wordt gevormd. N₂ is niet gemeten in de proef. Gezien de lage NO-emissies wordt verwacht dat N₂-emissie en de totale N-verliezen door denitrificatie beperkt zijn geweest in deze proef.

Het verminderen van de N-emissie hoeft niet noodzakelijkerwijs te leiden tot een hogere ds-opbrengst; ook het N-gehalte en daarmee het eiwitgehalte kan verhoogd worden bij een hogere werkzame N-gift. Gezien de verwachte reductie, zou dit een duidelijk meetbaar hoger gehalte moeten betekenen, maar ook het N/eiwitgehalte van de verdunde drijfmestobjecten week niet significant af van het onverdunde object.

4.3 Lachgasmetingen

In het onderzoek is het nitraathoudende kalkammonsalpeter (KAS) als kunstmest toegediend. Het is bekend dat de N₂O-emissie uit nitraathoudende meststoffen onder natte omstandigheden in grasland veel hoger is dan die van ammoniummeststoffen en dierlijke mest. Na toediening van KAS kan er direct denitrificatie optreden, terwijl na toediening van ammonium eerst nitrificatie (omzetting van ammonium naar nitraat) moet optreden. In deze periode van nitrificatie neemt gras ook stikstof op, zodat de nitraatgehalten in de bodem minder hoog worden dan wanneer er KAS wordt toegediend. De emissiefactor voor onverdunde mest toegediend met zodebemesting was heel laag: 0,04%. Ook die van de verdunde mest was laag (0,14 – 0,22%). Deze emissiefactoren zijn veel lager dan die worden gebruikt in de Nederlandse rekenmethode; 0,3% voor drijfmest op grasland op minerale gronden (0,3 ± 0,1%; Velthof en Mosquera, 2011). De emissiefactor voor alleen KAS was in dit onderzoek 0,6%, dat redelijk in lijn ligt met de gemiddelde emissiefactor voor KAS op grasland uit eerder studies (0,8 ± 0,1 %.; Velthof en Mosquera, 2011). Combinaties van drijfmest en KAS leidden tot emissiefactoren die tussen die van drijfmest en KAS inliggen; 0,25 – 0,55%. Er lijkt geen interactie zijn tussen drijfmest en KAS op N₂O-emissie. De koolstof in de drijfmest zou de N₂O-emissie uit het nitraat uit KAS kunnen verhogen, maar de resultaten geven aan dat deze interactie niet of beperkt is opgetreden.

4.4 Veldproef Ammoniakmetingen

Bij het ammoniakemissie onderzoek werd de verdunning aangemaakt in de bemester, die op een weegbrug stond. De beoogde verdunningen konden goed gerealiseerd worden. In het onderzoek naar de ammoniakemissie is voor het uitrijden van de verdunde en onverdunde mest eenzelfde type machine toegepast om zo eventuele effecten als gevolg van de toedieningsmethode zo veel mogelijk uit te sluiten. Ook in deze metingen vindt de piek in de emissie plaats in de eerste uren na toediening, zoals dit ook in andere emissie-onderzoeken met dierlijke mest is aangetoond. De acht experimenten zijn uitgevoerd gespreid over het bemestingseizoen om zo een robuuste vergelijking tussen wel en niet verdunnen onder verschillende omstandigheden (weer, bodem etc). te kunnen maken. Variaties in de hoogte van de ammoniakemissie kunnen onder andere een gevolg zijn van de weersomstandigheden, bodemgesteldheid, mestverdeling, mestsamenstelling en de wijze van toediening.

De uitgevoerde experimenten (vergelijkende metingen wel en niet verdunnen) kunnen gezien worden als herhalingen in de tijd, echter de omstandigheden waaronder gemeten is, zullen verschillend zijn voor de grond, de mest en het weer.

Vanuit eerder onderzoek, uitgevoerd op grasland en bouwland, blijkt dat er veel herhalingen nodig zijn om statistisch onderbouwde uitspraken te kunnen doen over effecten van bodem- en weersomstandigheden en mestamenstelling op de ammoniakemissie (Huijsmans *et al.*, 2001 en 2003).

4.5 Overall

De uitkomst van dit (tweejarig) onderzoek heeft **niet** aangetoond dat het verdunnen van drijfmest tot significant hogere opbrengsten, dan wel hoger N-gehalten in het gras leidt. Uit het onderdeel waar de NH₃-emissie is gemeten kwam ook niet naar voren dat het verdunnen een lagere emissie gaf. De resultaten van beide separaat uitgevoerde onderdelen zijn daarmee in overeenstemming.

5 Conclusies

5.1 Conclusies veldproef effect opbrengsten

Het verdunnen van drijfmest bij toediening met een zodenbemester op grasland zou een mogelijke oplossing kunnen zijn om de ammoniakemissie sterk te reduceren. Verlaagde emissies zouden bovendien leiden tot hogere opbrengsten. Dit kan in de vorm van meer product (hogere ds-opbrengst), meer N (eiwit) in het product of een combinatie van beide effecten. Daarnaast zou een effect nog locatie-afhankelijk kunnen zijn (bijvoorbeeld door verschil in grondsoort, vochttoestand bodem of de mestsamenvoeging).

Uit de proefresultaten van 2020 en 2021 bleek dat:

- Verdunnen van drijfmest bij toediening niet leidt tot hogere ds- dan wel N opbrengsten
- De mate van verdunning in de range 1 deel mest op 0.5 deel water tot 1 deel mest op 1 deel water geen invloed heeft op de opbrengst (N en ds)
- De hoeveelheid toegevoegd water (omgerekend slechts enkele mm) niet heeft geleid tot een meeropbrengst
- Er geen verschil is tussen de resultaten die op beide locaties zijn gevonden bij het vergelijken van de objecten per locatie (zowel ds-opbrengsten als N opbrengsten waren per object vergelijkbaar)
- Daardoor de resultaten meer algemeen toepasbaar zijn voor zandgronden
- Kunstmest de hoogste opbrengst geeft met de hoogste efficiëntie
- Aantonen van een emissiereductie via het 'opbrengstspoor' erg moeilijk is, omdat de marges zelfs bij een reductie van 40% erg klein zijn
- Het verdelen van een totale hoeveelheid mest over 4 in plaats van 3 sneden leidt tot lagere opbrengsten en efficiëntie.

5.2 Conclusies lachgasmetingen

Het verdunnen van drijfmest leidde tot iets hogere N₂O-emissies ten opzichte van onverdunde drijfmest, met name tijdens de droge periode in het voorjaar van 2021. Er waren geen statistisch significante verschillen in de totale emissie tussen onverdunde en verdunde drijfmesten. Door het verdunnen van mest wordt niet veel water (enkele mm) toegevoegd aan de grond. Om optimale omstandigheden te creëren voor denitrificatie en daarmee een piek in N₂O emissies, is het belangrijk dat de grond vochtig genoeg is om voor zuurstofloze omstandigheden te zorgen. Het zou kunnen dat de hoeveelheid water die in het voorjaar werd toegevoegd bij de verdunningen net iets betere omstandigheden creëerde voor emissies te ontstaan, maar de verschillen waren niet significant. De emissies waren laag en de emissiefactoren voor drijfmest (0,04% voor onverdunde drijfmest en 0,14 – 0,17% voor verdunde drijfmesten waren lager dan de gemiddelde emissiefactor van 0,3% uit eerder onderzoek). De emissies van onverdunde en verdunde drijfmesten waren veel lager dan die van de nitraathoudende kunstmest KAS. De emissiefactor voor KAS was in dit onderzoek 0,6%, dat redelijk in lijn ligt met de gemiddelde emissiefactor voor KAS op grasland uit eerder studies (0,8 ± 0,1%).

