

Effect van graslandvernieuwing op nitraatuitspoeling en lachgasemissie

Veldproeven met scheuren van grasland in voorjaar en najaar en met N-verlies reducerende maatregelen

J.C. van Middelkoop, J.P. van 't Hull, H.A. van Schooten

Openbaar
Rapport 1625

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Effect van graslandvernieuwing op nitraatuitspoeling en lachgasemissie

Veldproeven met scheuren van grasland in voorjaar en najaar en met N-verlies reducerende maatregelen

J.C. van Middelkoop[1], J.P. van 't Hull[2], H.A. van Schooten[1]

1 Wageningen Livestock Research

2 Wageningen Environmental Research

"Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Mest, milieu en klimaat' (projectnummer BO-43-012.02-055 Add Q3).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, maart 2026

Rapport 1625

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Primo-Secundo, A., B. Tertio, C. Quarto, 2022. *Effect van scheuren van grasland in augustus en het effect van extra reducerende maatregelen op de stikstofuitspoeling naar het grondwater; .* Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1625.

Bij vernieuwing van grasland is het risico op verlies van stikstof (N) door nitraatuitspoeling hoog. Doelstelling van het project is het vaststellen van het effect van scheuren van grasland in augustus en het effect van reducerende maatregelen op het risico op stikstofuitspoeling naar het grondwater en lachgas-emissie naar de lucht in vergelijking met scheuren in het voorjaar. Scheuren van grasland verhoogde het risico op nitraatuitspoeling en lachgasemissie. Bij scheuren in het voorjaar was het nitraatgehalte in het grondwater norm, bij scheuren in augustus was het nitraatgehalte boven de norm. Extra grondbewerking na het scheuren verhoogde de N-uitspoeling. De cumulatieve lachgasemissie van een heel jaar was niet verschillend tussen de behandelingen, dus ook niet tussen scheuren in het voorjaar en scheuren in augustus.

When grassland is renewed, the risk of nitrogen (N) loss through nitrate leaching is high. The aim of this project is to determine the effect of grassland renewal in August, as well as the effect of mitigation measures, on the risk of nitrate leaching to groundwater and nitrous oxide emissions to the atmosphere, compared with renewal in spring. Grassland renewal increased the risk of nitrate leaching and nitrous oxide emissions. When renewal took place in spring, the nitrate concentration in the groundwater was within the standard; when renewal took place in August, the nitrate concentration exceeded the standard. Additional soil cultivation after renewal further increased nitrogen leaching. The cumulative nitrous oxide emissions over an entire year did not differ between the treatments, meaning there was no difference between renewal in spring and ploughing in August.

Dit rapport is gratis te downloaden op https://doi.org/10.18174/711933 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, 2026
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 gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1625

Inhoud

Woord vooraf **5**

Samenvatting **7**

1 Inleiding **11**

1.1 Scheuren grasland 11
1.2 Nitraatuitspoeling 11
1.2 Lachgasemissie 12
1.3 Doelstelling van het onderzoek 12

2 Materiaal en methode **13**

2.1 Beschrijving proeflocaties 13
2.2 Proefopzet en waarnemingen 14
2.3 Chemische analyse en metingen in het veld 17
2.4 Proefveld management 18
2.5 Statistiek 19

3 Resultaten **20**

3.1 Bewerkingen, bemestingen en opbrengst gewas 20
3.2 Voorraad minerale N in de bodem 21
3.3 Nitraat in grondwater 27
3.4 Relatie N-bodemoverschot, Nmineraal-voorraad en nitraat-N in grondwater 30
3.5 Lachgas (N_2O) 32
3.1.1 N_2O- emissies 32
3.1.2 Effect van scheuren, grondbewerking en nitrificatieremmer 34

4 Discussie **37**

5 Conclusies **39**

Literatuur **40**

Bijlage 1 Datum bemonstering en oogst **42**

Bijlage 2 Bemesting datum en dosering, opbrengsten gewas en stikstofoverschot **43**

Bijlage 3 Proefveldschema's **48**

Bijlage 4 Draaiboek en uitgevoerde bewerkingen op proefvelden **51**

Bijlage 5 Statistische analyse **53**

Woord vooraf

Het onderzoek in dit rapport is onderdeel van Beleidsondersteunend Onderzoek (BO) voor het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN). Met het BO draagt Wageningen University & Research bij aan de realisatie van de maatschappelijke taken van het ministerie van LVVN. De onderzoeksresultaten worden gebruikt door LVVN en door (maatschappelijke) organisaties die betrokken zijn bij LVVN-beleid.

Het onderdeel over nitraatuitspoeling is uitgevoerd onder project Scheuren grasland met projectnummer BO-43-012.02-05. Het onderdeel over lachgasemissie is uitgevoerd onder het programma Slim Landgebruik met projectnummer BO-43.10-003-005. (https://slimlandgebruik.nl/)



Samenvatting

Bij vernieuwing van grasland is het risico op verlies van stikstof (N) door nitraatuitspoeling hoog omdat de zode vernietigd wordt (scheuren) en het afgestorven gewas veel N bevat dat omgezet wordt in nitraat. Nitraat dat niet opgenomen wordt door een volgend gewas is gevoelig voor uitspoeling. Als herinzaai in het voorjaar plaatsvindt volgt er in de praktijk op korte termijn altijd een gewas dat vrijgekomen N opneemt. Melkveehouders hebben echter de voorkeur om herinzaai in augustus-september uit te voeren omdat de slagingskans groter is en zij de eerste snede niet graag missen. Herinzaai in het najaar betekent echter veel vrijkomende N terwijl er (te) weinig gewas is om een substantieel deel van de N op te nemen. De regels voor het scheuren van grasland op zand- en lössgrond waren dat er tot 1 juni gescheurd mocht worden maar zijn per 1 januari 2019 aangepast. Vanaf dat moment is het toegestaan om ook in de periode van 1 juni tot 1 september grasland te scheuren. Er wordt van uitgegaan dat deze aanpassing leidt tot iets meer nitraatuitspoeling en stikstof- en fosfaatafspoeling naar het grond- en oppervlaktewater. Daarom is de N-gebruiksnorm 50 kg werkzame N per ha gekort bij scheuren na 1 juni[1]. Het is echter niet duidelijk of deze korting van de gebruiksnorm voldoende is om de extra nitraatuitspoeling te voorkomen. Ook zijn er (andere) extra maatregelen denkbaar om nitraatuitspoeling na het scheuren te verminderen, zoals een lage of geen N-bemesting in de laatste snede voor scheuren, beperking van grondbewerking of gebruik van nitrificatieremmers. Het al dan niet scheuren van grasland heeft ook een effect op de koolstofvoorraad en is daarom in het kader van broeikasgas emissies en koolstofvastlegging relevant. In het programma Slim Landgebruik (SL) wordt gewerkt aan kennisvergaring over additionele vastleggen van CO_2-equivalenten in landbouwbodems. Het niet scheuren van grasland is een belangrijke potentiële maatregel om koolstof op te slaan. Daarnaast kan zowel het scheuren van grasland als bovenstaande maatregelen om nitraatuitspoeling te verminderen leiden tot afwenteling van lachgasemissies. Om uiteindelijk het totale en realistische potentieel van deze bovenstaande maatregelen op het reduceren van broeikasgasemissies te kwantificeren, is ook inzicht nodig in de effecten van deze maatregelen op de emissie van het broeikasgas lachgas (N_2O). Lachgas is een sterk broeikasgas dat vrijkomt tijdens stikstofomzettingen in de bodem (nitrificatie en denitrificatie) en dus bij scheuren van grasland.

Doelstelling van het project is het vaststellen van het effect van scheuren van grasland in augustus en het effect van reducerende maatregelen op het risico op stikstofuitspoeling naar het grondwater en lachgas-emissie naar de lucht. Onder reducerende maatregelen vallen beperkte grondbewerking, het reduceren van N-bemesting en het gebruik van een nitrificatieremmer. In 2019, 2020 en 2021 zijn effecten van diverse maatregelen op nitraatuitspoeling met elkaar vergeleken in vijf veldproeven op zandgrond en één op lössgrond. De proeflocaties waren Klimmen (L, löss, 2019), Vredepeel (2019, 2020 en 2021), Bennekom (2020) en Wageningen (2021). Vanaf april 2020 is de veldproef op de locaties Bennekom en Wageningen uitgebreid met N_2O-metingen om het effect van wel of niet scheuren van grasland op N_2O-emissie te meten. De proef bevatte in alle jaren elf behandelingen, in 2019 was er een extra (twaalfde) behandeling (tabel S1). Referentie waren een object waarvan het grasland niet is gescheurd (A) en twee objecten die direct in het voorjaar zijn gescheurd, waarvan er één is ingezaaid met gras (B) en één met mais (C). Op object D is eerst bemest en een snede gras geoogst en daarna gescheurd en ingezaaid met mais. Op löss was het D object afwijkend van de overige proefvelden: op het object is grasland gescheurd in het voorjaar en is heringezaaid met gras zonder grondbewerking (D-Löss). Op de overige objecten, E t/m M, is grasland gescheurd in augustus en ingezaaid met gras.
De waarnemingen in de veldproeven waren:

- Droge stofopbrengst en N-gehalten van het geoogste gewas, berekening N-bodemoverschot.
- Meting van de bodemvoorraad van mineraal N in 0-90 cm onder maaiveld. Met name in herfst en winter wordt daarmee de hoeveelheid N gemeten die gevoelig is voor uitspoeling.
- Meting uitgespoelde nitraat-N in het grondwater in de bovenste meter van het grondwater in het vroege voorjaar na de veldproef.

[1] https://www.rvo.nl/sites/default/files/2024-12/Tabel-2-Stikstof-landbouwgrond-2025_0.pdf

- Vanaf 2020 (tweede en derde proefjaar) is lachgasemissie onderzocht door meting van N_2O emissie op de locaties in Bennekom (2020) en Wageningen (2021). Meting wekelijks in het groeiseizoen.

Tabel S1 *Onderzoek naar risico op nitraatuitspoeling en lachgasemissie bij scheuren van grasland.*

Code	Proefjaren	Behandeling
A	Alle	Niet scheuren (ref 0)
B	Alle	Scheuren voorjaar + herinzaai (ref 1)
C	Alle	Scheuren voorjaar + maisteelt (ref 2)
D	Alle	Scheuren na 1e snede + maisteelt
E	Alle	Scheuren eind augustus+ herinzaai standaard
F	Alle	Scheuren eind augustus + herinzaai, beperkte grondbewerking
G	Alle	Scheuren eind augustus + herinzaai, zonder grondbewerking
H	Alle	Scheuren begin augustus + herinzaai, mechanische kweekbestrijding
J	Alle	Scheuren eind augustus + herinzaai, gereduceerde bemesting -50N
K	Alle	Scheuren eind augustus + herinzaai, gereduceerde bemesting -100N
L	Alle	Scheuren eind augustus + herinzaai, nitrificatieremmer
M	2019	Scheuren eind augustus + herinzaai, kruidenmengsel
D-Löss	2019	Scheuren voorjaar + herinzaai, zonder grondbewerking

Conclusies

Uit de waarnemingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- **Eindconclusie:** Scheuren van grasland verhoogt het risico op nitraatuitspoeling en lachgasemissie. Bij scheuren in het voorjaar was het nitraatgehalte in het grondwater in het opvolgende voorjaar onder de norm (11,3 mg nitraat-N). Bij scheuren in augustus was het nitraatgehalte boven de norm. Korting op de N-bemesting van 50 kg N per ha was niet voldoende.
- **Grasland scheuren in voorjaar versus augustus:** Grasland scheuren en inzaaien in augustus gaf een hogere Nmineraal-voorraad in de bodem en hogere nitraatgehalten in het grondwater dan grasland scheuren en inzaaien in het voorjaar. Dit is in overeenstemming met vergelijkbare studies.
- **Grasland scheuren en inzaaien van snijmais** (in het voorjaar) verhoogde de nitraatuitspoeling naar het grondwater in vergelijking met op dat moment gras inzaaien.
- **Grasland scheuren in augustus en maatregelen tegen N-uitspoeling**: Bij scheuren en inzaai in augustus zijn maatregelen om de nitraatuitspoeling onderzocht. Dat waren i) verlaging van de N bemesting voor scheuren met 50 of 100 kg/ha, en ii) toepassing van minder intensieve (niet-kerende) of geen grondbewerking, iii) toepassen van een nitrificatieremmer. De Nmineraal-voorraad in de bodem en nitraat-N concentratie daalden bij i) en ii), maar waren nog steeds hoger dan na scheuren in het voorjaar.
- **Inzaai van snijmais (na scheuren voorjaar) en scheuren grasland in augustus:** er was geen verschil in Nmineraal-voorraad in de bodem (in november/december) tussen inzaai van snijmais en scheuren en inzaai van gras in augustus. Gemiddeld over alle locaties en jaren is de Nmineraal-voorraad bij scheuren in augustus vergelijkbaar als bij inzaai van snijmais (in het voorjaar).
- **Extra grondbewerking na het scheuren** om onkruiddruk te verminderen verhoogt de Nmineraal-voorraad in de bodem en de concentratie nitraat-N in het grondwater sterk.
- **De cumulatieve lachgasemissie** van een heel jaar was niet verschillend tussen de behandelingen, dus ook niet tussen scheuren in het voorjaar en scheuren in augustus.
- **Lachgasemissie over het seizoen:** Scheuren van grasland leidt tot tijdelijke significant hogere lachgasemissies ten opzichte van niet scheuren in de eerste weken direct na het scheuren (en vóór het bemesten). Deze hoogte van de emissie is vergelijkbaar in het voorjaar en het najaar. Dit is in overeenstemming met vergelijkbare studies.
- **Het toedienen van een nitrificatieremmer** op de bodem maakte geen verschil voor nitraatuitspoeling of lachgasemissie.
- **Waarnemingen:** De verschillen in concentratie nitraat-N in het grondwater en lachgasemissie zijn minder vaak statistisch significant dan die van de Nmineraal-voorraad door een grotere variantie in de waarnemingen.
- **Opbrengstverlies door scheuren en inzaai gras:** Het verlies van droge stofopbrengst ten opzichte van niet scheuren was bij scheuren en inzaai van gras in het voorjaar circa 30% en in

augustus 20%. Het verlies in N opbrengst en daarmee in ruw eiwitopbrengst was bij scheuren in het voorjaar eveneens groter dan bij scheuren in augustus maar het verschil was kleiner dan bij de droge stofopbrengst: circa 12% in voorjaar en 16% in augustus.

Wetenschappelijke publicatie

De resultaten en conclusies van dit onderzoek zijn wetenschappelijk gepubliceerd in het artikel "Potential measures to reduce nitrate and nitrous oxide losses from renovated grasslands" (van 't Hull et al., 2025).

1 Inleiding

1.1 Scheuren grasland

Het grasland areaal in Nederland is relatief groot, grofweg 40% van het landbouwareaal. Wanneer structureel stikstof (N) verloren gaat op grasland heeft dat op landelijk niveau een grote impact op de leefomgeving. Verlies van N op grasland kan gaan in de vorm van nitraat (NO_3^-) door uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater en van lachgas (N_2O) en ammoniak (NH_3) door emissie naar de lucht. Er gaat ook N verloren via de lucht in de vorm van elementair N (N_2). Dit is echter niet schadelijk voor de leefomgeving, de ons omringende lucht bestaat voor bijna 80% uit N_2.
Wanneer de botanische samenstelling van grasland minder wordt bijvoorbeeld door droogte of juist natte omstandigheden, of door een niet optimaal management voor de grasmat is het gebruikelijk om herinzaai van grasland uit te voeren. Om herinzaai te kunnen uitvoeren wordt grasland vernietigd, meestal met chemische middelen, en de dode zode ondergeploegd en een nieuw zaaibed bereid. De grondbewerking rondom de herinzaai wordt ook wel scheuren van grasland genoemd.
Bij het scheuren van grasland komt een grote hoeveelheid N vrij die in de loop van de tijd door het gewas is vastgelegd in de stoppel en wortels. De slagingskans van herinzaai is over het algemeen het grootst in april-mei en in augustus-september. In andere maanden van het jaar kunnen een te lage of te hoge temperatuur, vochttekort en te weinig licht leiden tot problemen met kieming en groei, waardoor de kans op onkruiden en een heterogene graszode toeneemt (Velthof et al. 2005). Melkveehouders hebben een voorkeur voor scheuren in het najaar omdat de slagingskans dan groot is en omdat de eerste snede als belangrijk wordt gezien, zowel in opbrengst als in kwaliteit en niet graag gemist wordt omdat het grasland wordt heringezaaid. Herinzaai in het najaar betekent echter veel vrijkomende N terwijl er weinig gewas is dat die N kan opnemen.

1.2 Nitraatuitspoeling

Nitraatuitspoeling bij graslandvernieuwing vindt voornamelijk plaats in de winter na scheuren wanneer het neerslagoverschot positief is. Het plantmateriaal uit de vernietigde zode wordt afgebroken door het bodemleven. De N uit het materiaal wordt uiteindelijk omgezet in NO_3^- en kan opgelost in het bodemvocht uitspoelen. Tot aan 2019 mocht grasland op zand- en lössgrond niet in het najaar gescheurd worden om een hoge nitraatuitspoeling te voorkomen. De regels voor het vernietigen van grasland op zand- en lössgrond zijn echter per 1 januari 2019 aangepast (paragraaf 5.4.7 zesde nitraat actieprogramma 2018-2021: Aanpassing regels vernietigen van grasland). Vanaf dat moment is het toegestaan om ook in de periode van 1 juni tot 1 september grasland te scheuren. Er wordt verondersteld dat deze aanpassing leidt tot iets meer nitraatuitspoeling en N- en fosfaatafspoeling naar het grond- en oppervlaktewater. Daarom is de N-gebruiksnorm 50 kg werkzame N per ha gekort bij scheuren na 1 juni. Het is echter niet duidelijk of deze korting van de gebruiksnorm voldoende is om de extra nitraatuitspoeling te voorkomen. Ook zijn er (andere) extra maatregelen denkbaar om nitraatuitspoeling na het scheuren te verminderen, zoals lage of geen N-bemesting in de laatste snede voor scheuren, beperkte grondbewerking of gebruik van nitrificatie remmers. Daarom is het van belang om inzicht te hebben in hoe het risico op nitraatuitspoeling bij het vernieuwen van grasland afhangt van de tijd in het jaar en wat het effect van verschillende nitraat-reducerende maatregelen is wanneer toch in het najaar wordt gescheurd. Voor klei is scheuren in het najaar wel steeds toegestaan omdat klei veel minder nitraat doorlaat en de nitraatuitspoeling geen probleem is.

1.2 Lachgasemissie

N_2O is een sterke broeikasgas dat bijdraagt aan klimaatverandering en wordt aangemerkt als één van de belangrijkste broeikasgassen die uit landbouwgrond worden uitgestoten (IPCC, 2023). De uitstoot kan rechtstreeks vanuit de bodem plaatsvinden tijdens stikstofomzettingen in de bodem die gedreven worden door biologische processen (nitrificatie en denitrificatie). Omdat het scheuren van grasland leidt tot een sterke toename van direct beschikbaar N door mineralisatie van organisch gebonden N, kan het scheuren van grasland het risico op N_2O emissie verhogen. Vooral de weken direct na het scheuren is het risico op N_2O tijdelijk verhoogd vanwege de mineralisatie en omdat er nog weinig opname is van N. Daarna is het risico op N_2O emissie lager. Er zijn reeds verscheidene studies uitgevoerd op het effect van scheuren van grasland op N_2O en zijn samengevat door Biegemann (2024). Uit deze studie komt naar voren dat de N_2O emissie kan variëren tussen 0 en 29 kg N per ha.

Het scheuren in het najaar heeft, net als bij nitraatuitspoeling, ook mogelijk effect op de N_2O emissie vanwege de beperkte N opname van het gewas (beperkte gewas groei). Daarnaast hebben de maatregelen, die als doel hebben om nitraatuitspoeling te verminderen, ook mogelijk een effect op N_2O emissie. Zo kan beperkte grondbewerking mogelijk in leiden tot meer N_2O emissie, maar is de huidige literatuur wisselend over het effect van de intensiteit van ploegen (Ball et al., 2008; Rochette et al., 2008). Het verminderen van de N dosering en toevoeging van een nitrificatieremmer kan mogelijk leiden tot een vermindering van N_2O emissie.