5.3 Conclusies veldproef ammoniakmetingen

De gemeten hoogten van de ammoniakemissies zijn sterk afhankelijk van de omstandigheden tijdens en de eerste dagen na de toediening. Voor de ammoniakemissie zijn geen duidelijke aanwijzingen gevonden voor een effect van verdunnen wanneer mest wordt toegediend met een zodenbemester (zandgrond). Over de acht uitgevoerde experimenten kon geen robuuste emissiereductie waargenomen worden.

Literatuur

- Butterbach-Bahl, K., Baggs, E. M., Dannenmann, M., Kiese, R., & Zechmeister-Boltenstern, S. (2013). Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls?. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1621), 20130122.
- Firestone, M. K., & Davidson, E. A. (1989). Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soil. *Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere*, 47, 7-21.
- CDM (2020) CDM-advies 'Effecten van verdunning van mest bij mestaanwending op zandgrond'. <https://www.wur.nl/nl/show/CDM-advies-Effecten-van-verdunning-van-mest-bij-mestaanwending-op-zandgrond.htm>
- Denmead, O.T., 1983. Micrometeorological methods for measuring gaseous losses of nitrogen in the field, in: J.R. Freney & J.R. Simpson (eds), *Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems*, Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Pub., Den Haag.
- Firestone, M. K., & Davidson, E. A. (1989). Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soil. *Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere*, 47, 7-21.
- Goedhart, P. W. & Huijsmans, J. F. M., 2017. Accounting for uncertainties in ammonia emission from manure applied to grassland. In: *Soil Use and Management*. 33, 4, p. 595-602
- Goedhart, P. & J. Huijsmans, 2023. Ammoniakonderzoek en onderscheidingsvermogen; verdunnen bij zodenbemesting. In de 4TU repository: 10.4121/21878634; <https://doi.org/10.4121/21878634>
- Goedhart, P.W., Mosquera, J. & Huijsmans, J.F.M. (2020). Estimating ammonia emission after field application of manure by the integrated horizontal flux method: a comparison of concentration and wind speed profiles. In: *Soil Use and Management*. 36, 2, p. 338-350
- Huijsmans, J.F.M., J.M.G. Hol & H.A. van Schooten, 2015. Ammoniakemissie bij toediening van verdunde mest met een sleepvoetenmachine op grasland. *Plant Research International*, Wageningen UR, Wageningen, rapport 633, 33 pp.
- Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G., van Schooten, H.A. & Verwijs, B.R., 2017. Ammoniakemissie bij met water verdunde mest toegediend met een sleepvoetenmachine op grasland : resultaten 2016-2017
- Huijsmans, J. F. M. & Schils, R. L. M., 2009. Ammonia and nitrous oxide emissions following field-application of manure: state of the art measurements in the Netherlands. York: International Fertiliser Society. 36 p. (Proceedings / International Fertiliser Society; no. 655)
- Huijsmans, J. F. M., Vermeulen, G. D., Hol, J. M. G. & Goedhart, P. W., 2018, A model for estimating seasonal trends of ammonia emission from cattle manure applied to grassland in the Netherlands. In: *Atmospheric Environment*. 173, p. 231-238
- Rietra, R. P. J. J., & Velthof, G. L. (2014). Stikstofverwerking van mineralenconcentraat onder gecontroleerde omstandigheden: effecten van aanzuren, vocht en toedieningstechniek (No. 2518). *Alterra*, Wageningen-UR.
- Ryden, J.C. & J.E. McNeill, 1984. Application of the micrometeorological mass balance method to the determination of ammonia loss from a grazed sward. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 35: 1297-1310.

-
- Van der Zee T., A. Bannink , C. van Bruggen, K. Groenestein, J. Huijsmans, J. van der Kolk, L. Lagerwerf, H. Luesink, G. Velthof, J. Vonk (2021) Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands. Calculations for CH₄, NH₃, N₂O, NO_x, NMVOC, PM₁₀, PM_{2.5} and CO₂ using the National Emission Model for Agriculture (NEMA) – Update 2021 RIVM report 2021-0008. Verkregen via: <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Projecten/Commissie-van-Deskundigen-Meststoffenwet-CDM/Documenten/Gasvormige-emissies-NEMA.htm>
- Van Schooten, H.A., J.F.M. Huijsmans, K.M. Houwelingen, 2017. Benutting verdunde mest aangewend met sleepvoetenmachine op grasland; Eénjarige veldproeven op klei- en veengrond. Wageningen Livestock Research, Rapport 1084.
- Van Middelkoop, J. C., & Holshof, G. (2017). Nitrogen Fertilizer Replacement Value of Concentrated Liquid Fraction of Separated Pig Slurry Applied to Grassland. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(10), 1132-1144. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1323101>
- Velthof, G. L., & Mosquera Losada, J. (2011). Calculation of nitrous oxide emission from agriculture in the Netherlands : update of emission factors and leaching fraction. (Alterra-report; No. 2151). Alterra. <https://edepot.wur.nl/169366> Wageningen Plant Research. 34 p. (Rapport / Wageningen Plant Research; no. WPR-754)

Bijlage 1 Plattegrond proefvelden op de locaties Luttenberg en Lemelerveld

Luttenberg

	veld	object
	1	B
	2	F
	3	H
	4	J
blok 1	5	E
	6	D
	7	G
	8	K
	9	A
	10	C
	11	I
	12	J
	13	A
	14	K
	15	C
blok 2	16	G
	17	B
	18	D
	19	E
	20	H
	21	F
	22	I
	23	F
	24	J
	25	H
	26	G
	27	I
blok 3	28	A
	29	K
	30	D
	31	C
	32	E
	33	B
	34	H
	35	C
	36	E
	37	A
	38	G
blok 4	39	K
	40	F
	41	B
	42	I
	43	D
	44	J

Lemelerveld

	veld	object
	1	A
	2	K
	3	B
	4	J
blok 1	5	G
	6	I
	7	F
	8	C
	9	H
	10	E
	11	D
	12	D
	13	J
	14	B
	15	K
blok 2	16	A
	17	H
	18	I
	19	G
	20	E
	21	F
	22	C
	23	I
	24	J
	25	H
	26	K
	27	E
blok 3	28	C
	29	A
	30	F
	31	G
	32	B
	33	D
	34	K
	35	I
	36	D
	37	A
	38	F
blok 4	39	C
	40	J
	41	E
	42	G
	43	B
	44	H