1.3 Doelstelling van het onderzoek

Doelstelling van het project is het vaststellen van het effect van scheuren van grasland in augustus in vergelijking met scheuren in het voorjaar en niet scheuren, en het effect van extra reducerende maatregelen op het risico op stikstofuitspoeling naar het grondwater en lachgasemissie naar de lucht. Reducerende maatregelen zijn beperkte grondbewerking, het reduceren van bemesting en het gebruik van een nitrificatieremmer ten opzichte van scheuren in het voorjaar en niet scheuren op zandgrond en lössgrond.

Om het effect van verruiming van de toegestane periode voor het scheuren van grasland vanaf het zesde nitraat-actieprogramma te toetsen is veldonderzoek uitgevoerd. In 2019, 2020 en 2021 zijn effecten op nitraatuitspoeling van niet scheuren, scheuren van grasland in het voorjaar en scheuren van grasland in augustus plus diverse maatregelen met elkaar vergeleken in vijf veldproeven op zandgrond en één op lössgrond. In april 2020 is de veldproef op zand uitgebreid met N_2O-metingen om het effect van al of niet scheuren van grasland op N_2O-emissie te meten.

2 Materiaal en methode

2.1 Beschrijving proeflocaties

In 2019, 2020 en 2021 zijn in totaal zes veldproeven uitgevoerd (twee per jaar) waarin het effect van het tijdstip van graslandvernieuwing door vernietiging (scheuren) van de graszode op het risico van nitraatuitspoeling en verliezen door N_2O-emissie zijn vastgesteld. De proeven zijn per jaar steeds op een andere locatie uitgevoerd (tabel 2.1). Vijf proeven lagen op zandgrond en één proef op lösss in 2019.

Tabel 2.1 *Proeflocaties, grondsoort en leeftijd graszode van de experimenten.*

Jaar	Locatie/ uitvoering	Coördinaten	Proefcode	Grondsoort	Leeftijd graszode en voorvrucht
2019	De Rips (NB)/ Proefbedrijf Vredepeel	51°32'11.96"N; 5°50'20.59"E	Vredepeel19	Zand	Minstens 8 jaar grasland: 2011-2019 gras, 2010 aardappel, 2009 gras
	Klimmen (Li)/ Proefbedrijf Wijnandsrade	50°52'46.07"N; 5°51'14.93"E	Wijnandsr19	Löss	4 jaar grasland: inzaai najaar 2014, 2009-2014 snijmais
2020	De Rips (NB)/ Proefbedrijf Vredepeel	51°32'11.96"N; 5°50'20.59"E	Vredepeel20	Zand	Minstens 9 jaar grasland: 2011-2020 gras, 2010 aardappel, 2009 gras
	Bennekom (Gld)/ Proefbedrijf Unifarm	52°0'46.44"N; 5°39'23.41"E	Bennekom20	Zand	3 jaar grasland
2021	Vredepeel (NB)/ Proefbedrijf Vredepeel	51°33'13.30"N; 5°50'57.06"E	Vredepeel21	Zand	5 jaar grasland: 2016-2021 grasland
	Wageningen (Gld)/ Proefbedrijf Unifarm	51°59'42.37"N; 5°38'46.05"E	Wageningen21	Zand	Minstens 3 jaar grasland

Bij de selectie van de locaties was het een vereiste dat de zode van de proefvelden minstens drie jaar oud was: de problemen mogen vooral verwacht worden bij ouder grasland waarin in de loop van de groeiseizoenen steeds meer N wordt vastgelegd in de bodem dat weer vrijkomt bij scheuren. Onderzoek naar uitspoeling bij scheuren in grasland dat jonger is dan drie jaar is naar verwachting niet zinvol. De proefvelden zijn in het voorjaar voor het groeiseizoen bemonsterd voor algemene bodemanalyse (tabel 2.2, 'Bemestingswijzer Compleet' van Eurofins-Agro[2]). De bemonsteringsdiepte was 25 cm. De pH's van de proefvelden op zand vallen in de klasse goed (4,8-5,5) tot vrij hoog (5,6-6,1). Het proefveld op lösss (WR 1341) heeft zoals verwacht een beduidend hoger klei- (13%) en silt- (56%) gehalte dan de proefvelden op zand (klei 1-2%, silt 7–11%).

Tabel 2.2 *Algemene bodemanalyse van zes proefvelden voor veldproef scheuren van grasland.*

Proef-code	datum	Laag cm	pH	Org stof %	N totaal	NLV kg N	P-AL mg P_2O_5/ 100 g	P-CaCl2	K-CaCl2	CEC	Silt %	Zand %	Klei %
Vredepeel19	7-2-19	0-25	5,3	5,3	1960	75	29	0,9	84	74	9	85	1
Wijnandsr19	7-2-19	0-25	6,2	2,8	1310	70	43	3,3	51	100	56	28	13
Vredepeel20	27-3-20	0-25	5,4	4,1	1460	120	45	2,2	64	52	7	88	1
Bennekom20	6-2-20	0-25	5,8	3,1	1420	130	105	4,6	53	41	10	85	2
Vredepeel21	26-3-21	0-25	5,1	4,4	1480	55	41	2,1	24	51	8	86	-
Wageningen21	28-1-21	0-25	5,3	7,7	3910	195	104	8,8	119	98	11	78	-

[2] https://www.eurofins-agro.com/nl-nl/bemestingswijzer

2.2 Proefopzet en waarnemingen

De proef bevatte in alle jaren elf behandelingen, in 2019 was er een extra (twaalfde) behandeling (tabel 2.3). Als referentie op alle locaties en jaren gold een object waarvan het grasland niet is gescheurd (object A) en twee objecten die direct in het voorjaar zijn gescheurd, waarvan er één is ingezaaid met gras (object B) en één met mais (object C). Op object D is eerst bemest en een snede gras geoogst en daarna gescheurd en ingezaaid met mais. Op löss was het D object afwijkend van de overige proefvelden: op het object is grasland gescheurd in het voorjaar en is heringezaaid met gras zonder grondbewerking (D-WR1341). Op de overige objecten, E t/m M, is grasland gescheurd in augustus en heringezaaid met gras. Op object E is een standaard grondbewerking voor inzaaien uitgevoerd, op F een beperkte en op G geen grondbewerking voor inzaai uitgevoerd (zie ook paragraaf 2.3). Object H is aangelegd om te onderzoeken wat er met de nitraatuitspoeling en lachgasemissie gebeurt als grasland niet chemisch vernietigd wordt, maar mechanisch. Objecten J en K kregen in latere sneden respectievelijk 50 en 100 kg N/ha minder bemest dan standaard. Object L kreeg na scheuren in augustus denitrificatieremmer Vizura toegediend na de grondbewerking en enkele weken later nogmaals. In 2019 is op beide proefvelden een object M aangelegd waar een kruidenmengsel is ingezaaid. Dit object is in de volgende jaren niet herhaald omdat de proefvelden niet langer gevolgd zijn en het effect van inzaai van kruiden pas in jaren na de inzaai duidelijk zou worden.

Tabel 2.3 *Onderzoek naar risico op nitraatuitspoeling en lachgasemissie bij scheuren van grasland*

Code	Proefjaren	Behandeling
A	Alle	Niet scheuren (ref 0)
B	Alle	Scheuren voorjaar + herinzaai (ref 1)
C	Alle	Scheuren voorjaar + maisteelt (ref 2)
D	Alle	Scheuren na 1e snede + maisteelt
E	Alle	Scheuren eind augustus + herinzaai standaard
F	Alle	Scheuren eind augustus + herinzaai, beperkte grondbewerking
G	Alle	Scheuren eind augustus + herinzaai, zonder grondbewerking
H	Alle	Scheuren begin augustus + herinzaai, mechanische kweekbestrijding
J	Alle	Scheuren eind augustus + herinzaai, gereduceerde bemesting -50N
K	Alle	Scheuren eind augustus + herinzaai, gereduceerde bemesting -100N
L	Alle	Scheuren eind augustus + herinzaai, nitrificatie remmer
M	2019	Scheuren eind augustus + herinzaai, kruidenmengsel
D-Löss	2019	Scheuren voorjaar + herinzaai, zonder grondbewerking

De behandelingen werden binnen de vier herhalingen geloot en is een volledig gewarde blokkenproef (Bijlage 4). In 2019 zijn dat 12 behandelingen, 4 herhalingen, totaal 48 plots per proefveld. In 2020 en 2021 11 behandelingen, 44 plots per proefveld. De waarnemingen in de veldproeven waren:

- Droge stofopbrengst en N-gehalten van het geoogste gewas, berekening N-bodembalans per plot.
- Meting van de voorraad van mineraal N in bodemlagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm op vijf momenten in het jaar: op behandeling A t/m D in voorjaar en zomer, op alle behandelingen in herfst, winter en volgende voorjaar. Met name in herfst en winter wordt daarmee de hoeveelheid N gemeten die gevoelig is voor uitspoeling.
- Meting uitgespoelde nitraat-N in het grondwater in de bovenste meter van het grondwater in het vroege voorjaar na de veldproef.
- Vanaf 2020 (tweede en derde proefjaar) lachgasemissie onderzocht door meting van N_2O emissie op de locaties in Bennekom (2020) en Wageningen (2021) exclusief de behandelingen H en J. Dat is 9 objecten, 4 herhalingen, totaal 36 plots per proefveld. Meting vonden wekelijks plaats in het groeiseizoen.

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden wat voor effect maatregelen op het risico op N uitspoeling en lachgasemissie hebben zijn een aantal contrasten tussen behandelingen van belang:

- Niet scheuren versus scheuren in het voorjaar versus scheuren in augustus, en inzaai gras: A, B, E
- Scheuren in het voorjaar en gras versus mais inzaaien in het voorjaar: B en C
- Mais inzaaien standaard versus mais inzaaien na een bemeste maaisnede: C en D
- Standaard herinzaai in augustus versus reduceren intensiteit van grondbewerking en extra mechanische onkruidbestrijding: E, F, G en H

- Standaard herinzaai in augustus versus reduceren van de N bemesting met 50 en 100 kg N/ha: E, J en K
- Standaard herinzaai in augustus versus toediening nitrificatie remmer na scheuren: E en L
- Inzaai van gras versus inzaai van een kruidenmengsel: E en M

Voor de opbrengstbepaling van gras zijn de plots iedere snede gemaaid met de Haldrup proefveld-oogstmachine met een maaibreedte van 1,50 m. De plots waren 10 m lang. Met de Haldrup is het vers gewicht gewogen van het gemaaide oppervlak (15 m^2). Het materiaal is bemonsterd met een grasboor die door de hele laag vers materiaal is gestoken en er is ca. 1 kg vers materiaal verzameld. Voor de opbrengstbepaling van snijmais zijn twee rijen over een lengte van 10 m met de proefveldhakselaar geoogst en gewogen, en het materiaal is bemonsterd. De verse monsters van gras en mais zijn naar Eurofins (Wageningen) gebracht voor analyse op droge stofgehalte en N-gehalte.

De Nmineraal-voorraad in de bodem is op vijf tijdstippen bepaald: in het voorjaar na de eerste snede ongeveer half mei, in de zomer in juli/augustus, in het najaar in oktober, in de winter in november/december en in het volgende voorjaar in februari/maart. De bodem is bemonsterd in de lagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm met een grondboor. Er zijn 15 steken per plot genomen die vervolgens tot één monster gemengd zijn. In de bodemmonsters is ammonium-N en nitraat-N in het extract bepaald en omgerekend naar de Nmineraal-voorraad in de bodem in kg per ha (tabel 2.7).

De concentratie nitraat in het voorjaar na het jaar van scheuren is bepaald in de bovenste meter van het grondwater. De methode staat beschreven in tabel 2.7.

De data van bemonsteringen zijn vermeld in bijlage 1.

N_2O metingen

De metingen van N_2O vonden plaats in een fluxkamer (Oertel et al., 2016). Bij elk plot is een pvc ring met een scherpe rand en een diameter van 20 cm in de grond geïnstalleerd (figuur 2.1). Vervolgens is een houten plank dwars op de ring geplaatst en met een hamer ca. 5 cm in de grond geslagen. De ringen zijn alleen tijdelijk verwijderd uit het veld als er mechanische activiteiten in het veld plaatsvonden (oogst, bemesting). Vervolgens zijn ze op dezelfde wijze en op dezelfde plek geïnstalleerd. Op de ring is een fluxkamer geplaatst met een inhoud van 4,7 L met twee slangetjes die aan de 'inlet' en de 'outlet' van de gasmonitor zijn gekoppeld (Figuur 2.2)

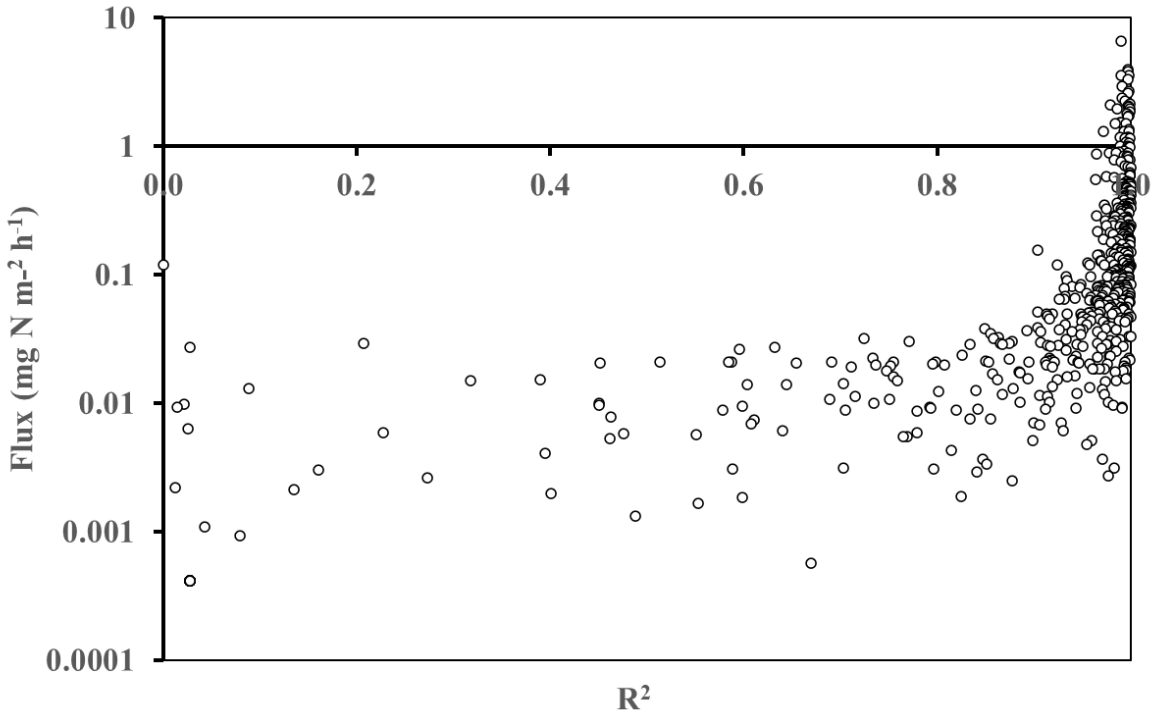


Figuur 2.1 *Installatie van de pvc ringen en fluxkamers.*

De slangen zijn van pvc, 5 meter lang en hebben een diameter van 4 mm. Voorafgaand aan de metingen van N_2O fluxen werd de fluxkamer voor 10-15 minuten gesloten om de concentratie binnen de fluxkamer op te laten lopen. Er is vanuit gegaan dat de concentraties CO_2 en N_2O in die sluitingstijd lineair toeneemt. Dit is in een eerder experiment gecontroleerd waarbij in totaal 564 metingen zijn geanalyseerd op lineaire toename middels vierpuntsmetingen over een tijdspan van 15 min (van 't Hull et al., 2025).
Hier kwam naar voren dat voor de grote meerderheid van de fluxen de toename lineair was en dat dit patroon sterker werd naarmate de flux groter was (figuur 2.3).



Figuur 2.2 *Uitvoering van de fluxmetingen. De gasmonitor is aangesloten op de fluxkamer.*



Figuur 2.3 *Analyse van de lineaire toename van N_2O van vierpuntsmetingen van eerder uitgevoerde experimenten met de PICARRO G2508 gasmonitor (van 't Hull et al., 2025). Er zijn in totaal 564 metingen uitgevoerd. 78% van alle fluxen had een R^2 hoger dan 0.90; 88% van de fluxen groter dan 0.01 mg N m^2 h^1 had een R^2 hoger dan 0.90, 93% van de fluxen groter dan 0.02 mg N m^2 h^1 had een R^2 hoger dan 0.90 en 99% van de fluxen groter dan 0.03 mg N m^2 h^1 had een R^2 hoger dan 0.90.*

Er is daarmee vanuit gegaan dat in alle metingen de N_2O concentratie lineair is toegenomen over een sluitingstijd van 10 minuten. Voor de berekening van de flux geldt de volgende berekening:

$$Flux = \frac{(C_t - C_0)V}{\Delta t * V_m * m * \frac{273}{(273+T)} * \frac{P}{1013} * A} \qquad (mg\ N - N_2O\ h^{-1}m^{-2}) \qquad (1)$$

Waarbij de flux uitgedrukt is in mg N $uur^{-1}m^2$; C_t en C_t de N_2O concentraties in de fluxkamer op het meettijdstip en sluitingstijdstip in ppm (ul l^{-1}); V is de volume van de kamer in l; Δt is de tijd tussen meettijd en sluitingstijd in uur (uur^{-1}), V_m is het molair volume van een gas bij standaard temperatuur en druk (22.4 l mol^{-1}), T is de temperatuur in C°, P is de atmosferische druk in hPa, m is de molaire massa van N_2 (28 g mol^{-1}) en A is de oppervlakte van de fluxkamer in m^2.

De N_2O gasmetingen zijn uitgevoerd met de PICARRO G2508 analyzer (figuur 2.2). Er is een meetschema opgesteld waarin getracht werd om "event-driven" N_2O emissies te meten. De event-driven momenten zijn bijvoorbeeld in het groeiseizoen na bemesting, na het scheuren en na hevige regenval. In het groeiseizoen zijn daarom alle proefvelden gemiddeld 1x in de week gemeten, waarbij de frequentie is opgehoogd naar 2x in de week na deze events. In de winterperiode is de meetfrequentie afgeschaald naar gemiddeld 1x in de twee á drie weken.
De gemeten N_2O fluxen zijn vervolgens lineair geïnterpoleerd voor het berekenen van de jaarlijkse cumulatieve emissie. Daarnaast zijn ook de yield-scaled N_2O emissies (YSNE) berekend door de cumulatieve emissie te delen door de totale N opname van het gewas (van Groenigen et al., 2010).

2.3 Chemische analyse en metingen in het veld

Monsters van mest, bodem en gewas die genomen zijn tijdens de proef zijn chemisch geanalyseerd (tabel 2.7). De monsters zijn genomen door de proefbedrijven Vredepeel en Unifarm. In mest en gewas zijn N-gehaltes bepaald om de N-bodem-balans te kunnen berekenen. In mest is tevens het aandeel N-mineraal en N-organisch bepaald om de werkzame N gift te berekenen. Minerale N in de bodem is bepaald in de lagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm. Nitraat in het grondwater is bepaald in een meter onder de grondwaterspiegel.

Tabel 2.7 *Metingen en chemische analyses in bodem, mest en gewas.*

Bemonstering	Frequentie	Methode	Kwaliteitsborging
Algemene Bodembemonstering Organische stof, Ntotaal en NLV, pH, P_2O_5, K_2O, textuur Bemonstering door proefbedrijf	1x per proef, bij start	Diverse methoden: Bemestingswijzer totaal (Eurofins Agro)	
Mestanalyse Ntotaal, Nmineraal, Norganisch, P_2O_5, K_2O, Organische stof	Bij iedere mesttoediening	Diverse methoden: Eurofins Agro	
N-gehalte gewas Bemonstering door proefbedrijf	Elke snede	Destructie H_2SO_4/Se	ISO-17025
Minerale N 0-30, 30-60 en 60-90 cm Bemonstering door proefbedrijf	Voorjaar en zomer op A t/m D, herfst, winter en voorjaar op alle behandelingen	Extractie 0.01M $CaCl_2$ Verhouding grond : extractiemiddel 1:2 N-mineraal voorraad in bodem = ([NH4-N]+[NO3-N]) × verdunning × dikte bodemlaag in cm/10 ([N] in mg/L, verdunning 2)	ISO-17025
//Nitraat-N Bemonstering: zie tabel 2.8	Meting in bodemvocht in bodemlaag 130-150 cm in het voorjaar na veldproef	SFA – KCl	ISO-17025
Bodemvochtgehalte 0-10cm	Elk uur	Gropoint Lite bodemvocht sensor	
Bodemtemperatuur 0-10cm	Elk uur	Gropoint Lite bodemvocht sensor	

De bemonstering voor minerale N en NO_3^- in grondwater zijn op de locaties Klimmen, Bennekom en Wageningen uitgevoerd door proefbedrijf Unifarm (Wageningen). Op de locaties De Rips en Vredepeel heeft proefbedrijf Vredepeel de bemonstering uitgevoerd. De methode is beschreven in tabel 2.8. De analyses op N zijn uitgevoerd door het Soil Chemistry Laboratory (CBLB) in Wageningen.

Tabel 2.8 *Bemonstermethode voor NO_3^- grondwatermonsters.*

Uitvoering	Bemonstering	Analyse NO_3^- grondwater
Unifarm	Volgens de open boorgatmethode van het RIVM. Per veldje werd een gat geboord met een Edelmanboor tot ca 0,8 m beneden de grondwaterspiegel. In het boorgat werd een PVC-bemonsteringsbuis geplaatst. Vervolgens werd hieruit een watermonster genomen m.b.v een slangenpomp. (zie https://www.rivm.nl/sites/default/files/2018-11/Procedure%20open%20boorgatmethode%20%28PDF%2070%20kB%29.pdf)	De monsters werden vervolgens aangezuurd tot pH 1-2 volgens RIVM protocol (SOP LBG/416) en NEN-ISO 5667-3 ten behoeve van conserveren van grondwatermonsters.
Vredepeel	Idem	De monsters worden niet aangezuurd. Bij het aanleveren aan het CBLB lab is dit op het inzendformulier aangegeven.

2.4 Proefveld management

De afmetingen en de plattegrond met de verdeling van de plots van de proefvelden in de verschillende jaren en locaties staan in bijlage 3. De plots zijn aansluitend in rijen neergelegd. Afhankelijk van de afmetingen van de proefvelden zijn de herhalingen over deze rijen verdeeld.
Het management van de proefvelden is zoveel mogelijk gelijk gehouden tussen de locaties en jaren. De grassneden zijn op maaistadium geoogst. Voor de eerste snede werd gestreefd naar 3 ton ds/ha. De volgende sneden naar 2,5 tot 3 ton ds/ha of na een periode van max 7-8 weken bij slechte groei (bijvoorbeeld als gevolg van droogte). Tijdstip van maaien op de locaties is vermeld in bijlage 1.
Bij de bemesting van grasland is uitgegaan van de gebruiksnorm voor op grasland met volledig maaien, 320 kg N werkzaam per ha. In bijlage 2 staan de geplande en uitgevoerde bemestingen per locatie en jaar. De bemesting bestond uit een combinatie van organische mest en kunstmest, zoals in de praktijk gebruikelijk is. Alle objecten kregen runderdrijfmest. Op de objecten die niet gescheurd (A) en in augustus gescheurd zijn (E t/m M) is voor de eerste snede 25 m^3/ha en voor de tweede snede 20 m^3/ha runderdrijfmest toegediend. Op het object dat in het voorjaar is gescheurd en gras is ingezaaid (B) is voor de derde snede 20 m^3/ha toegediend. Op het object waar mais is ingezaaid (C) is bij de inzaai 15 m^3/ha toegediend. Op het object waar eerst een snede gras is geoogst en vervolgens mais is ingezaaid (D) is in het voorjaar 25 m^3/ha toegediend en bij de inzaai 15 m^3/ha.
De methode van scheuren en grondbewerking op de objecten die in het voorjaar gescheurd zijn was doodspuiten met glyfosaat, na enkele weken frezen en ploegen, vervolgens en zaaibedbereiding en inzaai met mais of gras in één werkgang op de desbetreffende behandelingen. Indien nodig werd gerold om de bodem aan te drukken. Voor de behandelingen die in augustus gescheurd zijn, zijn gelijke methoden toegepast op de objecten E (scheuren en inzaai gras), J en K (scheuren en gereduceerde N-gift), L (scheuren met toepassing van nitrificatieremmer) en M (alleen in 2019). Op object F is de grondbewerking bij scheuren vervangen door een niet kerende grondbewerking: zode frezen en woelen met een vaste tandcultivator op ca 25 cm diepte. Op object G is de grondbewerking helemaal weggelaten en is in de doodgespoten zode gezaaid met een schijvendoorzaaimachine (Vredo). Op object H is niet doodgespoten, maar is de zode eerst gefreesd en daarna meestal twee keer ondiep bewerkt met een triltandcultivator of rotorkopeg. Vervolgens is er geploegd en het gras ingezaaid. In object M is gelijk met graszaad een kruidenmengsel ingezaaid. Omdat de proefvelden de volgende jaren niet gevolgd zijn, zijn er geen gegevens beschikbaar over hoe het kruidenmengsel aangeslagen is.
Het draaiboek met bewerkingen en de data waarop de diverse handelingen plaatsvonden is opgenomen in bijlage 4.

2.5 Statistiek

Nmineraal-voorraad en Nitraat-N

De data voor de Nmineraal-voorraad en nitraat-N in het bovenste grondwater zijn statistisch geanalyseerd met lineaire regressie met Reduced maximum likelihood (Reml, Genstat 22nd edition).
Het lineaire model bestaat uit een fixed (behandeling per locatie) en een random deel (herhaling per locatie). De factor locatie heeft impliciet het jaar in zich: proeven werden één keer per locatie uitgevoerd, er zijn geen meerjarige effecten gemeten. Nitraat-N in het grondwater in het voorjaar is tweemaal bepaald op vier locaties. Deze metingen zijn als herhaalde waarnemingen beschouwd. Op de overige locaties is nitraat-N éénmaal bepaald. De gebruikte modellen voor de resultaten zijn:

Nmineraal-voorraad voor verschillen tussen behandelingen
- Fixed model: Resultaat = behandeling$_{bemonsteringsperiode}$
- Random model: Variatie = herhaling$_{locatie}$

Nmineraal-voorraad voor verschillen tussen behandelingen per locatie
- Fixed model: Resultaat = behandeling$_{bemonsteringsperiode \times locatie}$
- Random model: Variatie = herhaling$_{locatie}$

Nitraat-N in grondwater voor verschillen tussen behandelingen
- Fixed model: Resultaat = behandeling
- Random model: Variatie = herhaling$_{locatie}$

Nitraat-N in grondwater voor verschillen tussen behandelingen per locatie
- Fixed model: Resultaat = behandeling$_{locatie}$
- Random model: Variatie = herhaling$_{locatie}$

Bij de statistische analyse is gecontroleerd of de residuen normaal verdeeld zijn, dit is opgenomen in bijlage .

N_2O emissie

De gemiddelde N_2O emissie is bepaald door het rekenkundig gemiddelde te nemen van de wekelijkse gemeten N_2O fluxen, zoals gemeten in viervoudige herhalingen per veld op de locaties Bennekom (2020) en Wageningen (2021). Voor de berekening van de cumulatieve emissie over een bepaalde periode is gebruikgemaakt van lineaire interpolatie tussen opeenvolgende meetmomenten. De verschillen tussen de behandelingen zijn getoetst met een lineair mixed model, waarbij de behandeling als fixed factor is meegenomen, en de locatie en experimenteel blok als random factors opgenomen zijn. De statistische analyse is getoetst met R versie 4.2.1 (R core Team, 2022). Het effect van de behandeling is bepaald met de R functie anova (lineair mixed model). oorafgaand aan de analyse zijn de veronderstellingen van normaliteit en homogeniteit van de residuen visueel gecontroleerd aan de hand van histogrammen en Q-Q-plots. Wanneer de residuen normaliteit en homogeniteit niet honogeen verdeeld waren dan was de dataset getransformeerd met een log of box-cox functie. Significante verschillen tussen behandelingen zijn vastgesteld met Tukey's HSD post-hoc toets, uitgevoerd met de *emmeans*-functie (Lenth, 2021) en gevisualiseerd met de *CLD*-functie uit het 'multcomp'-pakket (Hothorn et al., 2008).

Gewasopbrengsten

De verschillen in gewasopbrengsten zijn niet statistisch getoetst omdat dat in deze proef niet relevant is. Voor gras zijn de opbrengsten voor scheuren bepaald. De opbrengsten van behandelingen E t/m M zijn in principe hetzelfde tot aan scheuren. Na scheuren is er alleen op Vredepeel21 een gewasopbrengst behaald. In de overige jaren stond er voor de winter nog niet voldoende gewas om een opbrengstbepaling uit te voeren. De A en B objecten (niet en wel scheuren in voorjaar en grasinzaai) lopen ver uiteen in behandeling en zullen uiteenlopende opbrengsten hebben, omdat het B object minimaal een snede mist. De maisopbrengsten op de objecten C en D verschillen door verschillende zaaidatum, en de voorafgaande snede gras op object D. De N-opbrengsten, berekend uit de droge stofopbrengst en het N-gehalte, zijn gebruikt voor bepaling van het N-bodemoverschot: aanvoer van N met bemesting minus afvoer van N met gewas.

3 Resultaten

3.1 Bewerkingen, bemestingen en opbrengst gewas

De geplande bewerkingen zijn uitgevoerd op de objecten. In bijlage 5 staat per locatie aangegeven wanneer bewerkingen zijn uitgevoerd.
Op de objecten met direct scheuren in het voorjaar, B en C, is tussen half februari en eind maart met glyfosaat gespoten, afhankelijk van de start van de grasgroei na de winter. De grondbewerking om het gras onder te werken en het zaaibed te bereiden is na enige weken uitgevoerd als de vochttoestand van de bodem de bewerking toeliet. In de verschillende proefjaren is de eerste bewerking tussen eind maart en half april uitgevoerd en is in april het gras ingezaaid. De mais is een dag tot enkele weken daarna ingezaaid.
Op object D is eerst een snede gras geoogst in mei of begin juni, en enkele dagen daarna gespoten met glyfosaat. De grondbewerking en inzaai van mais in de proefjaren half mei tot begin juni, ongeveer een maand later dan de inzaai van gras en mais op object C.
Op de objecten met scheuren in augustus, E-F-G-H-J-K-L-M, zijn drie of vier sneden bemest en geoogst. Vervolgens is het grasland gespoten met glyfosaat, exclusief object H, en de grondbewerking uitgevoerd. De inzaai van het gras vond plaats tussen 6 en 12 september. Op object L werd gelijktijdig met de inzaai en minimaal een maand later de nitrificatie remmer toegediend. Na de inzaai is alleen op het proefveld Vredepeel21 nog een snede gemaaid. Op de overige locaties en jaren stond er niet voldoende gras en/of was de bodem te nat om te oogsten.
N-aanvoer met bemesting, afvoer met gewas, bodemoverschot, droge stofopbrengst en bemesting met werkzame N gemiddeld over de proefvelden zijn vermeld in tabel 3.1.
De N-aanvoer met bemesting was circa 400 kg/ha, waarvan circa 320 kg/ha werkzaam op de objecten A (niet gescheurd), E tot en met H, L en M. Op de objecten J en K was, zoals gepland, de bemesting respectievelijk 50 en 100 kg N/ha lager. Op object B, dat in het voorjaar was gescheurd en ingezaaid met gras, was de totale bemesting gemiddeld 234 kg N/ha, waarvan 195 kg N werkzaam per ha. Op object C was de bemesting 91 kg N/ha, waarvan 66 kg N werkzaam per ha. Op object D was de bemesting 286 kg N/ha waarvan 200 kg N/ha werkzaam. Op object D vond de eerste bemesting plaats op gras in het voorjaar, de tweede bemesting bij de inzaai van mais.

Grasopbrengst
De grasopbrengst in droge stof en N was het hoogst op object A, waar het grasland niet was gescheurd: 11,1 ton ds/ha, en 309 kg N/ha. Op object B (voorjaar scheuren + inzaai gras) was de opbrengst lager, ruim 3,5 ton/ha en 37 kg N/ha, ongeveer de opbrengst van de door herinzaai gemiste eerste snede. Op object C was de maisopbrengst 16,7 ton ds/ha en 194 kg N/ha. Op object D was de maisopbrengst 14,0 ton ds/ha en 168 N/ha opbrengst, en van de grassnede voor de mais 5,1 ton ds/ha en 118 kg N/ha. In totaal was de opbrengst op object D 19,2 ton ds/ha en 286 kg N/ha. De opbrengst op de objecten die in augustus werden gescheurd, E t/m M, varieerden tussen 9 en 10 ton ds/ha, 239 en 276 kg N/ha.
De N-bodemoverschotten op de objecten waarvan alleen gras geoogst was varieerden van -38 kg N/ha op object B (scheuren in voorjaar en gras inzaaien) tot 161 kg N/ha op object H (mechanische vernietiging van de graszode). Op de mais-objecten was het N-bodemoverschot -104 kg N/ha op object C (direct inzaai mais) en -11 kg N/ha op object D (één grassnede en inzaai mais).

Tabel 3.1 *Totale werkzame stikstof bemesting, N-afvoer, N-bodemoverschot, in kg N/ ha, en droge stofopbrengst, in kg ds/ha, gemiddeld per object over alle locaties en jaren.*

Code	Gewas	Bemesting N werkzaam*	Droge stofopbrengst	N afvoer met opbrengst	N afvoer*** Min - max	N bodem overschot
A	Gras	307	11.106	309	229-378	88
B	Gras	195	7.441	272	165-355	-38
C	Mais	66	16.739	194	100-270	-104
D	Gras+mais	200	19.150**	286**	220-350	-11
E	Gras	324	9.942	260	190-330	154
F	Gras	324	10.070	276	187-379	138
G	Gras	324	9.914	264	187-353	150
H	Gras	324	9.530	253	189-366	161
J	Gras	269	9.679	255	169-348	104
K	Gras	217	9.399	239	170-347	69
L	Gras	324	10.106	276	184-385	138
M	Gras	322	9.186	249	234-264	152
D-WR1341	Gras	195	4.289	155	229-378	60

*Berekening N werkzaam gras: 0,81×Nmin drijfmest+0,20×Norg drijfmest+N kunstmest

N werkzaam mais: 0,95×Nmin drijfmest+0,20×Norg drijfmest+N kunstmest (www.bemestingsadvies.nl).

**Droge stofopbrengst op object D: gras 5.152 kg ds/ha 118 kg N/ha; mais 13.998 kg ds/ha 168 kg N/ha

*** minimum en maximum van gemiddelden per locatie

3.2 Voorraad minerale N in de bodem

De Nmineraal-voorraad in de bodem in de lagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm zijn op vijf tijdstippen bepaald (zie materiaal en methode). In het najaar is het proefveld in Wageningen 2021 niet bemonsterd door de natte omstandigheden. In het voorjaar na scheuren zijn de proefvelden in Vredepeel 2019 en Wageningen 2021 door te natte omstandigheden niet bemonsterd. Alle bemonsteringsdata per proefveld staan in bijlage 1. De bepalingen direct na het groeiseizoen, in deze proef aangeduid met herfst en winter meting, geven het beste beeld van de hoeveelheid N die door uitspoeling en denitrificatie in de winter verloren kan gaan. De verschillen tussen de Nmineraal-voorraad in najaar en winter verschillen niet veel (tabel 3.3 en 3.4). De statistische verschillen tussen behandelingen geven een vergelijkbaar beeld.

Tabel 3.3 *N voorraad in 0-90 cm in objecten A t/m M per proef bij najaarsbemonstering (eind september – half oktober), kg N/ha.*

Code	2019		2020		2021	Gemiddeld
	Vredepeel19	Wijnandsr19	Bennekom20	Vredepeel20	Vredepeel21	
	7 okt	15 okt	15 okt	29 sept	28 okt	
A	22^{a}	24^{a}	72^{a}	68^{a}	19^{a}	41^{a}
B	68^{b}	16^{a}	55^{a}	107^{ab}	15^{a}	52^{a}
C	179^{g}	30^{a}	136^{b}	69^{a}	118^{d}	107^{b}
D	91^{bc}		176^{cd}	118^{ab}	101^{cd}	121^{bc}
E	136^{def}	101^{c}	232^{e}	170^{c}	100^{cd}	148^{d}
F	139^{def}	98^{bc}	188^{d}	168^{c}	90^{bc}	137^{cd}
G	122^{cde}	85^{bc}	163^{bcd}	137^{bc}	125^{d}	126^{bc}
H	263^{h}	145^{d}	232^{e}	236^{d}	159^{e}	207^{e}
J	106^{cd}	92^{bc}	172^{cd}	168^{c}	72^{b}	122^{bc}
K	124^{cde}	77^{bc}	158^{bc}	109^{ab}	68^{b}	107^{b}
L	160^{fg}	102^{c}	224^{e}	166^{bc}	111^{cd}	153^{d}
M	150^{efg}	97^{b}				
DWR1341		35^{a}				
LSD	33	21	28	49	27	20

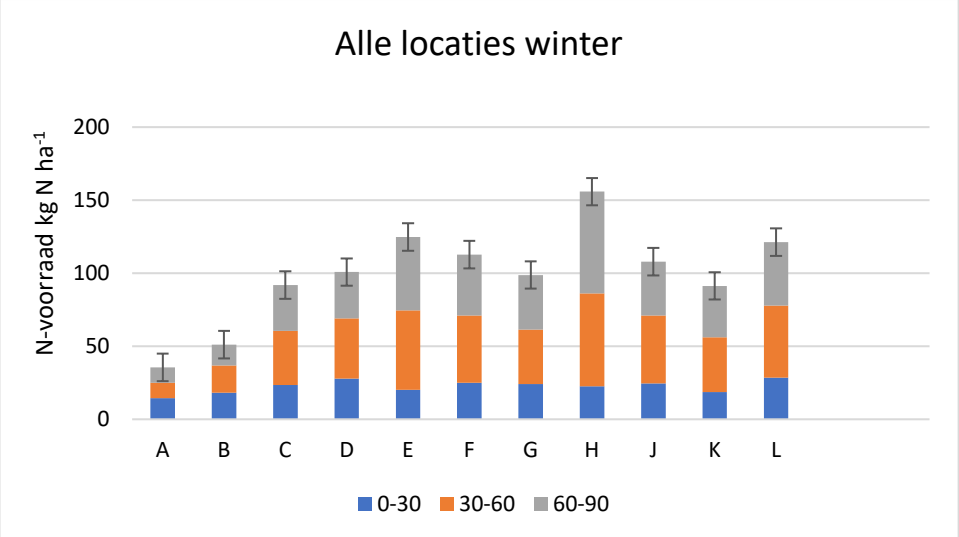
LSD: Least significant difference (2 × sed; P<0,05). Verschillende letters geven aan dat waarden significant verschillend zijn binnen de locatie/jaar combinatie. NB: op locatie Wageningen21 is de Nmineraal- voorraad in de bodem in het najaar niet gemeten.