Bijlage 2 Bemesting proefvelden veldproef opbrengstbepaling

Locatie	datum	Snede	Object	ds	N	N-NH ₃	N-org	os	RAS	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	C/N
Lemelerveld	23-mrt	1	Onverd	83	3,93	1,8	2,1	59	24	0,61	1,4	4,3	5,2	7
Lemelerveld	23-mrt	1	verd1_1	41	2,1	0,9	1,2	30	11	0,3	0,69	2,4	2,9	6
Lemelerveld	23-mrt	1	verd1_0,5	52	2,61	1,2	1,4	38	14	0,41	0,94	2,9	3,5	7
Lemelerveld	19-mei	2	Onverd	87	3,78	1,5	2,3	67	20	0,56	1,28	4,1	4,9	8
Lemelerveld	19-mei	2	verd1_1	46	2,08	0,8	1,3	36	10	0,32	0,73	2	2,4	8
Lemelerveld	19-mei	2	verd1_0,5	54	2,5	1	1,5	41	13	0,39	0,89	2,5	3	7
Lemelerveld	17-jun	3	Onverd	72	3,1	1,2	1,9	55	17	0,46	1,05	3,31	4	8
Lemelerveld	17-jun	3	verd1_1	39	1,61	0,7	1	30	9	0,24	0,55	1,65	2	8
Lemelerveld	17-jun	3	verd1_0,5	44	2,06	0,8	1,3	35	9	0,31	0,71	2,23	2,7	8
Lemelerveld	23-jul	4	Onverd	75	3,24	1,2	2	61	14	0,52	1,19	3,20	3,9	8
Lemelerveld	23-jul	4	verd1_1	30	1,56	0,6	1	23	7	0,21	0,48	1,9	2,3	7
Lemelerveld	23-mrt	1	Water	<6	<0,1			<6	<6	<0,03	<0,07	<0,1	<0,2	
Lemelerveld	23-jul	4	Water	<6	<0,1			<6	<6	<0,03	<0,07	<0,1	<0,2	
Luttenberg	23-mrt	1	Onverd	70	3,15	1,4	1,8	50	20	0,52	1,19	6	7,2	7
Luttenberg	23-mrt	1	verd1_1	43	1,79	0,8	1	31	12	0,3	0,69	3,6	4,3	8
Luttenberg	23-mrt	1	verd1_0,5	49	2,24	1	1,2	35	14	0,37	0,85	4,3	5,2	7
Luttenberg	19-mei	2	Onverd	70	3,92	1,6	2,3	55	15	0,5	1,15	4,4	5,3	6
Luttenberg	19-mei	2	verd1_1	31	1,69	0,6	1,1	25	6	0,2	0,46	2	2,4	7
Luttenberg	19-mei	2	verd1_0,5	49	2,67	1,1	1,6	36	13	0,36	0,82	3,4	4,1	6
Luttenberg	17-jun	3	Onverd	53	2,97	1,4	1,6	39	14	0,36	0,82	3,9	4,7	6
Luttenberg	17-jun	3	verd1_1	35	1,75	0,8	1	26	9	0,22	0,5	2,30	2,8	7
Luttenberg	17-jun	3	verd1_0,5	38	2,07	1	1,1	28	10	0,25	0,57	2,73	3,3	6
Luttenberg	23-jul	4	verd1_1	51	2,42	1	1,4	41	10	0,35	0,8	3	3,6	8
Luttenberg	23-jul	4	Onverd	83	3,99	1,6	2,4	66	17	0,55	1,26	4,1	4,9	7
Luttenberg	23-mrt	1	Water	<6	<0,1	<0,1		<6	<6	<0,03	<0,07	0,2	0,2	
Luttenberg	23-jul	4	Water	<6	0,14			<6	<6	0,04	0,09			

Locatie	Obj.	Omschr.	sn 1	sn 2	sn 3	sn 4	sn 5	Eindtotaal
Luttenberg	A	Controle 0N	0	0	0	0	0	0
Luttenberg	B	Controle 0N met water	0	0	0	0	0	0
Luttenberg	C	RDM onverdund	79	78	45	0	0	202
Luttenberg	D	RDM met water 1 : 0,5	84	80	47	0	0	211
Luttenberg	E	RDM met water 1 : 1	90	68	53	0	0	210
Luttenberg	F	RDM met water 1 : 1 4x	72	51	53	48	0	223
Luttenberg	G	Kunstmest N	105	80	66	40	30	321
Luttenberg	H	RDM onverd+ km N	154	118	75	30	20	397
Luttenberg	I	RDM met water 1 : 0,5 + km N	159	120	77	30	20	406
Luttenberg	J	RDM met water 1 : 1 + km N	165	108	83	30	20	405
Luttenberg	K	RDM met water 1 : 1 + km N 4x	152	101	88	63	15	418

Lemelerveld	A	Controle 0N	0	0	0	0	0	0
Lemelerveld	B	Controle 0N met water	0	0	0	0	0	0
Lemelerveld	C	RDM onverdund	98	76	47	0	0	220
Lemelerveld	D	RDM met water 1 : 0,5	98	75	46	0	0	219
Lemelerveld	E	RDM met water 1 : 1	105	83	48	0	0	237
Lemelerveld	F	RDM met water 1 : 1 4x	84	62	48	31	0	226
Lemelerveld	G	Kunstmest N	105	80	66	40	30	321
Lemelerveld	H	RDM onverd+ km N	173	116	77	30	20	415
Lemelerveld	I	RDM met water 1 : 0,5 + km N	173	115	76	30	20	414
Lemelerveld	J	RDM met water 1 : 1 + km N	180	123	78	30	20	432
Lemelerveld	K	RDM met water 1 : 1 + km N 4x	164	112	83	46	15	421

Locatie	Obj.	Omschr.	sn 1	sn 2	sn 3	sn 4	sn 5	Eindtotaal
Luttenberg	A	Controle 0N	0	0	0	0	0	0
Luttenberg	B	Controle 0N met water	0	0	0	0	0	0
Luttenberg	C	RDM onverdund	111	81	57	0	0	249
Luttenberg	D	RDM met water 1 : 0,5	103	77	58	0	0	238
Luttenberg	E	RDM met water 1 : 1	115	56	56	0	0	227
Luttenberg	F	RDM met water 1 : 1 4x	92	42	56	34	0	224
Luttenberg	G	Kunstmest N	105	80	66	40	30	321
Luttenberg	H	RDM onverd+ km N	186	121	87	30	20	444
Luttenberg	I	RDM met water 1 : 0,5 + km N	178	117	88	30	20	433
Luttenberg	J	RDM met water 1 : 1 + km N	190	96	86	30	20	422
Luttenberg	K	RDM met water 1 : 1 + km N 4x	172	92	91	49	15	419
Lemelerveld	A	Controle 0N	0	0	0	0	0	0
Lemelerveld	B	Controle 0N met water	0	0	0	0	0	0
Lemelerveld	C	RDM onverdund	90	47	48	0	0	185
Lemelerveld	D	RDM met water 1 : 0,5	86	61	47	0	0	193
Lemelerveld	E	RDM met water 1 : 1	100	60	48	0	0	208
Lemelerveld	F	RDM met water 1 : 1 4x	80	45	48	35	0	208
Lemelerveld	G	Kunstmest N	105	80	66	40	30	321
Lemelerveld	H	RDM onverd+ km N	165	87	78	30	20	380
Lemelerveld	I	RDM met water 1 : 0,5 + km N	161	101	77	30	20	388
Lemelerveld	J	RDM met water 1 : 1 + km N	175	100	78	30	20	403
Lemelerveld	K	RDM met water 1 : 1 + km N 4x	160	95	83	50	15	403

Locatie	Obj.	Omschr.	sn 1	sn 2	sn 3	sn 4	sn 5	Eindtotaal
Luttenberg	A	Controle 0N	0	0	0	0	0	0
Luttenberg	B	Controle 0N met water	0	0	0	0	0	0
Luttenberg	C	RDM onverdund	0	0	0	0	0	0
Luttenberg	D	RDM met water 1 : 0,5	0	0	0	0	0	0
Luttenberg	E	RDM met water 1 : 1	0	0	0	0	0	0
Luttenberg	F	RDM met water 1 : 1 4x	0	0	0	0	0	0
Luttenberg	G	Kunstmest N	105	80	66	40	30	321
Luttenberg	H	RDM onverdund+ km N	75	40	30	30	20	195
Luttenberg	I	RDM met water 1 : 0,5 + km N	75	40	30	30	20	195
Luttenberg	J	RDM met water 1 : 1 + km N	75	40	30	30	20	195
Luttenberg	K	RDM met water 1 : 1 + km N 4x	80	50	35	15	15	195
Lemelerveld	A	Controle 0N	0	0	0	0	0	0
Lemelerveld	B	Controle 0N met water	0	0	0	0	0	0
Lemelerveld	C	RDM onverdund	0	0	0	0	0	0
Lemelerveld	D	RDM met water 1 : 0,5	0	0	0	0	0	0
Lemelerveld	E	RDM met water 1 : 1	0	0	0	0	0	0
Lemelerveld	F	RDM met water 1 : 1 4x	0	0	0	0	0	0
Lemelerveld	G	Kunstmest N	105	80	66	40	30	321
Lemelerveld	H	RDM onverdund+ km N	75	40	30	30	20	195
Lemelerveld	I	RDM met water 1 : 0,5 + km N	75	40	30	30	20	195
Lemelerveld	J	RDM met water 1 : 1 + km N	75	40	30	30	20	195
Lemelerveld	K	RDM met water 1 : 1 + km N 4x	80	50	35	15	15	195

Locatie	Obj.	Omschr.	sn 1	sn 2	sn 3	sn 4	sn 5	Eindtotaal
Luttenberg	A	Controle 0N	0	0	0	0	0	0
Luttenberg	B	Controle 0N met water	0	0	0	0	0	0
Luttenberg	C en H	RDM onverdund	79	78	45	0	0	202
Luttenberg	D en I	RDM met water 1 : 0,5	84	80	47	0	0	211
Luttenberg	E en J	RDM met water 1 : 1	90	68	53	0	0	210
Luttenberg	F en K	RDM met water 1 : 1 4x	72	51	53	48	0	223
Luttenberg	G	Kunstmest N	0	0	0	0	0	0
Lemelerveld	A	Controle 0N	0	0	0	0	0	0
Lemelerveld	B	Controle 0N met water	0	0	0	0	0	0
Lemelerveld	C en H	RDM onverdund	98	76	47	0	0	220
Lemelerveld	D en I	RDM met water 1 : 0,5	98	75	46	0	0	219
Lemelerveld	E en J	RDM met water 1 : 1	105	83	48	0	0	237
Lemelerveld	F en K	RDM met water 1 : 1 4x	84	62	48	31	0	226
Lemelerveld	G	Kunstmest N	0	0	0	0	0	0

Locatie	Obj.	Omschr.	sn 1	sn 2	sn 3	sn 4	sn 5	Eindtotaal
Luttenberg	A	Controle 0N	0	0	0	0	0	0
Luttenberg	B	Controle 0N met water	0	0	0	0	0	0
Luttenberg	C en H	RDM onverdund	111	81	57	0	0	249
Luttenberg	D en I	RDM met water 1 : 0,5	103	77	58	0	0	238
Luttenberg	E en J	RDM met water 1 : 1	115	56	56	0	0	227
Luttenberg	F en K	RDM met water 1 : 1 4x	92	42	56	34	0	224
Luttenberg	G	Kunstmest N	0	0	0	0	0	0
Lemelerveld	A	Controle 0N	0	0	0	0	0	0
Lemelerveld	B	Controle 0N met water	0	0	0	0	0	0
Lemelerveld	C en H	RDM onverdund	90	47	48	0	0	185
Lemelerveld	D en I	RDM met water 1 : 0,5	86	61	47	0	0	193
Lemelerveld	E en J	RDM met water 1 : 1	100	60	48	0	0	208
Lemelerveld	F en K	RDM met water 1 : 1 4x	80	45	48	35	0	208
Lemelerveld	G	Kunstmest N	0	0	0	0	0	0

Bijlage 3 Maaiopbrengsten proefvelden veldproef opbrengstbepaling

Locatie	Obj.	Omschr.	sn 1	sn 2	sn 3	sn 4	sn 5	Eindtotaal
Luttenberg			5839	1857	2502	1111	1712	13020
Luttenberg	A	Controle 0N	4351	1120	1223	562	922	8178 ^a
Luttenberg	B	Controle 0N met water	4211	1077	1095	616	1041	8040 ^a
Luttenberg	C	RDM onverdund	5481	1644	2258	877	1330	11589 ^b
Luttenberg	D	RDM met water 1 : 0,5	5645	1742	2380	981	1323	12070 ^b
Luttenberg	E	RDM met water 1 : 1	5597	1820	2423	964	1366	12169 ^b
Luttenberg	F	RDM met water 1 : 1 4x	5454	1481	2384	1177	1699	12196 ^b
Luttenberg	G	Kunstmest N	7133	2827	2621	1263	2130	15973 ^c
Luttenberg	H	RDM onverd+ km N	6403	2105	3451	1594	2266	15820 ^c
Luttenberg	I	RDM met water 1 : 0,5 + km N	6659	2174	2968	1447	2235	15483 ^c
Luttenberg	J	RDM met water 1 : 1 + km N	6903	2273	3178	1424	2235	16013 ^c
Luttenberg	K	RDM met water 1 : 1 + km N 4x	6390	2164	3543	1312	2281	15689 ^c
Lemelerveld			5303	1460	2222	1346	1561	11892
Lemelerveld	A	Controle 0N	4203	759	1152	619	878	7611 ^a
Lemelerveld	B	Controle 0N met water	3907	703	1030	804	1043	7488 ^a
Lemelerveld	C	RDM onverdund	5114	1212	1933	1199	1406	10863 ^b
Lemelerveld	D	RDM met water 1 : 0,5	5449	1286	1959	1053	1368	11115 ^b
Lemelerveld	E	RDM met water 1 : 1	5462	1224	2049	1152	1401	11288 ^b
Lemelerveld	F	RDM met water 1 : 1 4x	4579	1150	1963	1365	1598	10654 ^b
Lemelerveld	G	Kunstmest N	6632	2113	3036	2130	1948	15858 ^e
Lemelerveld	H	RDM onverd+ km N	5862	1951	2741	1569	1855	13979 ^{cd}
Lemelerveld	I	RDM met water 1 : 0,5 + km N	6042	1639	2907	1666	1994	14248 ^d
Lemelerveld	J	RDM met water 1 : 1 + km N	6062	1799	2773	1773	1840	14247 ^d
Lemelerveld	K	RDM met water 1 : 1 + km N 4x	5025	2223	2766	1479	1842	13335 ^c
Gemiddeld			5571	1658	2365	1228	1636	12460

Locatie	Obj.	Omschr.	sn 1	sn 2	sn 3	sn 4	sn 5	Eindtotaal
Luttenberg			4098	3026	1993	2006	1600	12723
Luttenberg	A	Controle 0N	2744	2502	1084	1085	1078	8493
Luttenberg	B	Controle 0N met water	2459	2254	1170	870	1099	7851
Luttenberg	C	RDM onverdund	4304	2983	2061	1938	1525	12811
Luttenberg	D	RDM met water 1 : 0,5	4157	2910	2055	2165	1586	12873
Luttenberg	E	RDM met water 1 : 1	4120	2603	2104	1767	1547	12142
Luttenberg	F	RDM met water 1 : 1 4x	3973	2502	1859	1891	1452	11676
Luttenberg	G	Kunstmest N	4234	4241	2404	2300	1600	14779
Luttenberg	H	RDM onverd+ km N	4639	3578	2158	2699	2162	15235
Luttenberg	I	RDM met water 1 : 0,5 + km N	4914	3399	2347	2652	2002	15313
Luttenberg	J	RDM met water 1 : 1 + km N	4675	3299	2273	2473	1805	14524
Luttenberg	K	RDM met water 1 : 1 + km N 4x	4859	3010	2413	2222	1750	14255
Lemelerveld			4372	3143	2141	2270	1451	13377
Lemelerveld	A	Controle 0N	3036	2200	1071	1038	887	8232
Lemelerveld	B	Controle 0N met water	3124	1861	1002	1064	1057	8108
Lemelerveld	C	RDM onverdund	4800	3108	2240	2209	1433	13790
Lemelerveld	D	RDM met water 1 : 0,5	4733	2778	2201	2049	1443	13204
Lemelerveld	E	RDM met water 1 : 1	4473	3013	2198	2052	1441	13177
Lemelerveld	F	RDM met water 1 : 1 4x	4463	2944	2095	2204	1430	13136
Lemelerveld	G	Kunstmest N	4462	4072	2671	2895	1792	15891
Lemelerveld	H	RDM onverd+ km N	4856	3771	2558	2818	1651	15654
Lemelerveld	I	RDM met water 1 : 0,5 + km N	4637	3682	2570	2944	1560	15393
Lemelerveld	J	RDM met water 1 : 1 + km N	4990	3671	2459	2822	1621	15564
Lemelerveld	K	RDM met water 1 : 1 + km N 4x	4510	3473	2487	2880	1650	15000
Gemiddeld			4235	3084	2067	2138	1526	13050