Tabel 3.4 *Voorraad minerale N in 0-90 cm in objecten A t/m M per proef bij winterbemonstering (eind november – begin december), kg N/ha.*

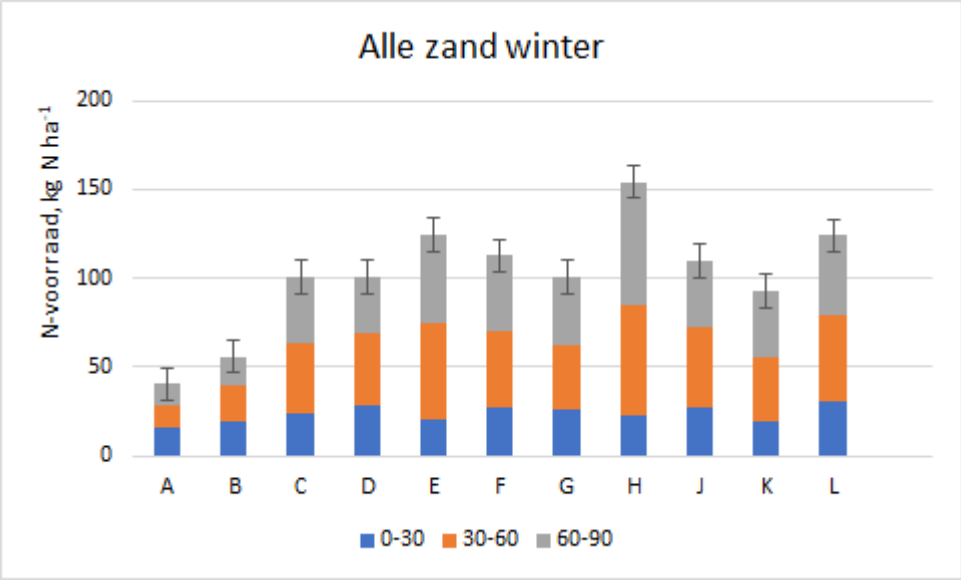
Code	2019		2020		2021		Gemiddeld
	VP 2401	WR 1341	Ben20	VP 2486	Wag21	VP 2577	
	20 nov	26 nov	3 dec	9 nov	19 nov	25 nov	
A	27^{a}	12^{a}	58^{a}	49^{a}	58^{a}	11^{a}	36^{a}
B	60^{ab}	27^{a}	59^{a}	85^{ab}	64^{a}	13^{a}	51^{a}
C	141^{ef}	50^{b}	104^{b}	99^{b}	58^{a}	101^{e}	92^{b}
D	81^{bc}		172^{e}	94^{b}	83^{a}	75^{cde}	101^{bc}
E	169^{fg}	125^{e}	145^{d}	174^{cde}	73^{a}	63^{bcd}	125^{d}
F	119^{de}	114^{de}	138^{d}	160^{cd}	71^{a}	76^{cde}	113^{cd}
G	93^{bcd}	90^{c}	99^{b}	167^{cd}	63^{a}	81^{cde}	99^{bc}
H	241^{h}	164^{f}	129^{cd}	234^{f}	81^{a}	85^{de}	156^{e}
J	119^{de}	98^{cd}	130^{cd}	179^{d}	68^{a}	54^{bc}	108^{bc}
K	112^{cde}	86^{c}	109^{bc}	137^{c}	60^{a}	45^{b}	91^{b}
L	139^{ef}	108^{de}	144^{d}	208^{ef}	67^{a}	62^{bcd}	121^{d}
M	187^{g}	119^{e}					
DWR1341		21^{a}					
LSD	34	18	23	40	25	28	17

LSD: Least significant difference (2 × sed; P<0,05). Verschillende letters geven aan dat waarden significant verschillend zijn binnen de locatie/jaar combinatie.

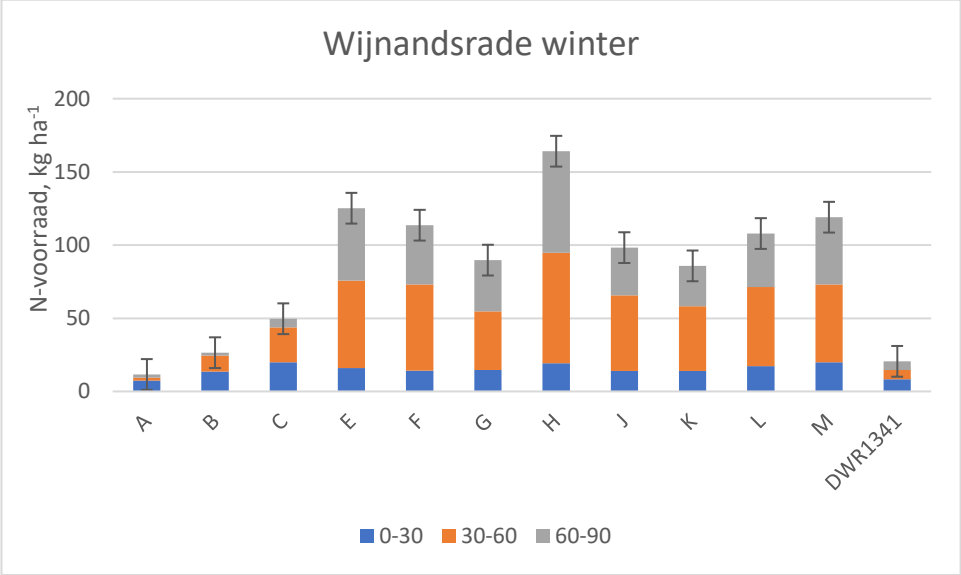
Om een overall beeld te geven zijn de wintermetingen, die op alle proefvelden zijn uitgevoerd, uit tabel 3.4 eveneens weergegeven in figuur 3.1. Gemiddeld over alle locaties en proefjaren was de Nmineraal-voorraad in de laag van 0-90 cm op niet gescheurd grasland (A) en op grasland met vernieuwing in het voorjaar (B) lager dan waar snijmais werd gezaaid (C en D) en op grasland met vernieuwing in augustus (E t/m L). In de laatste groep was de Nmineraal-voorraad op het grasland waarop extra mechanische onkruidbestrijding plaatsvond (H) hoger dan op de andere objecten.
Wanneer de proefvelden op zandgrond (figuur 3.2) apart beschouwd worden is hetzelfde patroon te zien: geen herinzaai (A) of herinzaai in het voorjaar (B) leverde een significant (P<0,05) lagere Nmineraal-voorraad in de winter dan het scheuren van grasland in augustus. Op de lössgrond (figuur 3.3) was het patroon vergelijkbaar met zand, met uitzondering van de teelt van snijmais zonder voorafgaande grassnede (C), daar was de Nmineraal-voorraad in de bodem lager dan bij scheuren van grasland in augustus.



Figuur 3.1 *Voorraad minerale N in drie bodemlagen: 0-30, 30-60 en 60-90 cm, in kg N/ha. Gemiddeld over alle locaties, winter bemonstering (november en december). Spreidingsbalken geven standaardafwijking aan tussen objecten over de laag 0-90 cm. Als spreidingsbalken overlappen zijn verschillen tussen die objecten niet significant (Least Significant Difference (LSD) is 2 × sed; P<0,05).*



Figuur 3.2 *Voorraad minerale N in drie bodemlagen: 0-30, 30-60 en 60-90 cm, in kg N/ha. Gemiddeld over de zandlocaties, winter bemonstering (november en december). Spreidingsbalken geven standaardafwijking aan tussen objecten over de laag 0-90 cm. Als spreidingsbalken overlappen zijn verschillen tussen die objecten niet significant (LSD is 2 × sed; P<0,05).*



Figuur 3.3 *Voorraad minerale N in drie bodemlagen: 0-30, 30-60 en 60-90 kg N/ha, op de löss locatie, winterbemonstering. Spreidingsbalken geven standaardafwijking aan tussen objecten over de laag 0-90 cm. Spreidingsbalken geven standaardafwijking aan tussen objecten over de laag 0-90 cm. Als spreidingsbalken overlappen zijn verschillen tussen die objecten niet significant (Least Significant Difference (LSD) is 2 × sed; P<0,05).*

Verschillen tussen en binnen proefvelden

Ook binnen de proefvelden zijn de verschillen in Nmineraal-voorraad in de bodem in de herfst en de winter statistisch getoetst (tabel 3.3 en 3.4). Op alle proefvelden gold dat het referentieobject zonder scheuren (object A) een lagere Nmineraal-voorraad had dan de objecten waarvan de graszode in augustus is gescheurd (objecten E t/m M), met uitzondering van het proefveld in Wageningen 2021. Op dit proefveld was er geen enkel verschil in Nmineraal-voorraad tussen de objecten, mogelijk door de grote hoeveelheid neerslag in het najaar. De Nmineraal-voorraad op het referentieobject met scheuren en herinzaai met gras in het voorjaar (object B) was niet verschillend van de referentie zonder scheuren (object A).

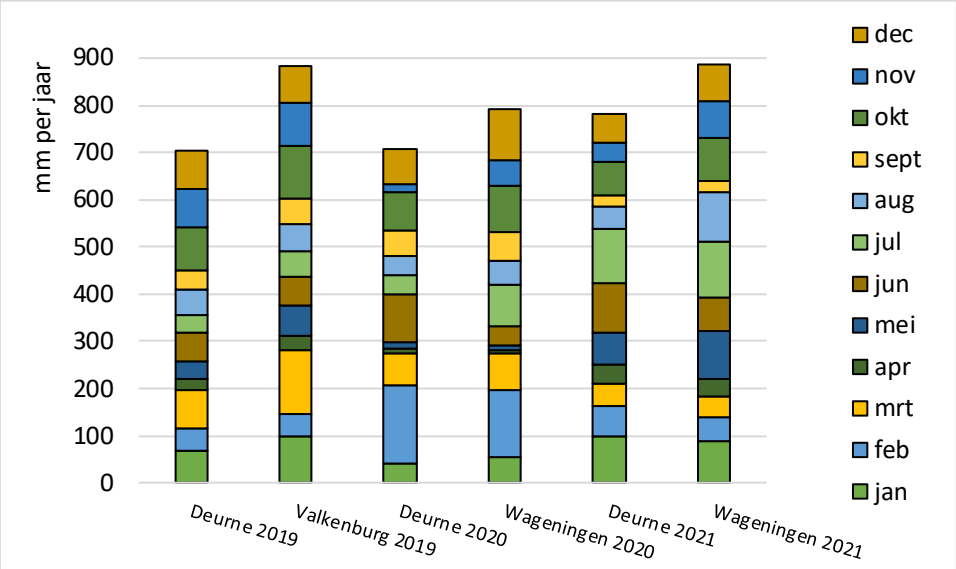
In hoofdstuk 2 is aangegeven welke contrasten tussen objecten iets zeggen over de aangelegde behandelingen in de proef. Die contrasten zijn:

- **Niet scheuren versus scheuren in het voorjaar versus scheuren in augustus** (A, B, E): Gemiddeld is de Nmineraal-voorraad in de bodem in 0-90 cm bij scheuren in het voorjaar en gras inzaaien (B) niet significant anders dan bij niet scheuren (A). Gemiddeld is Nmineraal-voorraad in de bodem significant lager bij scheuren in het voorjaar (B) dan bij scheuren in augustus (E).
- **Gras versus mais inzaaien in het voorjaar**, met en zonder voorafgaande snede gras (C versus B versus D): na scheuren in het voorjaar is bij inzaai mais (C) de Nmineraal-voorraad in de bodem in de winter hoger dan bij inzaai van gras. Het verschil bij inzaai van mais met of zonder voorafgaande snede is wisselend: afhankelijk van de locatie, bemonsteringstijd en jaar is de Nmineraal-voorraad in de bodem lager, gelijk of hoger in de bodem als er voor de maisteelt een snede gras bemest en geoogst is (D).
- **Effect van intensiteit van grondbewerking**: objecten E, F, G en H: De Nmineraal-voorraad in de bodem neemt af met afnemende grondbewerking, en is zonder grondbewerking lager dan bij normale grondbewerking. Zonder grondbewerking (G) is de Nmineraal-voorraad nog wel hoger dan bij scheuren in het voorjaar (B). Mechanische vernietiging van de graszode (H), in plaats van chemische vernietiging verhoogt de Nmineraal-voorraad in de bodem na het groeiseizoen aanzienlijk.
- **Effect van reduceren van de N bemesting in het najaar**: objecten E, J en K: korting van 50 (J) en 100 (K) kg N per ha van de bemesting bij scheuren in augustus verlaagt de Nmineraal-voorraad in de bodem na het groeiseizoen ten opzichte van normale bemesting (E) maar is hoger dan bij scheuren in het voorjaar (B).
- **Gebruik van nitrificatie remmer** na scheuren van grasland in augustus, object E versus L: gebruik van een nitrificatieremmer bij scheuren in augustus heeft op geen enkele locatie effect op de Nmineraal-voorraad in de bodem na het groeiseizoen.
- **Effect van gras met een kruidenmengsel** in plaats van gras: objecten E en M: het object met inzaai van een kruidenmengsel is alleen in 2019 uitgevoerd. Daardoor is het effect ten opzichte van inzaai van gras niet betrouwbaar vast te stellen. Bovendien zouden daar pas op langere termijn verschillen verwacht mogen worden.

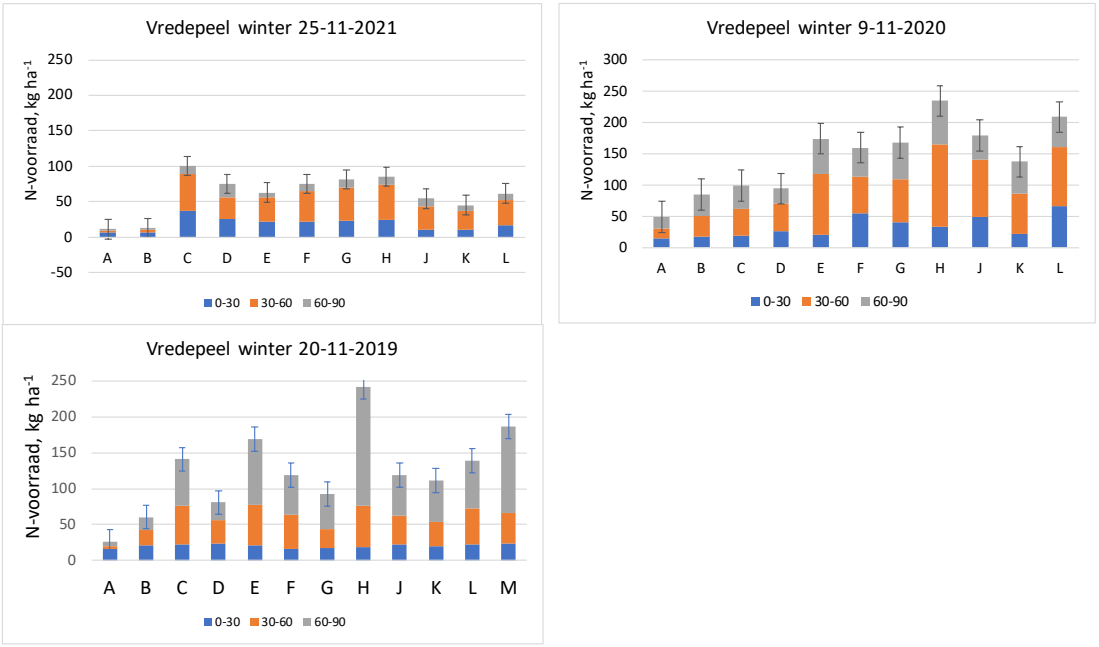
Verschillen tussen jaren

De Nmineraal-voorraad die gemeten wordt in de winter is afhankelijk van het neerslagoverschot. In het groeiseizoen is het neerslagoverschot vaak negatief. Dat komt doordat er minder regen valt, maar er wel vocht uit de bodem verdampt en het gewas vocht opneemt dat grotendeels verdampt. In figuur 3.4 staat de verdeling van de neerslag over de jaren en locaties.

In de drie proefjaren was de totale neerslag op de locatie Vredepeel (weerstation Deurne) in de eerste twee jaren (2019 en 2020) lager dan in het derde jaar (2021). Op de locaties Wageningen en Bennekom (weerstation Wageningen) was de totale neerslag in 2020 ook lager dan in 2021. Op de locatie Wijnandsrade (Klimmen) was het voorjaar vrij nat. Met name in januari en maart viel meer neerslag dan op de andere locaties. Binnen de drie locaties op Vredepeel (zand) is de Nmin in 0-90 cm in de winter van 2021 dan ook lager dan in de winter van 2019 en 2020 (Figuur 3.5). Let wel, in het derde jaar is een ander perceel gebruikt dan in het eerste en tweede jaar. Bodem-chemisch lijken de percelen op elkaar, daarom is de verwachting dat de effecten vergelijkbaar zijn op de proeven van 2019/2020 versus 2021 maar een verschil tussen de percelen kan niet uitgesloten worden (tabel 2.2).



Figuur 3.4 *Neerslag op KNMI-weerstations in de proefjaren: weerstation Deurne voor proefvelden Vredepeel (2019, 2020, 2021), Valkenburg (Limburg) voor proefveld Wijnandsrade (2019), Wageningen voor Bennekom (2020) en Wageningen (2021).*

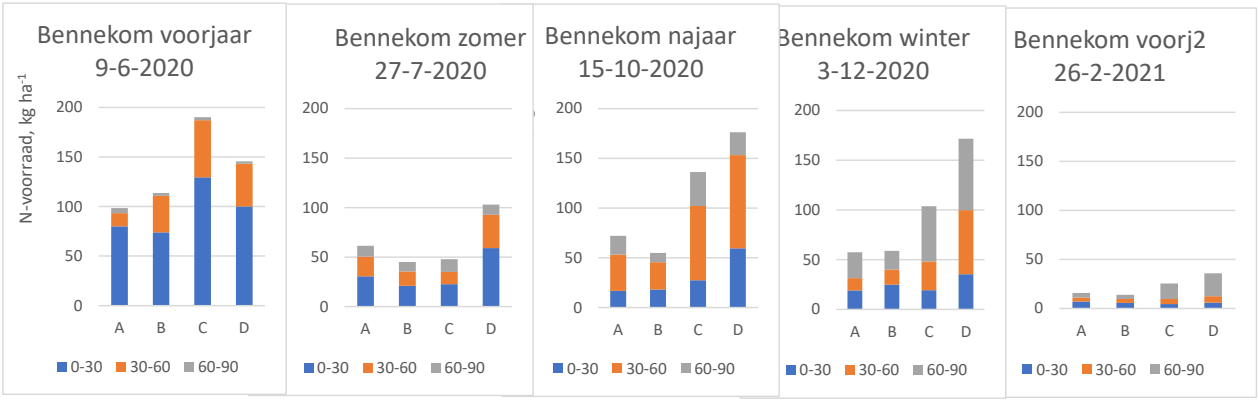


Figuur 3.5 *Nmineraal-voorraad in de winter in drie opeenvolgende jaren op locatie Vredepeel, ter illustratie van verschillen tussen jaren als gevolg van neerslagpatronen. NB: in 2019 en 2020 op hetzelfde perceel maar andere plek, 2021 een ander perceel. De letters op de x-as geven de verschillende objecten weer (zie tabel 2.3). Spreidingsbalken geven standaardafwijking aan tussen objecten over de laag 0-90 cm. Als spreidingsbalken overlappen zijn verschillen tussen die objecten niet significant (Least Significant Difference (LSD) is 2 × sed; P<0,05).*

Veranderingen in de tijd van de Nmineraal-voorraad in de bodem

De proefvelden zijn vijf keer bemonsterd voor Nmineraal-voorraad. De objecten A t/m D zijn op alle tijdstippen bemonsterd. Om een indruk te krijgen van hoe de gemeten Nmineraal-voorraad verandert in de loop van het seizoen zijn de metingen van deze objecten op één locatie naast elkaar gezet (figuur 3.6). In tabel 3.1 staan de tijdstippen waarop bewerkingen op object B t/m D hebben plaatsgevonden, object A werd niet gescheurd. Op 9 juni heeft de eerste bemonstering van de Nmineraal-voorraad plaatsgevonden. Voor object B en C was dat ongeveer 2,5 maand na frezen en ploegen, voor object D krap 1 maand. Object C, inzaai van mais direct in het voorjaar, had op dat moment de hoogste Nmineraal-voorraad, object A en B verschilden weinig van elkaar. In de zomer (27-7-2020) waren de N-voorraden gedaald en was die op object D, inzaai van mais na een snede gras, het hoogst. In het najaar (15-10-2020) was de Nmineraal-voorraad op de beide objecten met grasland, A en B, lager dan die op mais, C en D. In de winter (3-12-2020) was de Nmineraal-voorraad vergelijkbaar met die van in het najaar maar de Nmineraal-voorraad in de laag 30-60 cm was voor een deel doorgezakt naar de laag 30-90 cm. In het voorjaar na scheuren (26-2-2021) was de Nmineraal-voorraad op alle objecten sterk gezakt. Mogelijk is het verschil tussen de winter en het volgende voorjaar een maat voor de hoeveelheid N die is uitgespoeld of gedenitrificeerd, een deel kan opgenomen zijn door gras of groenbemester. De Nmineraal-voorraad op de andere locaties volgen vergelijkbare patronen in de tijd.

Nitraat in de bovenste bodemlaag (0-30 cm) is voor een groeiend gewas nog goed opneembaar. Nitraat in de diepste laag (60-90 cm) is, met name in het najaar en de winter, gevoelig voor uitspoeling. In de figuren is te zien dat in het voorjaar en zomer het meeste nitraat in de bovenste laag zit en nog opneembaar is. In najaar en winter verschuift het nitraat naar diepere lagen en kan daardoor makkelijk uitspoelen en de nitraat concentratie in het grondwater verhogen. Zoals eerder vermeld wordt daarom de Nmineraal-voorraad in het najaar en winter beschouwd als een indicator voor de uitspoeling van nitraat.