Locatie	Obj.	Omschr.	sn 1	sn 2	sn 3	sn 4	sn 5	Eindtotaal
Luttenberg			108	53	58	37	52	307
Luttenberg	A	Controle 0N	59	20	26	16	25	146 ^a
Luttenberg	B	Controle 0N met water	54	20	22	18	28	142 ^a
Luttenberg	C	RDM onverdund	89	39	44	27	36	235 ^b
Luttenberg	D	RDM met water 1 : 0,5	93	39	47	29	37	244 ^b
Luttenberg	E	RDM met water 1 : 1	90	45	48	28	37	249 ^b
Luttenberg	F	RDM met water 1 : 1 4x	90	34	45	38	48	255 ^b
Luttenberg	G	Kunstmest N	144	92	71	45	70	422 ^c
Luttenberg	H	RDM onverd+ km N	142	69	81	56	73	421 ^c
Luttenberg	I	RDM met water 1 : 0,5 + km N	141	74	84	52	69	421 ^c
Luttenberg	J	RDM met water 1 : 1 + km N	152	75	81	52	73	434 ^c
Luttenberg	K	RDM met water 1 : 1 + km N 4x	132	73	87	49	71	412 ^c
Lemelerveld			110	44	64	39	54	311
Lemelerveld	A	Controle 0N	68	18	26	16	27	154 ^a
Lemelerveld	B	Controle 0N met water	60	16	26	21	31	154 ^a
Lemelerveld	C	RDM onverdund	94	30	53	32	47	257 ^b
Lemelerveld	D	RDM met water 1 : 0,5	106	32	49	27	45	259 ^b
Lemelerveld	E	RDM met water 1 : 1	97	31	52	31	46	256 ^b
Lemelerveld	F	RDM met water 1 : 1 4x	77	28	51	38	53	248 ^b
Lemelerveld	G	Kunstmest N	168	73	94	65	67	466 ^d
Lemelerveld	H	RDM onverd+ km N	142	56	84	49	68	399 ^c
Lemelerveld	I	RDM met water 1 : 0,5 + km N	133	58	91	52	71	404 ^c
Lemelerveld	J	RDM met water 1 : 1 + km N	147	66	86	54	69	423 ^c
Lemelerveld	K	RDM met water 1 : 1 + km N 4x	122	70	93	48	68	402 ^c
Gemiddeld			109	48	61	38	53	309

Locatie	Obj.	Omschr.	sn 1	sn 2	sn 3	sn 4	sn 5	Eindtotaal
Luttenberg			106	75	54	54	48	337
Luttenberg	A	Controle 0N	47	40	22	23	29	162
Luttenberg	B	Controle 0N met water	41	36	22	18	30	147
Luttenberg	C	RDM onverdund	92	70	48	46	42	298
Luttenberg	D	RDM met water 1 : 0,5	91	63	50	49	41	294
Luttenberg	E	RDM met water 1 : 1	93	54	44	41	43	274
Luttenberg	F	RDM met water 1 : 1 4x	82	48	42	42	38	251
Luttenberg	G	Kunstmest N	121	124	78	69	55	446
Luttenberg	H	RDM onverd+ km N	145	103	67	82	71	467
Luttenberg	I	RDM met water 1 : 0,5 + km N	155	100	80	80	68	485
Luttenberg	J	RDM met water 1 : 1 + km N	148	96	72	75	59	451
Luttenberg	K	RDM met water 1 : 1 + km N 4x	148	93	74	66	57	438
Lemelerveld			119	78	59	63	49	369
Lemelerveld	A	Controle 0N	59	33	24	24	28	167
Lemelerveld	B	Controle 0N met water	57	31	20	25	31	164
Lemelerveld	C	RDM onverdund	112	65	52	53	44	326
Lemelerveld	D	RDM met water 1 : 0,5	107	56	50	48	43	304
Lemelerveld	E	RDM met water 1 : 1	106	58	52	49	44	309
Lemelerveld	F	RDM met water 1 : 1 4x	97	57	50	52	43	299
Lemelerveld	G	Kunstmest N	146	126	82	93	66	513
Lemelerveld	H	RDM onverd+ km N	164	108	78	90	63	503
Lemelerveld	I	RDM met water 1 : 0,5 + km N	153	108	79	91	60	490
Lemelerveld	J	RDM met water 1 : 1 + km N	165	107	80	86	61	499
Lemelerveld	K	RDM met water 1 : 1 + km N 4x	148	110	86	87	60	491
Gemiddeld			113	77	57	59	49	353

Bijlage 4 Statistische analyses **zonder** de onbemeste velden

Analysis of variance zonder 0 objecten

Variate: **Jaaropbrengst kg drogestof/ha**

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Jaar stratum	1	15536079.	15536079.	3.30	
Jaar.Herh stratum	6	28229275.	4704879.	4.82	
Jaar.Herh.*Units* stratum					
Object	8	317977060.	39747133.	40.70	<.001
Locatie	1	1973791.	1973791.	2.02	0.158
Object.Locatie	8	5981401.	747675.	0.77	0.634
Residual	119	116228092.	976707.		
Total	143	485925698.			

Standard errors /Least significant differences of means (5% level)

Table	FObj	Locatie	FObj Locatie
rep.	16	72	8
d.f.	119	119	119
s.e.d.	349.4	164.7	494.1
l.s.d.	691.9	326.2	978.5

Analysis of variance zonder 0-objecten

Variate: **N-Opbrengst (jaaropbrengst) kg N/ha**

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Jaar stratum	1	96309.6	96309.6	34.55	
Jaar.Herh stratum	6	16724.2	2787.4	3.59	
Jaar.Herh.*Units* stratum					
Object	8	1120850.9	140106.4	180.49	<.001
Locatie	1	13784.5	13784.5	17.76	<.001
Object.Locatie	8	8541.9	1067.7	1.38	0.214
Residual	119	92373.2	776.2		
Total	143	1348584.2			

Standard errors /Least significant differences of means (5% level)

Table	FObj	Locatie	FObj*Locatie
rep.	16	72	8
d.f.	119	119	119
s.e.d.	9.85	4.64	13.93
l.s.d.	19.50	9.19	27.58

Analysis of variance

Variate: ANR

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Jaar stratum	1	0.753341	0.753341	51.44	
Jaar.Herh stratum	6	0.087878	0.014646	1.57	
Jaar.Herh.*Units* stratum					
Object	8	2.294067	0.286758	30.77	<.001
Locatie	1	0.130177	0.130177	13.97	<.001
Object.Locatie	8	0.118436	0.014804	1.59	0.135
Residual	119	1.109082	0.009320		