Figuur 3.6 *Nmineraal-voorraad op vijf tijdstippen op locatie Bennekom (2020) ter illustratie van de verschillen in niveau tussen de bemonsteringstijdstippen op een locatie.*

Samengevat

De waarnemingen van de Nmineraal-voorraad in de bodem na het groeiseizoen bevestigen grotendeels de verwachtingen:

- Bij het scheuren van grasland in het voorjaar blijft er na het groeiseizoen bij inzaai van mais meer minerale N over in de bodem dan bij inzaai van gras.
- Bij scheuren van grasland in augustus blijft er na het groeiseizoen meer minerale N over in de bodem dan bij scheuren van grasland in het voorjaar.
- Bij scheuren van grasland in augustus verlagen beperking van de grondbewerking na het scheuren en beperking van de N-gift voor het scheuren de Nmineraal-voorraad na het groeiseizoen, maar de voorraad is hoger dan bij scheuren in het voorjaar.
- Mechanische vernietiging van de graszode door extra grondbewerking verhoogt de Nmineraal-voorraad na het groeiseizoen vergeleken met vernietiging met een herbicide en standaard grondbewerking.
- Het gebruik van een nitrificatieremmer na het scheuren in augustus heeft geen effect op de Nmineraal-voorraad na het groeiseizoen.
- Na het relatieve natte najaar van 2021 is de Nmineraal-voorraad in herfst en winter lager dan na een minder nat najaar.
- De Nmineraal-voorraad zakt in de winter verder naar beneden, de voorraad in 30-60 cm daalt en in 60-90 cm stijgt. De Nmineraal-voorraad is voor een groot deel verdwenen in het volgende voorjaar.

3.3 Nitraat in grondwater

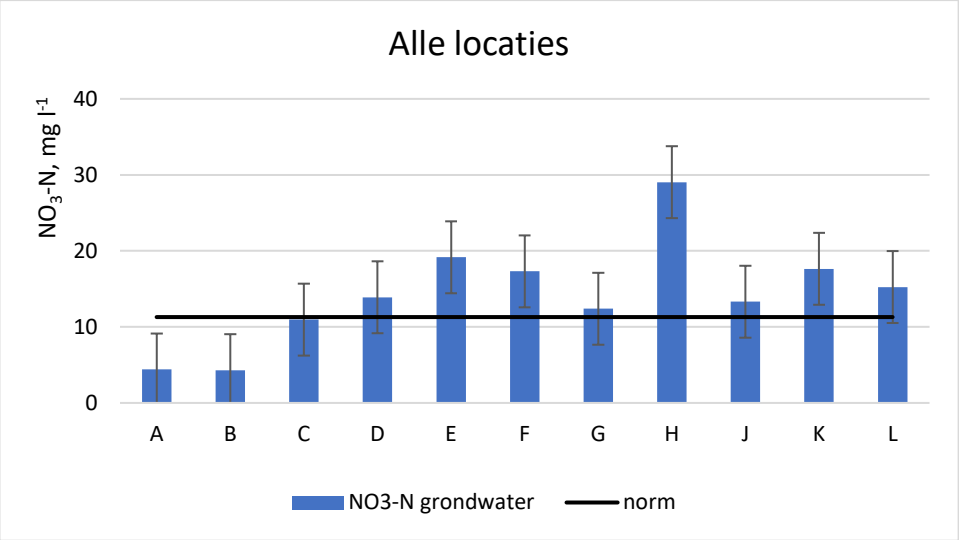
De concentratie nitraat-N in het grondwater is na de winter op een of twee tijdstippen bepaald. Bij twee metingen worden die als herhalingen beschouwd. De concentratie nitraat-N op de objecten vertoonden hetzelfde patroon als de Nmineraal-voorraad in de bodem. De spreiding van deze metingen was echter veel hoger waardoor verschillen tussen behandelingen minder vaak significant zijn.
Gemiddeld over alle locaties en proefjaren (tabel 3.5, figuur 3.7) was de concentratie nitraat-N op niet gescheurd grasland (A) en op grasland met vernieuwing in het voorjaar (B) lager dan waar snijmais werd gezaaid (C en D) en op grasland met vernieuwing in augustus (E t/m L). Op de individuele locaties kwamen deze verschillen er lang niet altijd significant uit.
De concentratie nitraat-N op het object waar extra mechanische onkruidbestrijding plaatsvond (H) was in de 2019 en 2020 significant hoger dan op de andere objecten. In 2021 was dit verschil minder duidelijk. In dat jaar waren alle nitraatgehalten laag.
Wanneer de proefvelden op zandgrond (figuur 3.6) en het proefveld op lössgrond (figuur 3.7) apart beschouwd worden is hetzelfde patroon te zien: geen herinzaai (A) bof herinzaai in het voorjaar (B) leverde een lagere nitraat-N concentratie dan herinzaai in augustus.
Minder intensieve of geen grondbewerking (objecten F en G) leverden minder nitraat-N in het grondwater maar het verschil was gemiddeld over alle locaties niet significant. In 2020 (Bennekom20 en Vredepeel20, beide zand) was de concentratie nitraat-N bij geen grondbewerking (G) significant lager dan bij gebruikelijke grondbewerking (E). Verlaging van de N-gift met 50 en 100 kg N/ha (J en K) en toepassing van een nitrificatieremmer (L) verlaagden het nitraat-N in het grondwater niet significant. Alleen op de locatie Bennekom20 was het nitraat-N lager bij 50 kg N/ha lagere bemesting (J) en een nitrificatieremmer (L).
Opvallend was dat op vier locaties (Vredepeel19, 20 en 21, en Bennekom20) de nitraat-N concentratie hoger was op het object waar de N-gift met 100 kg N/ha verlaagd was (K) dan waar de N-gift met 50 kg N/ha verlaagd was (J).

Samengevat
De nitraat-N concentratie in het grondwater bij scheuren in augustus daalde op enkele proefvelden door minder grondbewerking, verlaging van de N-bemesting en toediening van een nitrificatieremmer maar bleef hoger dan bij scheuren in het voorjaar. Deze verschillen waren echter vaak niet significant. Extra mechanische onkruidbestrijding verhoogde de nitraat-N concentratie significant in vergelijking met de standaard herinzaai.

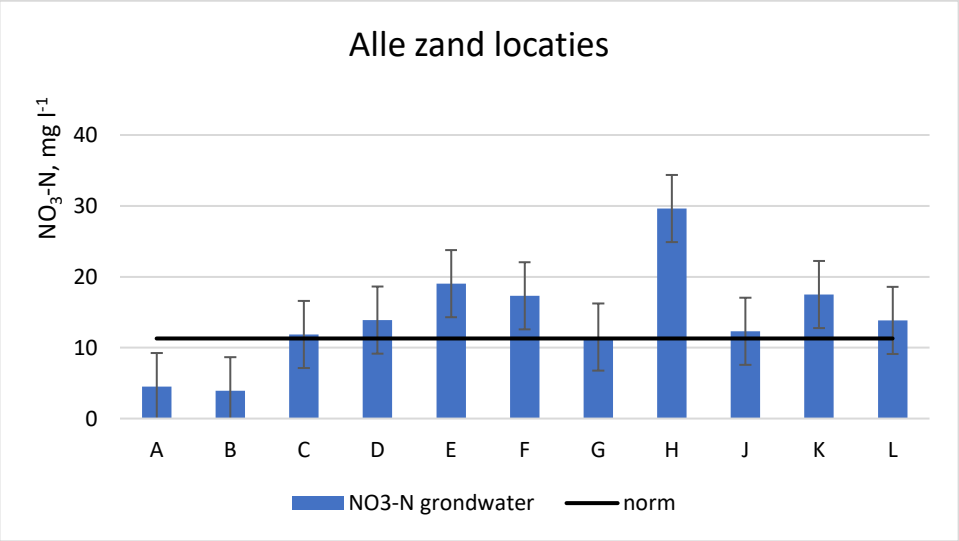
Tabel 3.5 *Nitraat-N in bovenste grondwater in objecten A t/m M per proef bij bemonstering in het voorjaar na scheuren (februari-maart), mg nitraat-N/l. Norm in nitraatrichtlijn is 11,3 mg nitraat-N/1.*

Code	2019		2020		2021		Gemiddeld
	Vredepeel19	Wijnandsr19	Vredepeel20	Bennekom20	Vredepeel21	Wagening21	
	20 nov	26 nov	9 nov	3 dec	25 nov	19 nov	
A	5,0^{a}	4,0^{a}	3,4^{a}	12,5^{b}	0,4^{a}	1,4^{ab}	4,4^{a}
B	8,7^{ab}	6,0^{a}	6,6^{a}	2,9^{a}	0,7^{a}	0,8^{ab}	4,3^{a}
C	22,7^{bc}	6,4^{a}	4,4^{a}	16,1^{b}	15,7^{d}	0,5^{a}	11,0^{b}
D	22,5^{bc}	6,8^{a}	3,6^{a}	27,6^{cd}	12,6^{cd}	3,1^{abc}	14,0^{b}
E	40,8^{d}	19,8^{bc}	9,3^{ab}	41,7^{e}	1,8^{a}	1,6^{abc}	19,2^{b}
F	19,5^{bc}	17,4^{b}	20,9^{bc}	33,5^{de}	7,1^{bc}	5,5^{bc}	17,3^{b}
G	28,0^{cd}	16,9^{b}	0,8^{a}	26,7^{cd}	1,9^{ab}	0,0^{a}	12,4^{b}
H	73,4^{f}	26,0^{c}	25,9^{c}	42,1^{e}	3,7^{ab}	3,2^{abc}	29,0^{c}
J	25,5^{c}	18,4^{b}	7,4^{a}	19,4^{bc}	2,9^{ab}	6,3^{c}	13,3^{b}
K	32,9^{cd}	18,2^{b}	12,0^{ab}	35,5^{de}	4,7^{ab}	2,4^{abc}	17,6^{b}
L	32,1^{cd}	22,2^{bc}	1,7^{a}	29,1^{d}	3,8^{ab}	2,5^{abc}	15,2^{b}
M	51,6^{e}	20,5^{bc}					
D-löss							
LSD	14,9	6,8	13,5	9,5	6,2	4,8	9,4

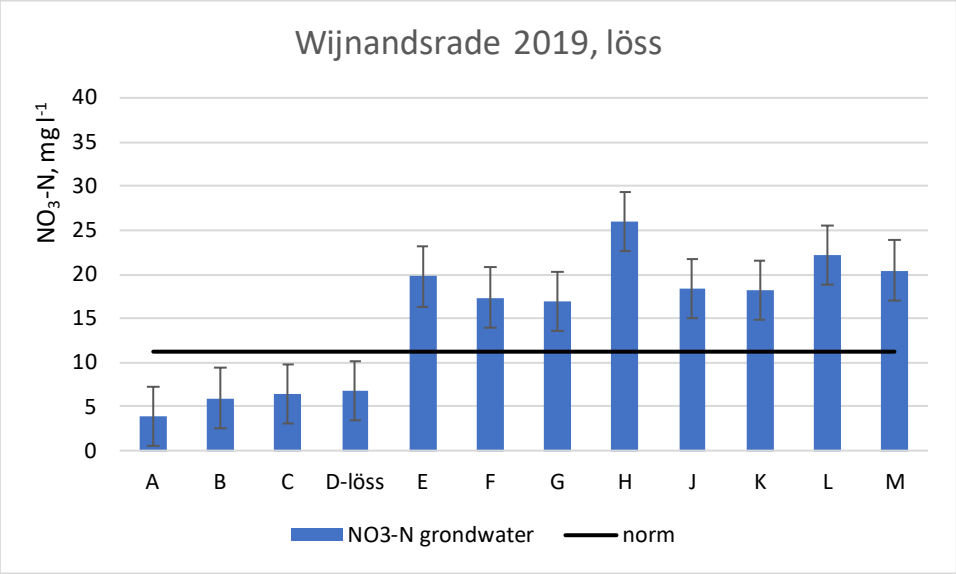
LSD: Least significant difference (2 × sed; P<0.05). Verschillende letters geven aan dat waarden significant verschillend zijn, binnen de locatie/jaar combinatie.



Figuur 3.7 *Nitraat-N in grondwater (mg/l). Gemiddeld over alle locaties, bemonstering in het voorjaar na het jaar van scheuren (februari en maart). Norm is 50 mg nitraat/liter, 11,3 mg nitraat-N/liter. Spreidingsbalken geven standaardafwijking aan tussen objecten over de laag 0-90 cm. Als spreidingsbalken overlappen zijn verschillen tussen die objecten niet significant (Least Significant Difference (LSD) is 2 × sed; P<0,05).*

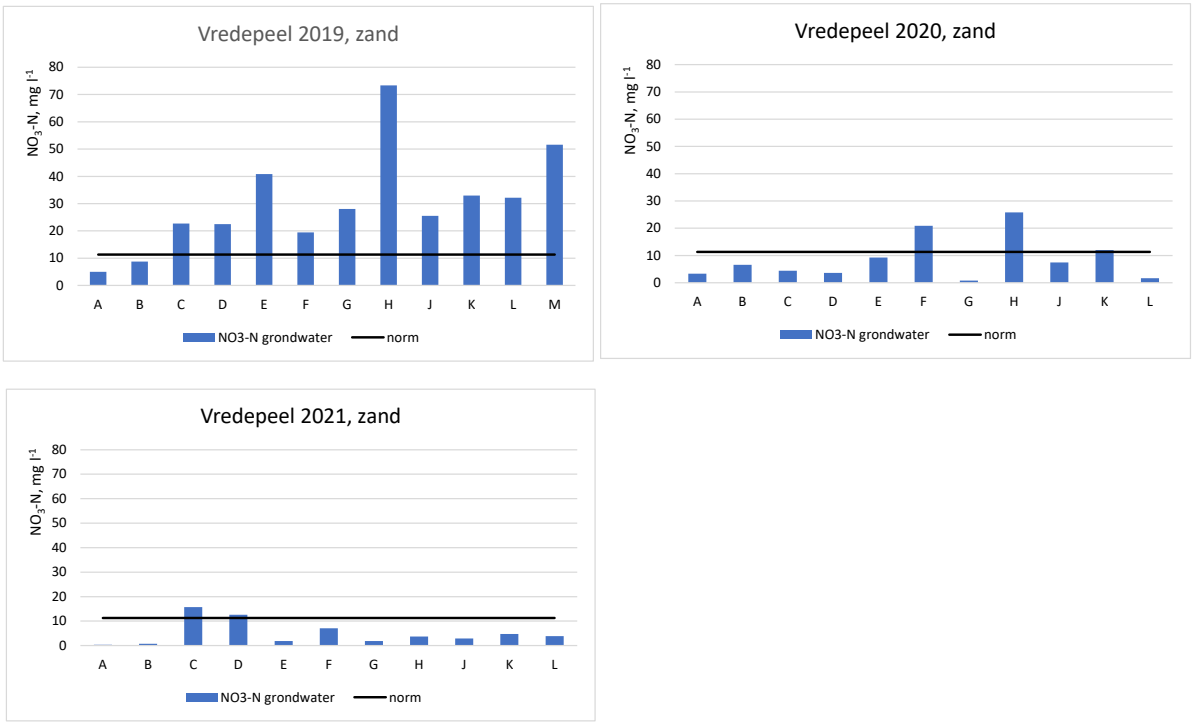


Figuur 3.8 *Nitraat-N in grondwater (mg/l). Gemiddeld over alle locaties op zand, meting in het voorjaar na het jaar van scheuren (februari en maart). Norm is 50 mg nitraat/liter, 11,3 mg. Spreidingsbalken geven standaardafwijking aan tussen objecten over de laag 0-90 cm. Als spreidingsbalken overlappen zijn verschillen tussen die objecten niet significant (Least Significant Difference (LSD) is 2 × sed; P<0,05).*



Figuur 3.9 *Nitraat-N in grondwater, NO_3-N (mg/l). Löss locatie 2019, meting in het voorjaar na het jaar van scheuren (februari en maart). Norm is 50 mg nitraat/liter, 11,3 mg nitraat-N/liter. Spreidingsbalken geven standaardafwijking aan tussen objecten over de laag 0-90 cm. Als spreidingsbalken overlappen zijn verschillen tussen die objecten niet significant (Least Significant Difference (LSD) is 2 × sed; P<0,05).*

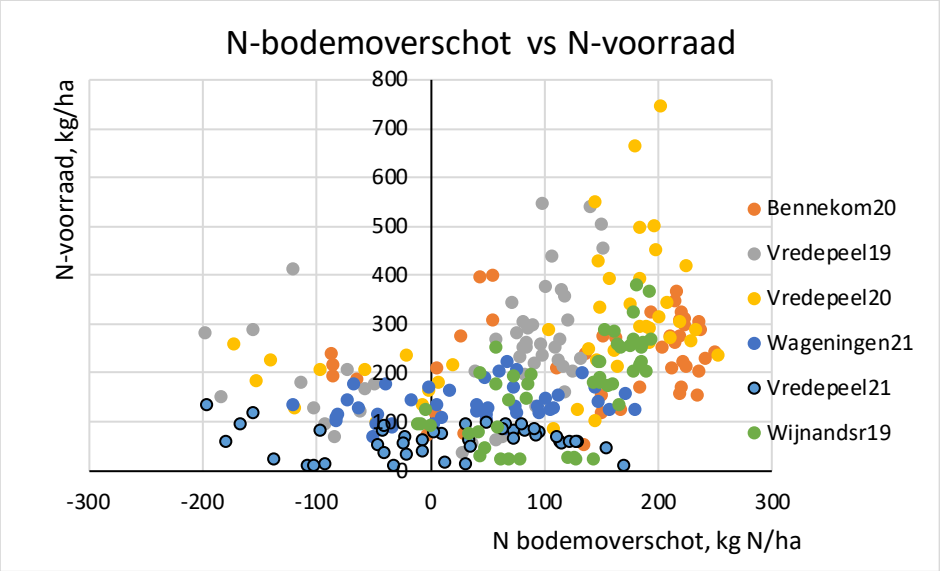
Figuur 3.10 geeft de nitraat-N-concentratie in het grondwater weer na de winter in drie opeenvolgende jaren op locatie Vredepeel. In 2019 is de concentratie nitraat-N in het grondwater aanzienlijk hoger dan in 2020 en 2021. In 2021 is de concentratie nitraat-N weer lager dan in 2020, met uitzondering van de objecten met mais (C en D). Het object standaard scheuren in augustus (E) is in 2019 ruim 3 keer boven de norm (11 mg/l), ca. 40 mg nitraat-N/l, in 2020 is het nog maar ¼ (9 mg/l) van 2019 en onder de norm. In 2021 is het nitraatgehalte ver onder de norm (2 mg/l).



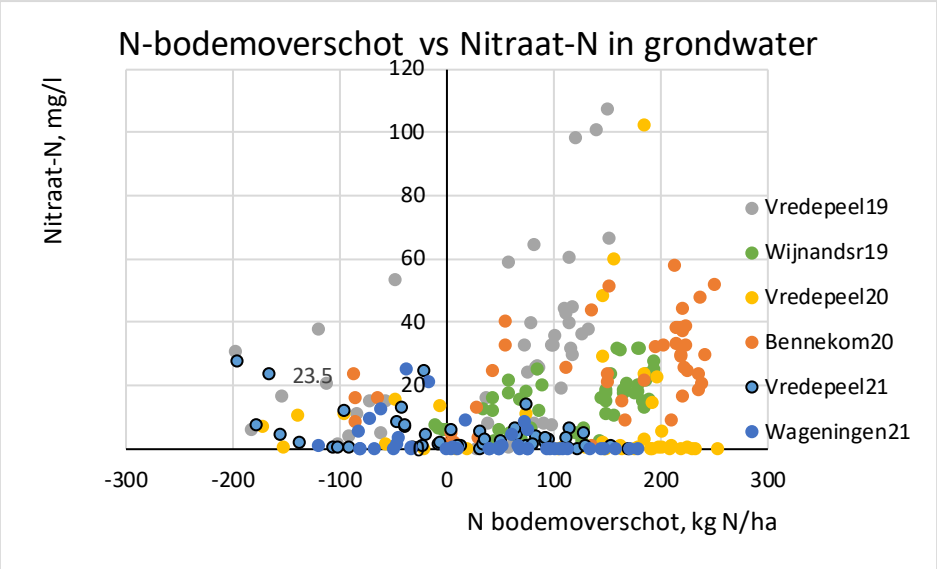
Figuur 3.10 *Nitraat-N in het voorjaar na het proefjaar in drie opeenvolgende jaren op locatie Vredepeel. NB: in 2019 en 2020 andere plek op hetzelfde perceel, 2021 een ander perceel. Norm is 50 mg nitraat/l, 11,3 mg nitraat-N/l. Ter illustratie van de verschillen in niveau tussen de jaren op vergelijkbare locaties.*

3.4 Relatie N-bodemoverschot, Nmineraal-voorraad en nitraat-N in grondwater

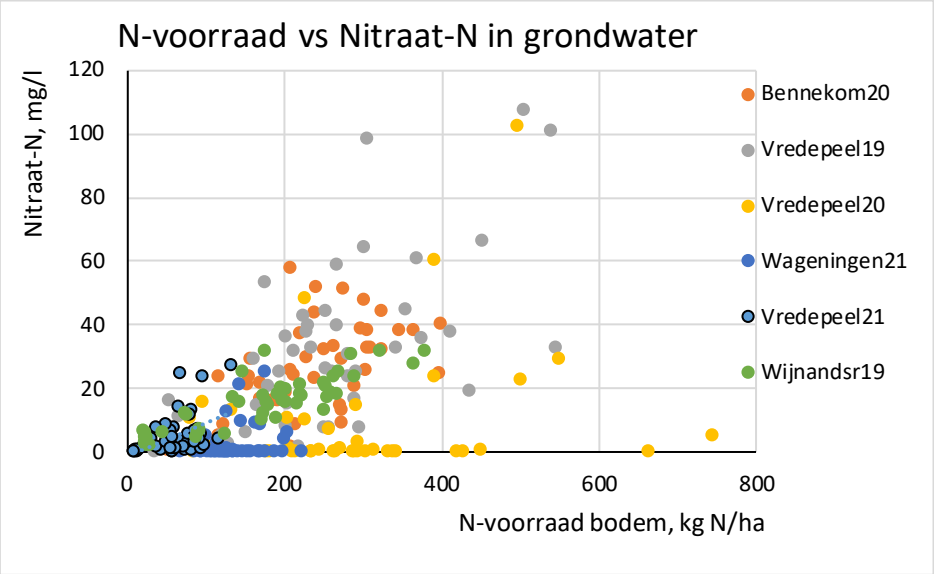
Bij de vaststelling van de gebruiksnormen in Nederland is uitgegaan van een relatie tussen het N-bodemoverschot (aanvoer met bemesting minus afvoer met gewas) en de verliezen van N door uitspoeling. Onder andere in de KringLoopWijzer wordt deze relatie verondersteld (Van Dijk et al., 2023). In de figuren 3.11, 3.12 en 3.13 zijn de relaties tussen het N bodemoverschot, de gemeten Nmineraal-voorraad in de bodem (Nmin) in 0-90 cm en het gemeten nitraat-N gehalte in het bovenste grondwater tegen elkaar uitgezet. De verschillende proeven zijn in verschillende kleuren te onderscheiden.



Figuur 3.11 *Nmineraal-voorraad in bodem (kg Nmin/ha in 0-90 cm) in het najaar versus N bodem-overschot (kg N/ha).*



Figuur 3.12 *Nitraat-N in grondwater (mg N/l) versus N bodem-overschot (kg/ha).*



Figuur 3.13 *Nmineraal-voorraad in bodem (kg Nmin/ha in 0-90 cm) in het najaar versus nitraat-N in grondwater (mg N/l).*

Er lijkt enigszins een verband te zijn tussen de hoogte van het N-bodemoverschot, de Nmineraal-voorraad in de bodem in 0-90 cm en het nitraat_N gehalte in het bovenste grondwater. Per jaar en locatie is dit echter verschillend. Als indicator van hoe sterk het verband is, is de determinatie-coëfficiënt (R^2) opgenomen in tabel 3.6.

Tabel 3.6 *De determinatie-coëfficiënt (R^2) tussen N-bodemoverschot, Nmineraal-voorraad in de bodem in 0-90 cm in het najaar en nitraat-N in bovenste grondwater per proef/jaar combinatie.*

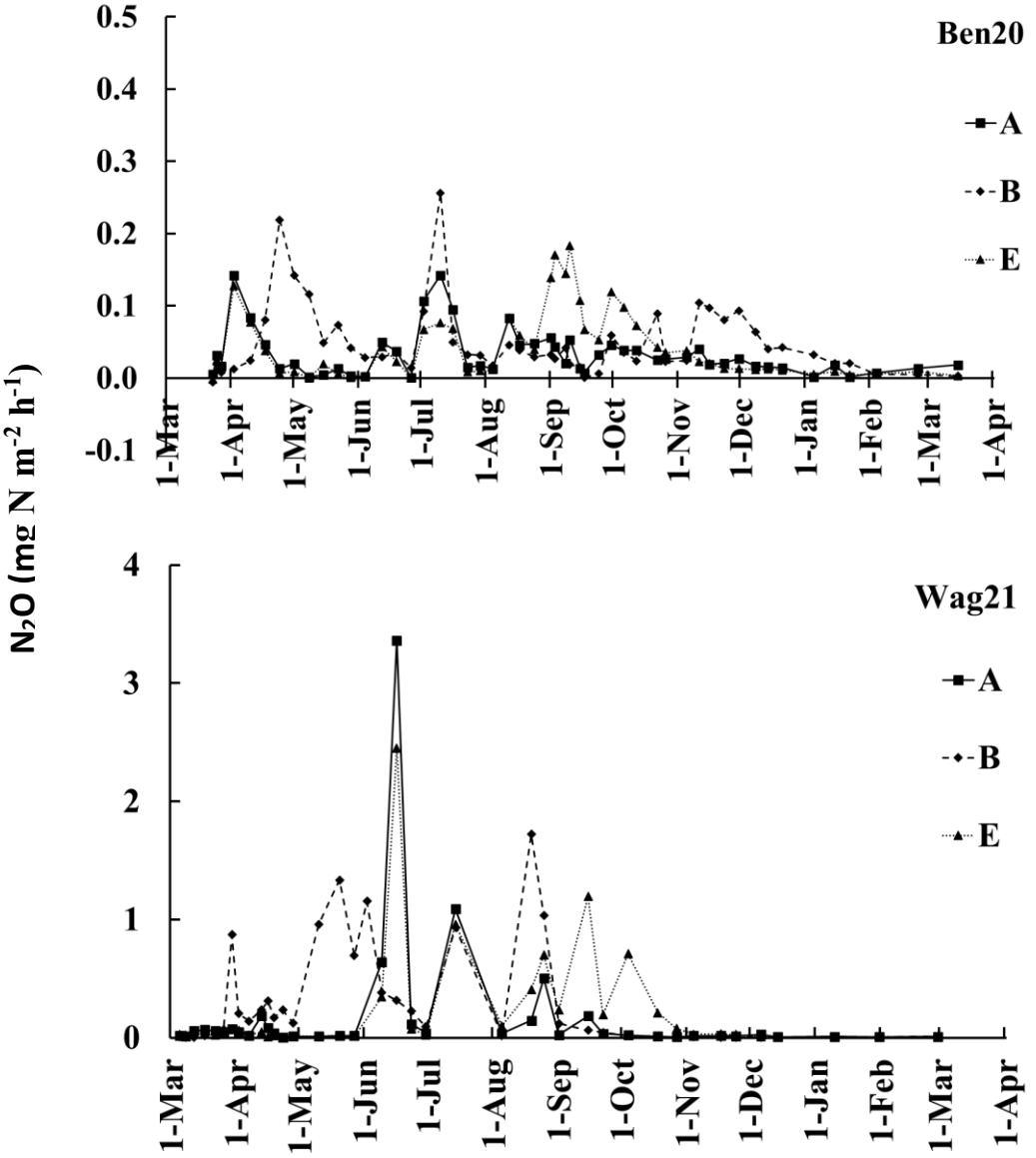
Proef/jaar combinatie	R^2	R^2	R^2
	Nmin-voorraad vs N-bodemoverschot	Nitraat-N grondwater vs N-bodemoverschot	Nitraat-N grondwater vs Nmin-voorraad
Vredepeel19	0.14	0.17	0.44
Wijnandsr19	0.39	0.32	0.74
Vredepeel20	0.23	0.01	0.07
Bennekom20	0.05	0.25	0.34
Vredepeel21	0.00	0.20	0.24
Wageningen21	0.09	0.09	0.06
Alle	0.18	0.07	0.28

De determinatiecoëfficiënten van de drie verbanden zijn vrij laag. Voor de rode cijfers is het verband vrijwel afwezig (0,00-0,17), voor de blauwe cijfers is er een zwak verband (0,20-0,39). Alleen op proef Wijnandsr19 (groen) is er tussen Nmineraal-voorraad en nitraat-N in het grondwater een redelijk verband gevonden (0,74) en zijn de andere twee verbanden het hoogst van alle locaties.

3.5 Lachgas (N_2O)

3.1.1 N_2O- emissies

De lachgasemissie was in Wageningen21 behoorlijk groter met pieken tot 3,60 mg N m^{-2} h^{-1} ten opzichte van pieken tot 0,60 mg N m^{-2} h^{-1} in Bennekom20 (Figuur 3.14). Deze waargenomen pieken kunnen gerelateerd worden aan landbouwmanagement zoals bemesting, het doodspuiten van de zode en ploegen, en worden waargenomen direct na tot een paar weken na de behandeling. De lachgasfluxen zijn vooral waargenomen in het groeiseizoen en in de winter zijn geen pieken gemeten.



Figuur 3.14 *Gemiddelde N_2O flux voor controle (object A), scheuren voorjaar (object B) en scheuren najaar (object E) in Bennekom20 en Wageningen21. Merk op dat de y-assen niet gelijk zijn. De standaard error is in deze grafieken weggelaten vanwege de grote variatie.*

De grote verschillen in N_2O fluxen hebben vervolgens geleid tot grote verschillen in de cumulatieve emissies. De cumulatieve emissies in Bennekom20 variëren van 2,4 tot 4,3 kg N_2O-N/ha en van 15,4 tot 46,0 kg N_2O-N/ha in Wageningen21 (Tabel 3.7). Ondanks deze grote verschillen konden er nauwelijks tot geen significante verschillen aangetoond worden. Dat komt enerzijds door de verschillen in de behandelingen zelf en anderzijds de verschillen per jaar. Echter, een verdiepende analyse van de dagelijkse fluxen geven wel degelijk significante verschillen aan (paragrafen 3.1.2).

De grote verschillen in lachgasfluxen hebben vervolgens ook geleid tot grote verschillen in de yield-scaled N_2O emissies (YSNE). De YSNE variëren van11,7 tot 18,4 g N_2O-N kg N in Ben20 en 45,8 tot 134 g N_2O-N kg N in Wag21. Gemiddeld over de twee jaren zijn nauwelijks significante verschillen aangetoond, behalve voor gereduceerde grondbewerking (object F).

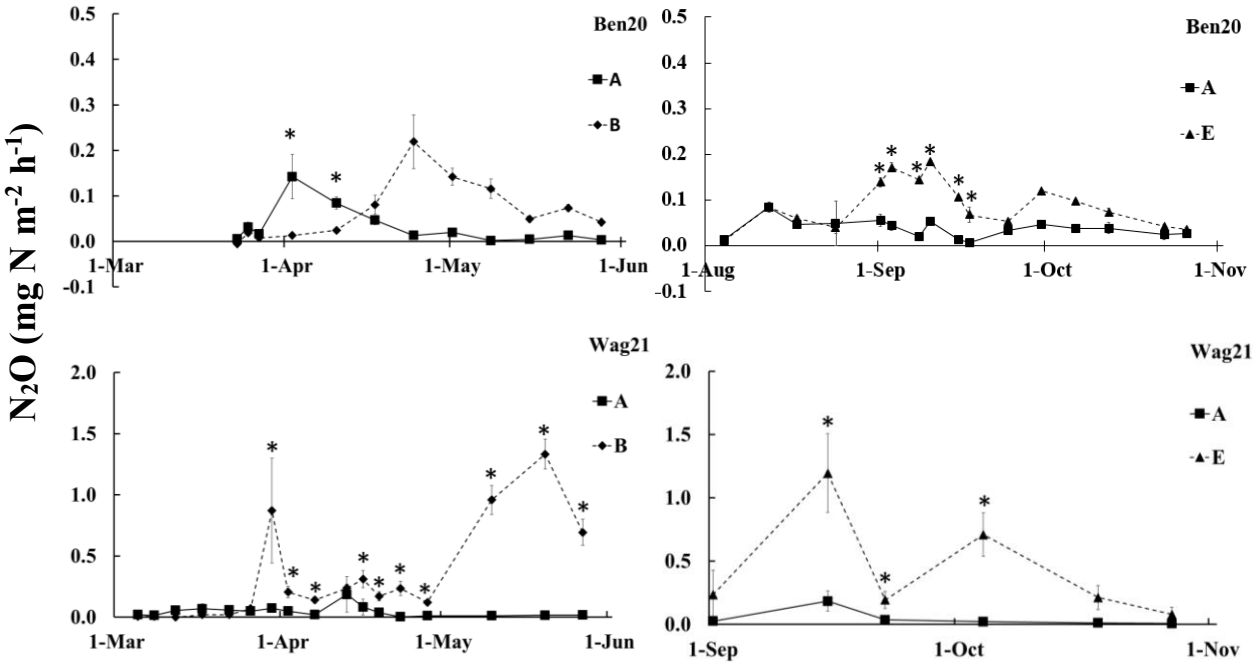
Tabel 3.7 *Gemiddelde jaarlijkse cumulatieve emissie en yield-scaled emissies (YSNE) per locatie (Bennekom20 en Wageningen21) en gemiddeld over twee jaar. Kleine letters duiden een significant verschil aan tussen behandelingen en moeten per kolom bekeken worden. Kolommen zonder letters geven geen significantie tussen behandelingen weer. De getallen tussen haakjes duiden de standaarddeviatie aan (n=4).*

Behandeling					**Gemiddelde**	
	Cumulatieve emissie		**YSNE**		**Cumulatieve emissie**	**YSNE**
	kg N_2O-N/ha		g N_2O-N/kg N		kg N_2O-N/ha	g N_2O-N/kg N
	BEN_20[3]	WAG_21[3]	BEN_20[3]	WAG_21[3]		
A	2.7 (0.3)[ab]	15.4 (7.0)	11.7 (1.0)	45.8 (28)[a]	9.1[a]	28.8[a]
B	4.1 (1.7)[ab]	23.0 (7.2)	18.4 (7.1)	75.1 (21)[abc]	13.6[ab]	46.8[ab]
E	3.1 (0.4)[ab]	19.6 (4.3)	16.5 (3.7)	63.6 (21)[ab]	11.4[ab]	40.1[ab]
F	3.2 (0.5)[ab]	46.0 (9.3)	17.0 (1.8)	134 (42)[c]	24.6[b]	75.5[b]
G	2.4 (0.3)[a]	40.1 (3.9)	12.6 (1.8)	117 (23)[bc]	21.3[ab]	64.8[ab]
K	2.8 (0.5)[ab]	21.3 (8.8)	16.5 (3.3)	72.6 (24)[abc]	12.1[ab]	44.6[ab]
L	3.3 (0.2)[ab]	27.2 (9.1)	17.9 (1.3)	85.7 (34)[abc]	15.2[ab]	51.8[ab]
C	2.8 (0.3)[ab]	34.4 (33)	- -	- -	18.6[ab]	-
D	4.3 (0.8)[b]	33.7 (15)	- -	- -	19.0[ab]	-

3.1.2 Effect van scheuren, grondbewerking en nitrificatieremmer

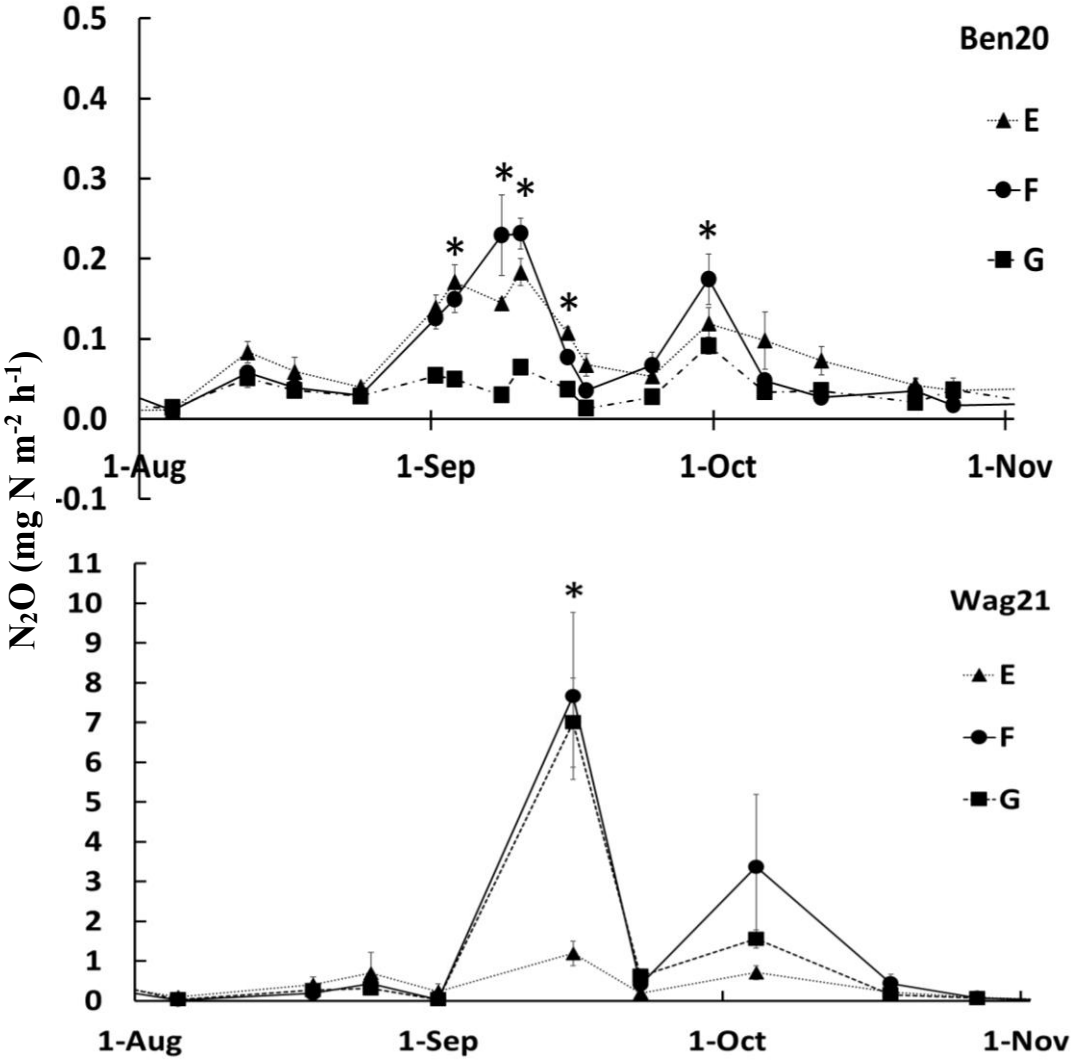
Om het effect van scheuren, grondbewerking en toediening van een nitrificatieremmer op lachgasemissie te onderzoeken is er gekeken naar de specifieke periode vlak vóór en vlak ná de behandeling. Dat is gedaan om het effect van overige management activiteiten (bemesting) weg te filteren, zodat er meer inzicht kan worden verkregen in het effect van elke behandeling.

Het effect van het scheuren in het voorjaar (Figuur 3.15) heeft wel degelijk geleid tot significant hogere fluxen ten opzichte van niet scheuren in zowel Ben20 (doodgespoten en geploegd op 18 en 23 maart respectievelijk, bemest op 16 april) als Wag21 (doodgespoten en geploegd op 18 maart en 15 maart respectievelijk, bemest op 30 april). In de periode tussen het scheuren en bemesten zijn er significante verschillen in lachgasfluxen waargenomen. Hetzelfde geldt voor scheuren in het najaar in Ben20 (doodgespoten en geploegd op 19 augustus maart en 7 september respectievelijk, bemest op 8 september). In Wag21 zijn er ook nog significante verschillen waargenomen, maar daar loopt het effect van scheuren en bemesten door elkaar.