Total 143 4.492981

Standard errors and least significant (5% level) of differences of means

Table	Object	Locatie	Object Locatie
rep.	16	72	8
d.f.	119	119	119
s.e.d.	0.034	0.016	0.048
l.s.d.	0.068	0.032	0.096

Analysis of variance

Variate: ANE

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Jaar stratum	1	157.07	157.07	5.96	
Jaar.Herh stratum	6	158.05	26.34	1.80	
Jaar.Herh.*Units* stratum					
Object	8	637.18	79.65	5.45	<.001
Locatie	1	44.53	44.53	3.04	0.084
Object.Locatie	8	123.26	15.41	1.05	0.401
Residual	119	1740.64	14.63		

Total 143 2860.73

Standard errors and least significant (5% level) of differences of means

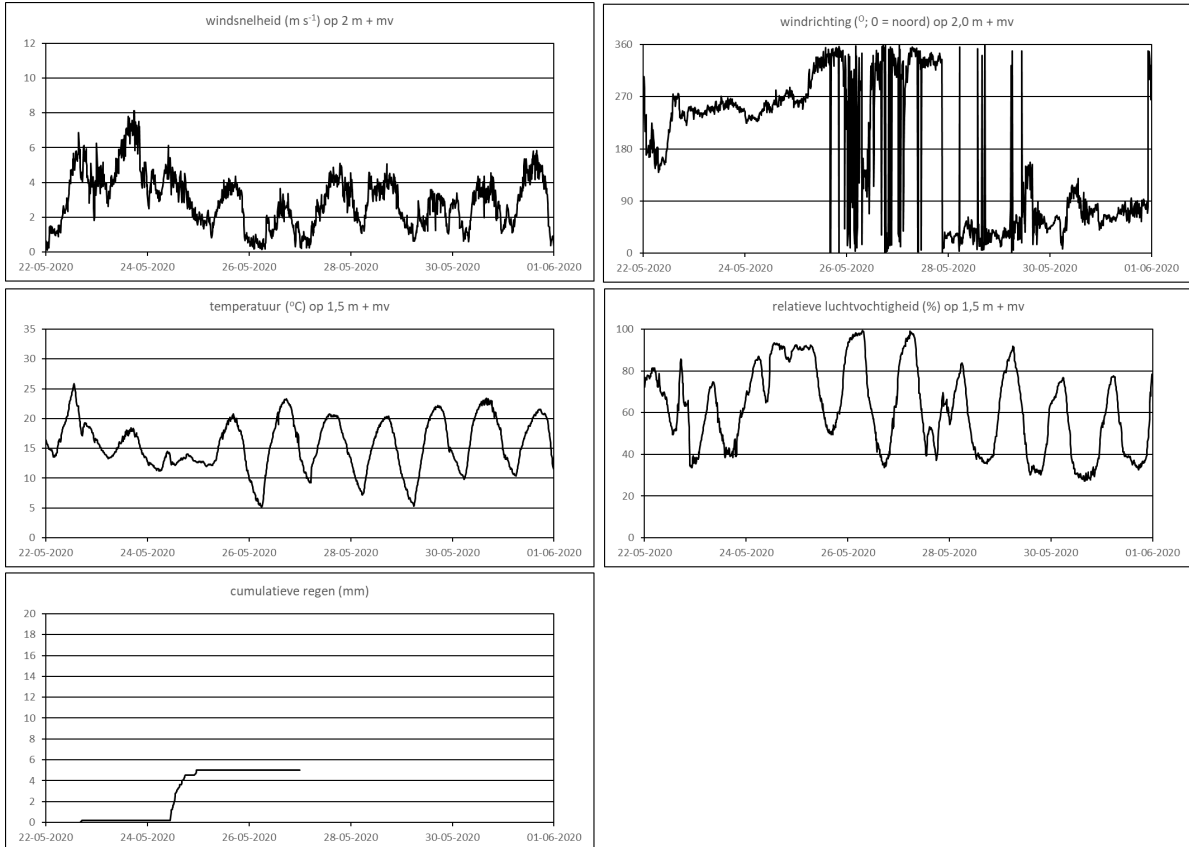
Table	Object	Locatie	Object Locatie
rep.	16	72	8
d.f.	119	119	119
s.e.d.	1.352	0.637	1.912
l.s.d.	2.677	1.262	3.787

Bijlage 5 ANR en ANE per locatie per jaar op de opbrengstenproef

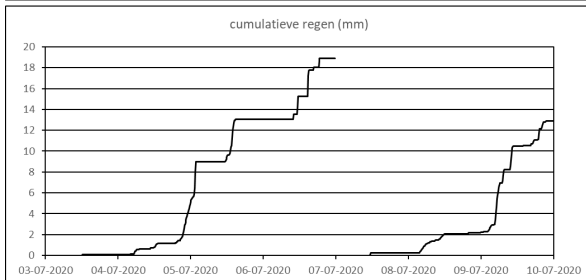
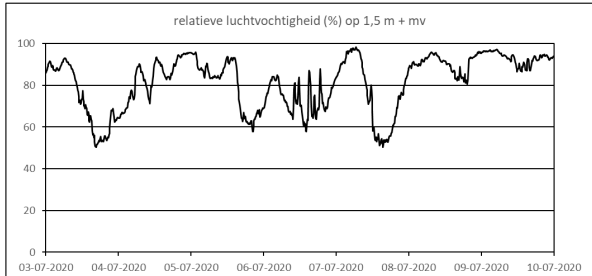
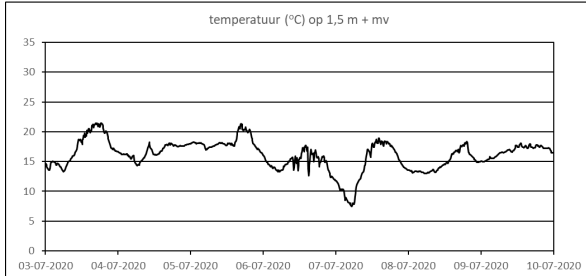
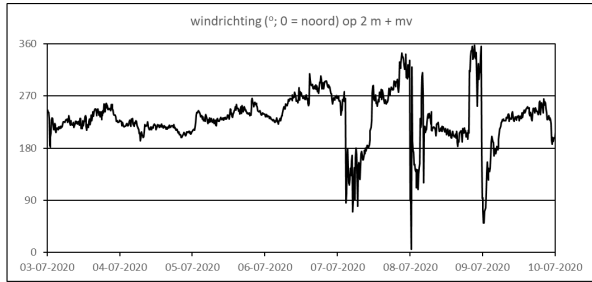
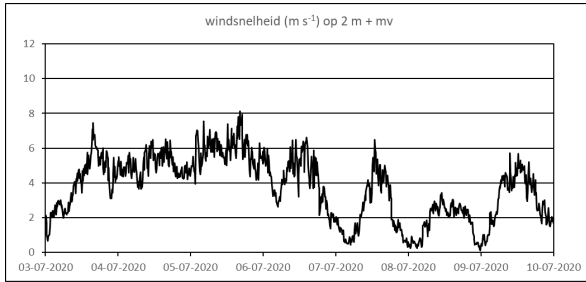
Locatie	Obj.	Omschr.	ANR	ANR	ANR	ANE	ANE	ANE Gem.
			2020	2021	Gem.	2020	2021	
Luttenberg			0,62	0,66	0,64	19,34	17,45	18,4
Luttenberg	C	RDM onverdund	0,44 ^a	0,55	0,50	16,91 ^a	17,35	17,1
Luttenberg	D	RDM met water 1 : 0,5	0,49 ^a	0,62	0,55	19,13 ^a	21,11	20,1
Luttenberg	E	RDM met water 1 : 1	0,51 ^a	0,56	0,53	19,70 ^a	18,93	19,3
Luttenberg	F	RDM met water 1 : 1 4x	0,51 ^a	0,46	0,49	18,62 ^a	17,08	17,9
Luttenberg	G	Kunstmest N	0,86 ^c	0,89	0,87	24,28 ^b	19,58	21,9
Luttenberg	H	RDM onverd+ km N	0,69 ^b	0,69	0,69	19,26 ^a	15,19	17,2
Luttenberg	I	RDM met water 1 : 0,5 + km N	0,69 ^b	0,78	0,73	18,35 ^a	17,24	17,8
Luttenberg	J	RDM met water 1 : 1 + km N	0,72 ^b	0,72	0,72	19,71 ^a	15,82	17,8
Luttenberg	K	RDM met water 1 : 1 + km N 4x	0,64 ^b	0,69	0,67	18,13 ^a	14,76	16,4
Lemelerveld			0,58	0,82	0,70	16,48	22,54	19,5
Lemelerveld	C	RDM onverdund	0,47 ^a	0,86	0,67	14,76 ^a	30,12	22,4
Lemelerveld	D	RDM met water 1 : 0,5	0,48 ^a	0,73	0,60	16,54 ^a	26,37	21,5
Lemelerveld	E	RDM met water 1 : 1	0,43 ^a	0,70	0,57	16,07 ^a	24,42	20,2
Lemelerveld	F	RDM met water 1 : 1 4x	0,41 ^a	0,65	0,53	14,02 ^a	24,19	19,1
Lemelerveld	G	Kunstmest N	0,97 ^c	1,08	1,03	25,69 ^b	23,86	24,8
Lemelerveld	H	RDM onverd+ km N	0,59 ^b	0,89	0,74	15,33 ^a	19,55	17,4
Lemelerveld	I	RDM met water 1 : 0,5 + km N	0,60 ^b	0,84	0,72	16,32 ^a	18,76	17,5
Lemelerveld	J	RDM met water 1 : 1 + km N	0,62 ^b	0,83	0,73	15,66 ^a	18,52	17,1
Lemelerveld	K	RDM met water 1 : 1 + km N 4x	0,61 ^b	0,81	0,71	13,89 ^a	17,11	15,5
Gemiddeld			0,60	0,74	0,67	17,91	18,95	18,95