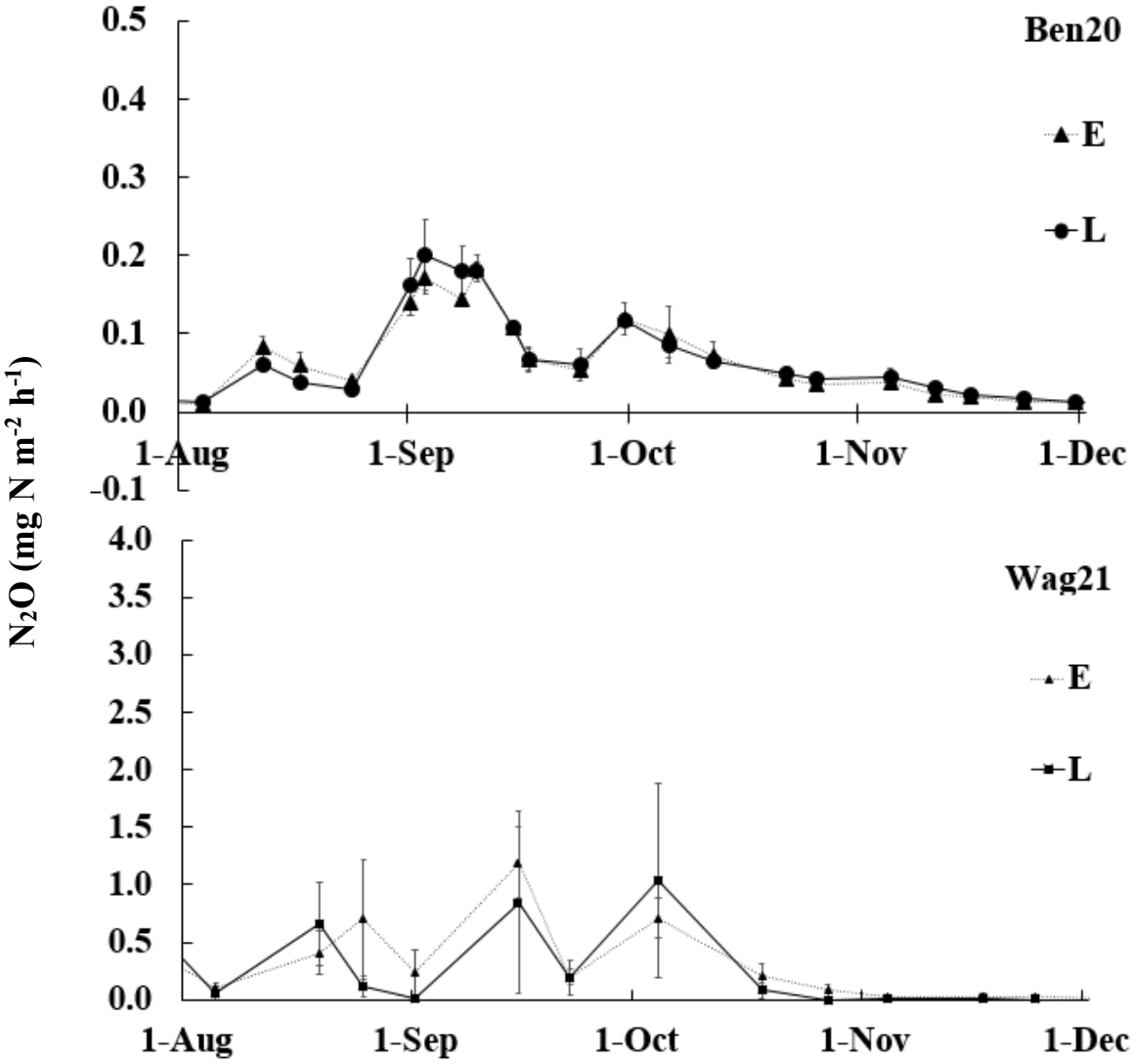
Figuur 3.15 *Gemiddelde N_2O flux (n = 4) voor de controle (object A), scheuren voorjaar (object B) en scheuren najaar (object E) in Ben20 en Wag21 in de periode vlak voor én na het scheuren. In Ben20, Object B is doodgespoten op 18 maart, geploegd op 23 maart en bemest op 16 april. Object E is doodgespoten op 19 augustus, geploegd op 7 september en bemest op 8 september. In Wag21, object B is doodgespoten op 18 maart, geploegd op 15 april en bemest op 30 april. Object E is doodgespoten op 3 september, geploegd op 8 september en bemest op 9 september. Error bars geven de standaardfout aan. Een asterisk duidt een significant verschil aan tussen de dagelijkse fluxen. Merk op dat de y-assen niet gelijk zijn.*

Het effect van verschillende intensiteit in grondbewerkingen op lachgasemissies waren ook significant verschillend, alleen zijn de resultaten niet eenduidig (Figuur 3.16). Zo heeft object G (geen grondbewerking) in Ben20 een significante lagere emissie dan standaard grondbewerking (object E) en gereduceerde grondbewerking (object F). Aan de andere kant heeft object E in Wag21 een significant lagere emissie dan F en G. Wel moet hier opgemerkt worden dat de fluxgrootte tussen beide jaren heel verschillend zijn.



Figuur 3.16 *Gemiddelde N_2O flux (n = 4) voor de grondbewerkingobjecten (E, F en G). In Ben20 is er gescheurd op 19 augustus en zijn er grondbewerkingen gedaan tussen 3 en 7 september. In Wag21 is er gescheurd op 3 september en zijn er grondbewerkingen gedaan op 8 september. Error bars geven de standaardfout aan. Een asterisk duidt een significant verschil aan tussen de dagelijkse fluxen. Merk op dat de y-assen niet gelijk zijn.*

Het effect van het toedienen van een nitrificatieremmer (object L) was niet significant verschillend (Figuur 3.17). De nitrificatieremmer is toegediend op twee momenten in het najaar, maar beide momenten hebben geen significant effect gehad op de lachgasemissie.



Figuur 3.17 *Gemiddelde N_2O flux (n = 4) voor scheuren in augustus (object E) en toediening van een nitrificatieremmer (object L). In Ben20 is een nitrificatieremmer toegediend op 8 september en 29 oktober. In Wag21 is een nitrificatieremmer toegediend op 8 september en 29 oktober oktober. Error bars geven de standaardfout aan. Een asterisk duidt een significant verschil aan tussen de dagelijkse fluxen. Merk op dat de y-assen niet gelijk zijn.*

4 Discussie

De resultaten en conclusies van dit onderzoek zijn wetenschappelijk gepubliceerd in het artikel "Potential measures to reduce nitrate and nitrous oxide losses from renovated grasslands" (van 't Hull et al., 2025). De discussie hieronder is een beknopte versie van de uitgebreide discussie in de wetenschappelijke publicatie.

Het risico op N-uitspoeling in vergelijking met eerder onderzoek

In recent onderzoek naar scheuren en herinzaai van grasland op verschillende tijdstippen (Velthof et al., 2005) bleek dat scheuren en herinzaai in februari tot en met april geen verhoging van het risico op nitraatuitspoeling opleverde ten opzichte van niet scheuren. In dit onderzoek werd echter niet bemest in het jaar van scheuren. Scheuren in augustus en september leidde wel tot een hoger risico op nitraatuitspoeling. Resultaten van modelberekeningen kwamen hiermee overeen (Velthof et al., 2005).

In een andere, driejarige graslandproef zijn effecten van tijdstip en methode van scheuren van grasland op klei- en zandgrond onderzocht (Hoving et al., 2006). Het resultaat van dit onderzoek was dat graslandvernieuwing op zandgrond in het najaar, ook bij alleen doodspuiten en doorzaaien, het risico op nitraatuitspoeling verhoogd ten opzichte van graslandvernieuwing in het voorjaar.

In een derde veldonderzoek (Velthof en Hummelink, 2012) naar scheuren in het voorjaar waren er kleine, niet significante, verschillen in de hoeveelheid minerale N in het najaar tussen de gescheurde objecten. Het onderzoek liet zien dat, ondanks slechte groeiomstandigheden in de periode van herinzaai, het scheuren van grasland in het voorjaar (tot 1 juli) gemiddeld over alle proeven niet leidde tot meer minerale N in de bodem in het najaar en dus niet tot een verhoging van het risico op nitraatuitspoeling.

De waarnemingen in deze proef bevestigen de verwachtingen uit het eerdere onderzoek.

Opbrengst gewas

De gewasopbrengsten waren in de range zoals die in andere proeven ook wordt bereikt. Herinzaai in augustus heeft voor melkveehouders onder andere de voorkeur omdat het missen van de eerste snede een groot opbrengstverlies is. In tabel 3.2 is af te lezen dat het verschil tussen niet scheuren (A) en scheuren in het voorjaar (B) op de proefvelden in droge stofopbrengst ongeveer 33% (3700 kg ds/ha) was en bij scheuren in augustus (E) 20% was (1200 kg ds/ha).

De N-opbrengst, en daarmee de ruw eiwit opbrengst (=N-opbrengst×6,25) was bij scheuren in het voorjaar hoger dan bij scheuren in augustus maar het verschil was kleiner: scheuren in het voorjaar "kostte" 16% N en scheuren in augustus 12% N-opbrengst. Het ruw eiwit-gehalte van het gras was bij scheuren in het voorjaar gemiddeld over het jaar 60 g ruw eiwit per kg ds hoger dan bij scheuren in augustus (229 versus 174 g ruw eiwit per kg droge stof).

Het verschil in opbrengst is in ruw eiwit kleiner dan in droge stof. Hiermee is een belangrijk nadeel van scheuren in het voorjaar kleiner als de opbrengst voor ruw eiwit in beschouwing wordt genomen in plaats van de droge stofopbrengst.

Een deel van het opbrengstverlies door scheuren in het voorjaar zou kunnen worden opgevangen door eerst een seizoen snijmais te telen en in het najaar gras in te zaaien. Herinzaai door scheuren in het voorjaar en vervolgens snijmais inzaaien (C) en na de maisoogst gras inzaaien gaf in de proef een hogere droge stofopbrengst en in de meeste jaren een hogere ruw eiwit opbrengst dan scheuren in augustus. Het risico op een nitraat-N gehalte boven de norm is echter groter dan bij inzaai van gras direct in het voorjaar. Bovendien is de inzaai van grasland na het oogsttijdstip van snijmais mogelijk te laat. Een mogelijkheid is dan om voor een (ultra) vroeg snijmaisras te kiezen. Nadeel is dat (ultra) vroege rassen een lagere opbrengst hebben.

Kortom: als het doel van het scheuren en herinzaai is om het grasland te verbeteren, dan is het risico op opbrengst verlies lastig te vermijden.

Lachgasemissie

De gemiddelde jaarlijkse cumulatieve N_2O emissies zijn niet significant verschillend tussen alle behandelingen in zowel Ben20 als Wag21 (Tabel 3.7). Echter, uit een meer gedetailleerde analyse waarbij er gekeken is naar dagelijkse N_2O fluxen binnen een specifieke periode blijkt toch een ander beeld. Uit deze analyse komt naar voren dat het scheuren van grasland leidt tot tijdelijk significant hogere N_2O fluxen in de eerste weken direct na het scheuren (en vóór het bemesten) ten opzichte van niet scheuren, wat ook in overeenstemming is met verschillende vergelijkbare studies (Buchen et al., 2017; Mori & Hokito, 2007; Velthof et al., 2010). Chemische vernietiging van de zode resulteert in afbraak van het gras en het ploegen leidt tot een betere vermenging van het gras in de bodem en tot meer zuurstof in de bodem. Dit kan leiden tot een verhoogde mineralisatie. Daarnaast werd verwacht dat de N_2O emissies groter waren bij scheuren in het najaar dan scheuren in het voorjaar vanwege de beperkte N opname van het gewas in het najaar onder relatief nattere omstandigheden. De emissies laten echter gelijkwaardige fluxgroottes zien in zowel Ben20 (0.2 mg N m^{-2} h^{-1}) als Wag21 (1.0-1.5 mg N m^{-2} h^{-1}). De totale cumulatieve N_2O emissies verschilden een factor 10 tussen Ben20 (2.4-4.3 kg N_2O-N/ha) en Wag21 (15.4-46.0 N_2O-N/ha). Dat verklaart ook de grote verschillen in de YSNE per locatie. Een vergelijkbaar experiment van Reinsch et al. (2018) rapporteert N_2O emissies tussen de 0-29.1 kg N_2O-N/(ha×jaar). De relatieve verschillen kunnen verklaard worden als gevolg van een relatief lage neerslag in 2020 (Ben20) en relatief hoge neerslag in 2021 (Wag21). De cumulatieve N_2O emissies van de huidige studie zijn grotendeels in dezelfde range als bij Reinsch et al. (2018), alleen zijn er uitschieters bij sommige behandelingen. Deze uitschieters zijn het gevolg van extreem hoge piekemissies met een fluxgrootte tot wel 11.9 mg N m^{-2} h^{-1} op 16 en 23 juni 2021 voor objecten C en D (niet getoond), waarschijnlijk veroorzaakt door een combinatie van een hoge temperatuur en neerslag Voor objecten F en G zijn er pieken waargenomen tot 8.0 mg N m^{-2} h^{-1} op 15 september 2021. In veel studies wordt een nitrificatieremmer toegevoegd aan de meststof en in veel mindere mate direct toegediend aan het gras. De meeste literatuur wijst aan dat de N_2O emissie significant gereduceerd kan worden (Macadam et al., 2003; Huérfano et al., 2016), maar er is ook literatuur waarbij geen significant effect aangetoond kon worden (Baral et al., 2020). In de huidige studie konden ook geen significante verschillen aangetoond worden. Het gereduceerd ploegen zou mogelijk voor meer N_2O emissie kunnen zorgen als gevolg van minder zuurstof in de bodem, wat denitrificatie stimuleert. De huidige literatuur is wisselend over het effect van de intensiteit van ploegen. Er zijn zowel aanwijzingen dat gereduceerd ploegen tot meer N_2O leidt (Ball et al., 2008; Rochette et al., 2008), maar ook dat er geen verschillen zijn (Krol et al., 2016). De huidige studie toont tegenstelde resultaten per proefjaar; in Ben20 leidt niet ploegen tot minder N_2O, terwijl in Wag21 het niet ploegen juist tot hogere emissies leidt.

Invloed van stikstofbodemoverschot op uitspoeling

De uitspoeling van N wordt in een aantal berekeningen geschat op basis van het N-bodemoverschot, dat is N-aanvoer minus N-afvoer, zoals in de KringLoopWijzer voor de melkveehouderij (Van Dijk et al., 2023). Een deel daarvan zou uitspoelingsgevoelig zijn.

In figuur 3.11, 3.12 en 3.13 zijn N-bodemoverschot, N-mineraal in het najaar en de nitraat-N concentratie tegen elkaar uitgezet en de correlatie berekend. De correlaties zijn zwak. Dit wordt veroorzaakt door het kleine aantal waarnemingen en omdat niet alleen de relatie tussen bodemoverschot en N mineraal of nitraat-N concentratie in grondwater van invloed is maar ook de verschillende behandelingen in de proef een grote invloed hebben op het nitraatresidu in de bodem. Het N-bodemoverschot voor de behandelingen met scheuren in augustus met normale N bemesting (objecten E, F, G, L) is in principe gelijk, de verschillen worden veroorzaakt door variantie die altijd optreedt. De bemestingen en oogsten voor scheuren van deze objecten zijn gelijk en in vijf van de zes proeven is er na scheuren in augustus geen oogst meer uitgevoerd. In de objecten met verlaagde N-bemesting voor scheuren van 50 kg/ha (J) en 100 kg/ha (K) zou het bodemoverschot wel bepalend kunnen zijn voor het risico op nitraatuitspoeling. Het nitraat-N gehalte van het grondwater is echter in vier van de zes proeven op het lagere overschot (J) hoger. Dit betekent dat op basis van deze resultaten niet ingeschat kan worden hoe hoog de korting op de N-bemesting zou moeten zijn om onder de norm voor nitraatconcentratie uit te komen bij het scheuren en inzaai van grasland in augustus.

Het is niet bekend door welk mechanisme de nitraat-concentratie op drie objecten met een steeds 50 kg lagere N-bemesting eerst daalt en vervolgens weer stijgt (E: standaard → J: -50 kg N/ha → K: - 100 kg N/ha). De verlaging van de N-bemesting is steeds uitgevoerd door een snede voor scheuren minder te bemesten. Bij de verlaging van 100 kg N kregen de laatste snede voor scheuren geen N-bemesting. Mogelijk is hiervoor verdiepend onderzoek nodig.

5 Conclusies

Conclusies
Uit de waarnemingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- **Eindconclusie:** Scheuren van grasland verhoogt het risico op nitraatuitspoeling en lachgasemissie. Bij scheuren in het voorjaar was het nitraatgehalte in het grondwater in het opvolgende voorjaar onder de norm (11,3 mg nitraat-N). Bij scheuren in augustus was het nitraatgehalte boven de norm. Korting op de N-bemesting van 50 kg N per ha was niet voldoende.
- **Grasland scheuren in voorjaar versus augustus:** Grasland scheuren en inzaaien in augustus gaf een hogere Nmineraal-voorraad in de bodem en hogere nitraatgehalten in het grondwater dan grasland scheuren en inzaaien in het voorjaar. Dit is in overeenstemming met vergelijkbare studies.
- **Grasland scheuren en inzaaien van snijmais** (in het voorjaar) verhoogde de nitraatuitspoeling naar het grondwater in vergelijking met op dat moment gras inzaaien.
- **Grasland scheuren in augustus en maatregelen tegen N-uitspoeling**: Bij scheuren en inzaai in augustus zijn maatregelen om de nitraatuitspoeling onderzocht. Dat waren i) verlaging van de N bemesting voor scheuren met 50 of 100 kg/ha, en ii) toepassing van minder intensieve (niet-kerende) of geen grondbewerking, iii) toepassen van een nitrificatieremmer. De Nmineraal-voorraad in de bodem en nitraat-N concentratie daalden bij i) en ii), maar waren nog steeds hoger dan na scheuren in het voorjaar.
- **Inzaai van snijmais (na scheuren voorjaar) en scheuren grasland in augustus:** er was geen verschil in Nmineraal-voorraad in de bodem (in november/december) tussen inzaai van snijmais en scheuren en inzaai van gras in augustus. Gemiddeld over alle locaties en jaren is de Nmineraal-voorraad bij scheuren in augustus vergelijkbaar als bij inzaai van snijmais (in het voorjaar).
- **Extra grondbewerking na het scheuren** om onkruiddruk te verminderen verhoogt de Nmineraal-voorraad in de bodem en de concentratie nitraat-N in het grondwater sterk.
- **De cumulatieve lachgasemissie** van een heel jaar was niet verschillend tussen de behandelingen, dus ook niet tussen scheuren in het voorjaar en scheuren in augustus.
- **Lachgasemissie over het seizoen:** Scheuren van grasland leidt tot tijdelijke significant hogere lachgasemissies ten opzichte van niet scheuren in de eerste weken direct na het scheuren (en vóór het bemesten). De emissies in het voorjaar zijn vergelijkbaar met de emissies in het najaar. Dit is in overeenstemming met vergelijkbare studies.
- **Het toedienen van een nitrificatieremmer** op de bodem maakte geen verschil voor nitraatuitspoeling of lachgasemissie.
- **Waarnemingen:** De verschillen in concentratie nitraat-N in het grondwater en lachgasemissie zijn minder vaak statistisch significant dan die van de Nmineraal-voorraad door een grotere variantie in de waarnemingen.
- **Opbrengstverlies door scheuren en inzaai gras:** Het verlies van droge stofopbrengst ten opzichte van niet scheuren was bij scheuren en inzaai van gras in het voorjaar circa 30% en in augustus 20%. Het verlies in N opbrengst en daarmee in ruw eiwitopbrengst was bij scheuren in het voorjaar eveneens groter dan bij scheuren in augustus maar het verschil was kleiner dan bij de droge stofopbrengst: circa 12% in voorjaar en 16% in augustus.

Literatuur

Ball, B.C., Crichton, I., Horgan, G.W., 2008. Dynamics of upward and downward $N_2O$and CO_2 fluxes in ploughed or no-tilled soils in relation to water-filled pore space, compaction and crop presence. Soil Tillage Res. 101 (1/2), 20–30.