BIJLAGE 6 Weersomstandigheden tijdens de ammoniakemissiemetingen in 2020

Weersomstandigheden week 21 en 22, 2020 (22-05-2020 t/m 31-05-2020).

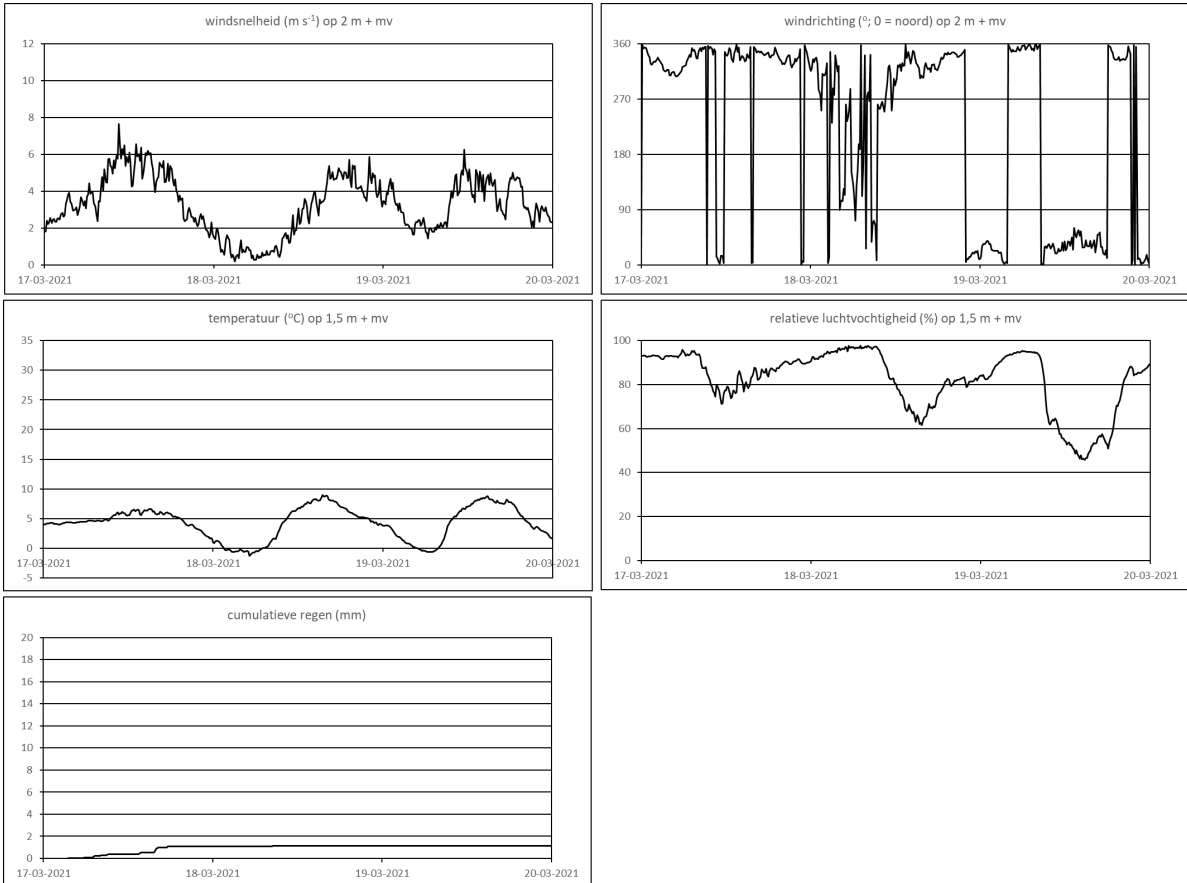


Weersomstandigheden week 27 en 28, 2020 (03-07-2020 t/m 09-07-2020).

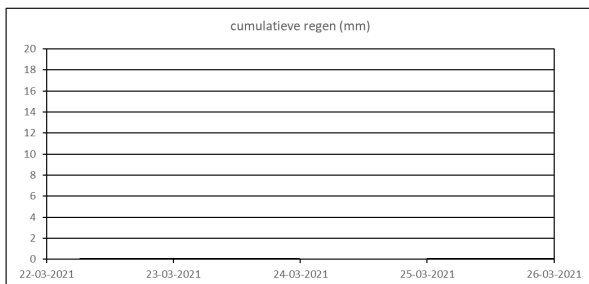
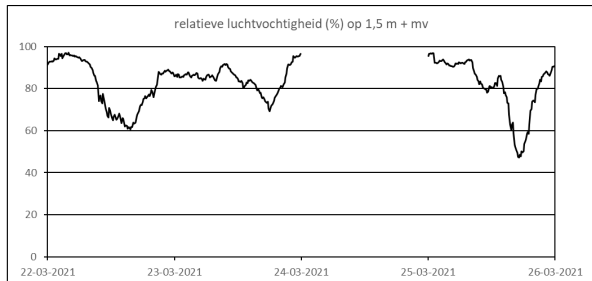
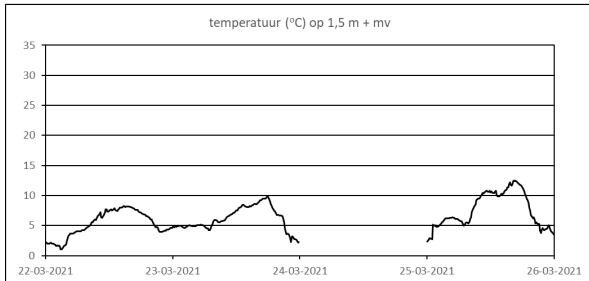
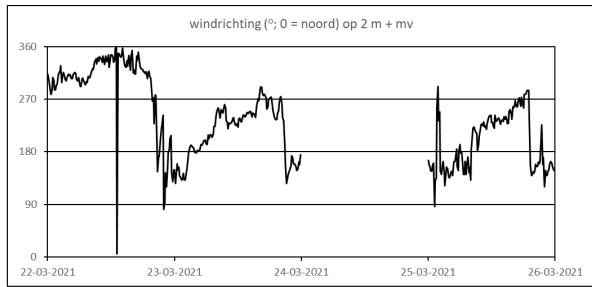
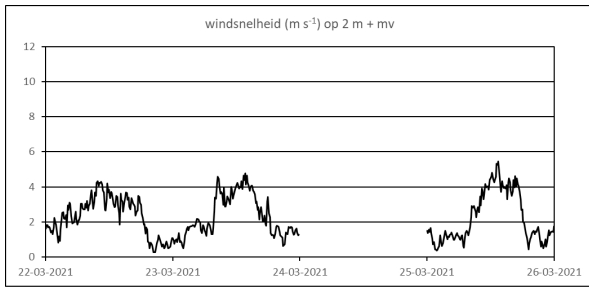


BIJLAGE 7 Weersomstandigheden tijdens de ammoniakemissiemetingen in 2021

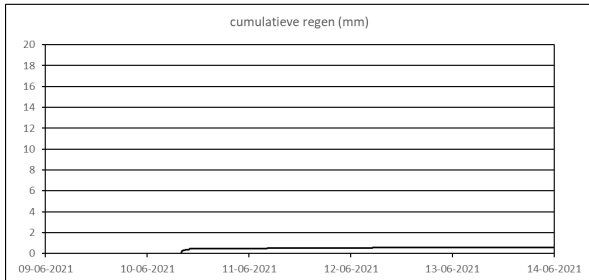
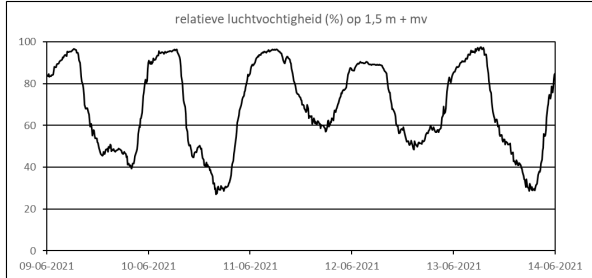
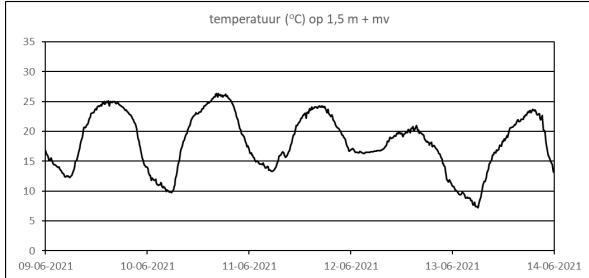
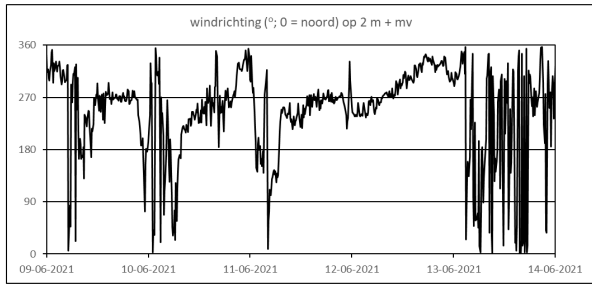
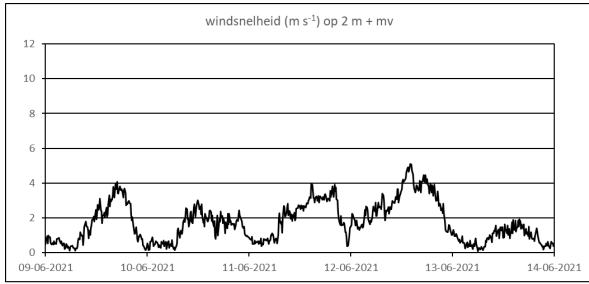
Weersomstandigheden week 12-2021 (17-03-2021 t/m 19-03-2021).



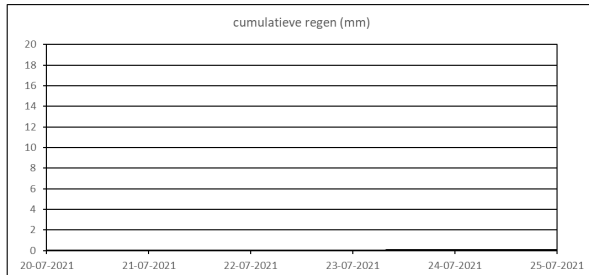
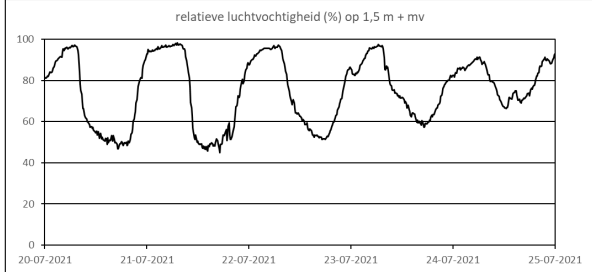
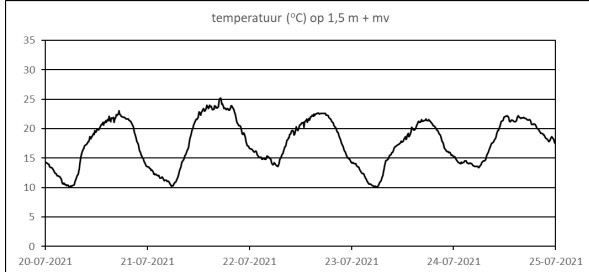
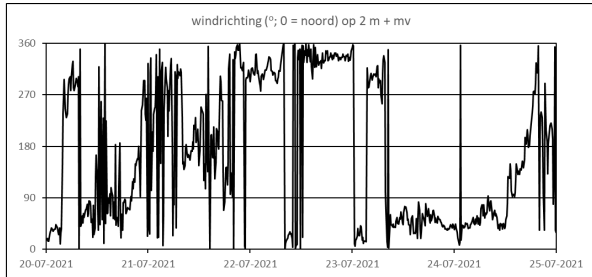
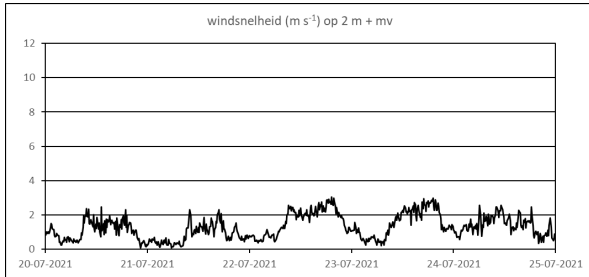
Weersomstandigheden week 13-2021 (22-03-2021/26-03-2021). Van dag 24-03-2021 is geen data beschikbaar. Gedurende de proef is er geen neerslag geweest.



Weersomstandigheden week 23-2021 (09-06-2021 t/m 13-06-2021).



Weersomstandigheden week 29-2021 (20-07-2021 t/m 24-07-2021).



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wur.nl/livestock-research

Wageningen Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