Baral, K. R., Lærke, P. E., & Petersen, S. O. (2020). Nitrous oxide emissions after renovation of festulolium, and mitigation potential of 3,4-dimethyl pyrazole phosphate (DMPP). *Geoderma*, *376*, 114551. https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2020.114551

Biegemann, T. (2014). Grünlandumbruch Und Neuansaat: Kurz- Und Langfristige Effekte Auf Treibhausgasemissionen Und Ertragsleistungen von Grünlandbeständen. Dissertation. Institut Für Pflanzenbau Und Pflanzenzüchtung, Christian-Albrechts-Universität Zu Kiel (in German).

Buchen, C., Well, R., Helfrich, M., Fuß, R., Kayser, M., Gensior, A., Benke, M., & Flessa, H. (2017). Soil mineral N dynamics and N_2O emissions following grassland renewal. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *246*(June), 325–342. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.013

Hoving, I.E. (ASG), Velthof, G.L. (Alterra) Landbouw- en milieukundige effecten van graslandvernieuwing op zand- en kleigrond (2006) PraktijkRapport Rundvee 83 132 pagina's, 16 figuren, 30 tabellen

Huérfano, X., Fuertes-Mendizábal, T., Fernández-Diez, K., Estavillo, J. M., González-Murua, C., & Menéndez, S. (2016). The new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole succinic (DMPSA) as an alternative to DMPP for reducing N2O emissions from wheat crops under humid Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, *80*, 78–87. https://doi.org/10.1016/J.EJA.2016.07.001

IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

D.J. Krol, M.B. Jones, M. Williams, K.G. Richards, F. Bourdin, G.J. Lanigan. The effect of renovation of long-term temperate grassland on N_2O emissions and N leaching from contrasting soils Sci. Total Environ., 560-561 (2016), pp. 233-240. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.052

Macadam, X.M.B., Prado, A.D., Merino, P., Estavillo, J.M., Pinto, M., González-Murua, C., 2003. Dicyandiamide and 3,4-dimethyl pyrazole phosphate decrease N_2O emissions from grassland but dicyandiamide produces deleterious effects in clover. J. Plant Physiol. 160, 1517–1523. https://doi.org/10.1078/0176-1617-01006

Mori, A., & Hojito, M. (2007). Grassland renovation increases N2O emission from a volcanic grassland soil in Nasu, Japan. *Soil Science & Plant Nutrition*, *53*(6), 812–818. https://doi.org/10.1111/J.1747-0765.2007.00202.X

Reinsch, T., Loges, R., Kluß, C., & Taube, F. (2018b). Renovation and conversion of permanent grass-clover swards to pasture or crops: Effects on annual N_2O emissions in the year after ploughing. *Soil and Tillage Research*, *175*(September 2017), 119–129. https://doi.org/10.1016/j.still.2017.08.009

Rochette, P., Angers, D.A., Chantigny, M.H., Bertrand, N., 2008. Nitrous oxide emissions respond differently to no-till in a loam and a heavy clay soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 72 (5), 1363–1369.

van 't Hull, J., van Middelkoop, J., van Schooten, H., Ros, M., van Groenigen, J. W., & Velthof, G. (2025). Potential measures to reduce nitrate and nitrous oxide losses from renovated grasslands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *384*, 109549. https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2025.109549

Velthof, G. L., Conijn, J. G., Aarts, H. F. M., van der Salm, C., Voogd, J. C. H., Groenendijk, P., & Hoving, I. E. (2005). Effect van tijdstip van scheuren op N-mineralisatie en -uitspoeling. In G. L. Velthof (Ed.), *Randvoorwaarden aan het scheuren van grasland met betrekking tot volggewas, periode en bemesting* (pp. 21-39). (Alterra-rapport; No. 204). https://edepot.wur.nl/39057

Velthof G. L., I. E. Hoving, J. Dolfing, A. Smit, P. J. Kuikman, O. Oenema. (2009)
Method and timing of grassland renovation affects herbage yield, nitrate leaching, and nitrous oxide emission in intensively managed grasslands

Velthof, G. L., Hoving, I. E., Dolfing, J., Smit, A., Kuikman, P. J., & Oenema, O. (2010). Method and timing of grassland renovation affects herbage yield, nitrate leaching, and nitrous oxide emission in intensively managed grasslands. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *86*(3), 401–412. https://doi.org/10.1007/S10705-009-9302-7

Velthof, G.L. en E. Hummelink, 2012. Risico op nitraatuitspoeling bij scheuren van grasland in het voorjaar. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2292. 34 blz.

Van Dijk, W., J.A. de Boer, R.L.M. Schils, M.H.A. de Haan, P. Mostert, J. Oenema & J. Verloop, 2023. Rekenregels van de KringloopWijzer 2023; Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2022-versie. Wageningen Research, Rapport WPR-1279. 173 blz.; 10 fig.; 56 tab.; 103 ref. (https://edepot.wur.nl/643089)

Bijlage 1 Datum bemonstering en oogst

Tabel B1.1 *Datum van bemonstering Nmineraal-voorraad in de bodem en nitraat-N in het grondwater.*

Proef-nummer	Jaar	N voorraad periode					NO_3 in grondwater	
		Voorjaar	Zomer	Najaar	Winter	Voorjaar	Voorjaar	
Vredepeel	2019	16-5-2019	31-7-2019	7-10-2019	20-11-2019		19-2-2020	11-3-2020
Wijnandsr	2019	6-5-2019	13-8-2019	15-10-2019	26-11-2019	15-1-2020	19-1-2020	-
Vredepeel	2020	24-5-2020	3-8-2020	29-9-2020	9-11-2020	15-2-2021	15-2-2021	9-3-2021
Bennekom	2020	9-6-2020	27-7-2020	15-10-2020	3-12-2020	26-2-2021	8-2-2021	5-3-2021
Vredepeel	2021	30-6-2021	13-7-2021	28-10-2021	25-11-2021	7-3-2022	8-3-2022	-
Wageningen	2021	13-7-2021	19-8-2021		19-11-2021		4-3-2022	16-3-2022

Tabel B1.2 *Oogstdata van gras en mais.*

Proef-nummer	Jaar	Snede gras						Mais oogst
		1	2	3	4	5	6	
Vredepeel	2019	13-5-2019	17-6-2019	30-7-2019	20-8-2019	14-10-2019		16-9-2021
Wijnandsr	2019	6-5-2019	6-6-2019	23-7-2019	22-8-2019	22-10-2019		17-9-2019
Vredepeel	2020	8-5-2020	22-6-2020	30-7-2020	21-9-2020	20-10-2020	2-12-2020	21-9-2020
Bennekom	2020	7-5-2020	23-6-2020	22-7-2020	13-10-2020			18-9-2020
Vredepeel	2021	27-5-2021	12-7-2021	11-8-2021	2-9-2021	27-10-2021	24-11-2021	5-10-2021
Wageningen	2021	1-6-2021	7-7-2021	11-8-2021	20-7-2021	10-11-2021		20-9-2021

Tabel B1.3 *Oogsten per behandeling.*

Object	Snede gras						Mais oogst
	1	2	3	4	5	6	
A	X	X	X	X	X*	X**	
B		X	X	X	X*	X**	
C							X
D	X						X
E	X	X	X	X***		X****	
F	X	X	X	X***		X****	
G	X	X	X	X***		X****	
H	X	X	X			X****	
J	X	X	X	X***		X****	
K	X	X	X	X***		X****	
L	X	X	X	X***		X****	
M	X	X	X	X			
D-WR1341		X	X	X	x		

x*: niet op Bennekom20; x**: alleen op Vredepeel20 en Vredepeel21; x***: niet op Bennekom20 en Vredepeel20; x****: alleen op Vredepeel21

Bijlage 2 Bemesting datum en dosering, opbrengsten gewas en stikstofoverschot

Tabel B2.1 *Geplande en uitgevoerde bemesting met runderdrijfmest per behandeling, m^3 per ha, voor aangeduide snede gras en mais.*

Object	Gift in m^3/ha per snede			Mais	Totaal
	1	2	3		
A	25	20	-		45
B	-	-	20		20
C	-	-	-	15	15
D	25	-	-	15	40
E t/m M	25	20	-		45
D-löss	-	-	20		20

Tabel B2.2 *Datum toediening drijfmest per behandeling, voor aangeduide snede gras en mais.*

Proefnummer	Object	Snede gras			Mais
		1	2	3	
Vredepeel19	A	28-2	20-5	-	
	B	-	-	9-6	
	C	-	-	-	2-4
	D	28-2	-	-	20-5
	E t/m M	28-2	20-5	-	
Wijnandsr19	A	20-2	8-5	-	
	B	-	-	11-6	
	C	-	-	-	18-4
	D-löss	-	-	11-6	
	E t/m M	20-2	8-5	-	
Vredepeel20	A	7-4	11-5	-	
	B	-	-	29-6	
	C	-	-	-	7-4
	D	7-4	-	-	11-5
	E t/m M	7-4	11-5	-	
Bennekom20	A	23-3	14-5	-	
	B	-	-	29-6	
	C	-	-	-	16-4
	D	23-3	-	-	14-5
	E t/m M	23-3	14-5	-	
Vredepeel21	A	24-3	1-6	-	
	B	-	-	19-7	
	C	-	-	-	24-3
	D	24-3	-	-	1-6
	E t/m M	24-3	1-6	-	
Wageningen21	A	23-3	7-6	-	
	B	-	-	7-7 geschat	
	C	-	-	-	4-5
	D	23-3	-	-	10
	E t/m M	23-3	7-6	-	

Tabel B2.3 *Analyses drijfmest, kg per m$^{3.}$*

Proefnummer	Mestcode	ds	ras	os	Ntot	NNH_4	Norg	P_2O_5	K_2O
Vredepeel19	objC	69	14	55	3.6	2.2	1.4	1.2	4.0
Vredepeel19	sn1	69	15	54	4.2	2.3	1.9	1.2	4.3
Vredepeel19	sn2	49	14	35	2.9	1.8	1.1	0.9	5.2
Vredepeel19	sn3	79	18	61	5.0	2.3	2.7	1.7	4.5
Vredepeel19	vooraf	72	15	57	4.3	2.4	1.9	1.4	4.6
Wijnandsr19	objC	89	25	64	4.3	2.3	2.0	1.6	7.1
Wijnandsr19	sn1	63	18	45	3.9	1.9	2.0	1.1	6.6
Wijnandsr19	sn2	62	18	44	3.6	1.8	1.8	1.1	4.6
Wijnandsr19	sn3	37	10	27	2.0	1.0	1.0	0.7	3.0
Vredepeel20	sn1/objC	64	13	51	3.8	2.2	1.6	1.2	4.7
Vredepeel20	sn2	85	21	64	4.8	2.4	2.4	2.2	4.3
Vredepeel20	sn3	80	17	63	4.3	2.2	2.1	1.7	4.5
Bennekom20	objC	57	17	40	3.6	1.9	1.7	1.3	5.4
Bennekom20	sn1	66	18	48	4.1	1.9	2.2	1.6	6.7
Bennekom20	sn2	75	22	53	4.1	1.7	2.4	1.6	6.7
Bennekom20	sn3	53	14	39	3.7	1.9	1.8	1.3	4.9
Vredepeel21	sn1/objC	83	17	66	4.4	2.1	2.3	1.9	4.5
Vredepeel21	sn2	90	17	73	4.9	2.4	2.5	1.6	4.7
Vredepeel21	sn3	85	17	68	4.5	2.2	2.3	1.5	4.7
Wageningen$_{21}$	sn1/objC	74	19	55	4.5	2.0	2.5	1.4	6.1
Wageningen$_{21}$	sn2	-	-	-	3.6	-	-	1.7	5.3
Wageningen$_{21}$	sn3	64	16	48	3.9	1.8	2.1	1.2	5.2

Tabel B2.4 *Geplande bemesting met kunstmest N per behandeling, kg per ha, voor aangeduide snede gras en mais.*

Object	Snede gras						Mais	Totaal
	1	2	3	4	5	6		
A	80	45	50*	25	15***	0		215
B		30	50**	50	25***	0		155
C							30	30
D	80						30	110
E t/m H, L	80	45	50*	25	30	0		230
J	80	45	50*	0	0			175
K	80	45	0	0	0	0		125
M	80	45	60	25	30	0		240
D-löss	0	30	70	50	25	0		175

*Op Vredepeel19 60 kg N/ha **Op Vredepeel19 60 kg N/ha, op Wijnandsrade19 70 kg N/ha ***Niet op Bennekom20

Tabel B2.5 *Datum bemesting met kunstmest N per behandeling, voor aangeduide snede gras en mais.*

Proefnummer	Object	Snede gras					Mais
		1	2	3	4	5**	
Vredepeel19	gras	25-3	20-5	9-6	1-8	6-9	
	B		12-4	9-6	1-8	6-9	
	C						19-4
	D	25-3					21-5
Wijnandsr19	gras	27-3	15-5	18-6	31-7	27-8	
	B		11-4	21-6	31-7	27-8	
	C						10-4
	D-löss		11-4	21-6	31-7	27-8	
Vredepeel20	gras	27-3	11-5	24-6	5-8	21-9	
	B		24-4	24-6	5-8	21-9	
	C						24-4
	D	27-3					21-5
Bennekom 20	gras	23-3	20-5	30-6	28-7	8-9	
	B		16-4	30-6	28-7	8-9	
	C						16-4
	D	23-3					15-5
Vredepeel21	gras	24-3	8-6	19-7	11-8	9-9	
	B		27-4	19-7	11-8	9-9	
	C						28-4
	D	24-3					2-6
Wageningen 21	gras	29-3	7-5	7-7*	12-8*	2-9	
	B		30-4	7-7*	12-8*	2-9	
	C						7-5
	D	29-3					10-6

*geschat tijdstip op basis van oogst vorige snede ** Alleen op A en B

Tabel B2.6 *Totale stikstofaanvoer met bemesting per object en locatie, kg N per ha.*

Code	2019		2020		2021		Gemiddeld
	Vredepeel19	Wijnandsr19	Vredepeel20	Bennekom20	Vredepeel21	Wageningen21	
A	388	385	405	382	422	398	397
B	265	215	241	204	245	234	234
C	84	95	87	84	96	97	91
D	259		277	272	292	275	276
E	403	400	420	412	437	413	409
F	403	400	420	412	437	413	409
G	403	400	420	412	437	413	409
H	403	400	420	412	437	413	409
J	348	345	365	357	382	358	351
K	288	295	315	307	332	308	308
L	403	400	420	412	437	413	409
M	403	400					387
D-löss		215					215

Tabel B2.7 *Werkzame stikstof bemesting per object en locatie, kg N per ha.*

Code	2019		2020		2021		Gemiddeld
	Vredepeel19	Wijnandsr19	Vredepeel20	Bennekom20	Vredepeel21	Wageningen21	
A	315	300	316	286	318	305	307
B	213	195	199	168	200	193	195
C	66	69	66	62	67	66	66
D	159		204	191	205	195	200
E	330	315	331	316	333	320	324
F	330	315	331	316	333	320	324
G	330	315	331	316	333	320	324
H	330	315	331	316	333	320	324
J	275	260	276	261	278	265	269
K	215	210	226	211	228	215	217
L	330	315	331	316	333	320	324
M	330	315					322
D-löss		195					195

Berekening N werkzaam voor gras: 0,81 * Nmin in drijfmest + 0,20 * Norg in drijfmest + N kunstmest
N werkzaam voor mais: 0,95 * Nmin in drijfmest + 0,20 * Norg in drijfmest + N kunstmest
(uit www.bemestingsadvies.nl).

Tabel B2.8 *Droge stofopbrengst per object en locatie, kg ds per ha.*

Code	2019		2020		2021		Gemiddeld
	Vredepeel19	Wijnandsr19	Vredepeel20	Bennekom20	Vredepeel21	Wageningen21	
A	11810	8935	9414	7469	14822	14188	11106
B	7537	4316	6852	5505	11146	9293	7441
C	20695	12027	18653	11490	20930	16638	16739
D	25437		19392	11709	24218	14993	19150
E	10463	8145	7620	6788	13657	12982	9942
F	10298	8260	7844	6599	14371	13048	10070
G	9551	8341	7662	6593	13888	13452	9914
H	9167	7871	7860	6843	13788	11653	9530
J	9653	8349	7720	6157	13270	12927	9679
K	9115	7952	6807	6389	13551	12578	9399
L	10216	8904	7941	6131	14260	13182	10106
M	9729	8643					9186
D-löss		4289					4289

Tabel B2.9 *Stikstof opbrengst per object en locatie, kg totaal N per ha.*

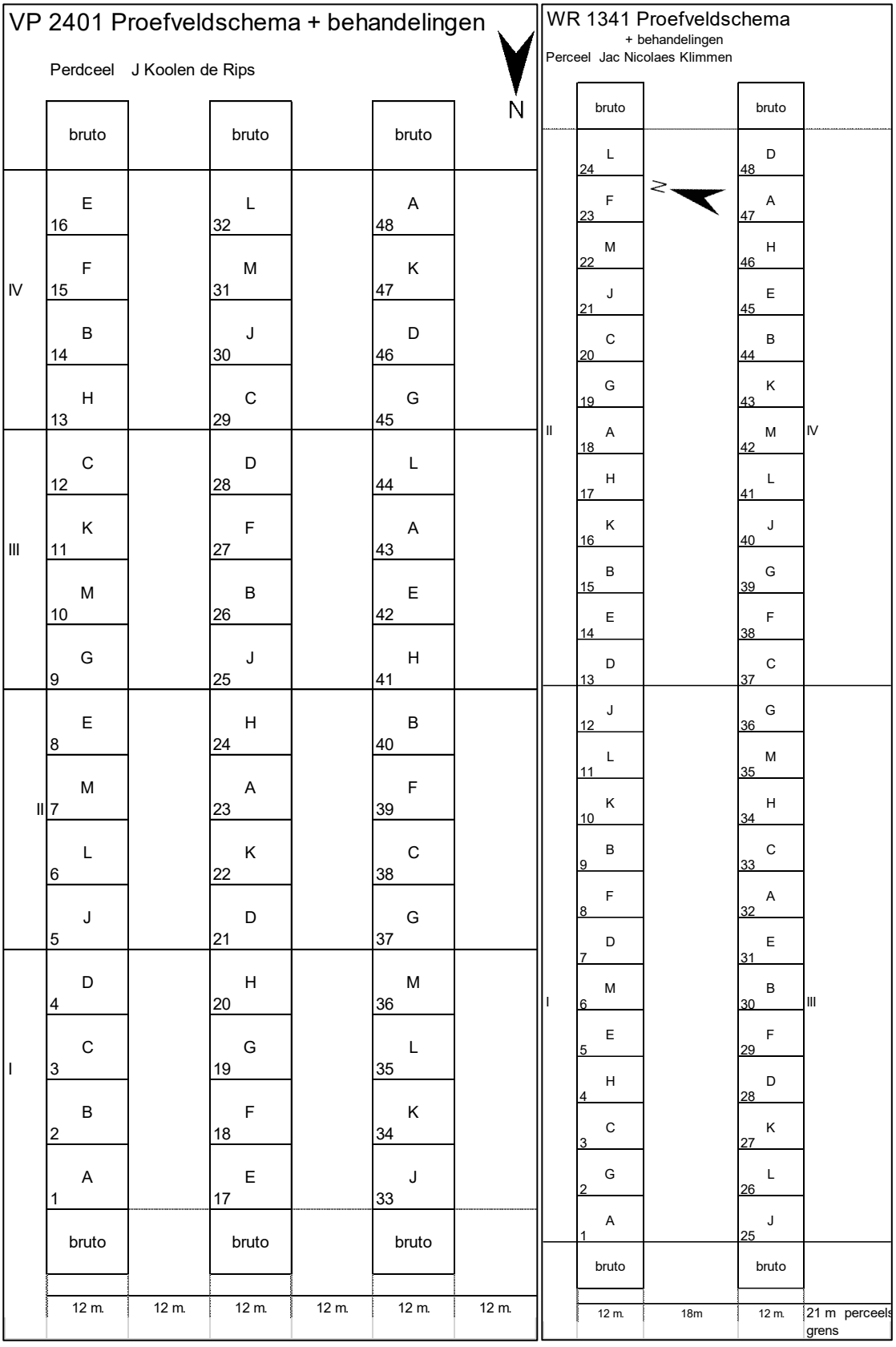
Code	2019		2020		2021		Gemiddeld
	Vredepeel19	Wijnandsr19	Vredepeel20	Bennekom20	Vredepeel21	Wageningen21	
A	327	255	291	229	376	378	309
B	317	165	272	219	355	302	272
C	248	100	233	164	270	151	194
D	350		295	220	330	234	286
E	275	219	220	190	330	326	260
F	276	233	223	187	379	358	276
G	261	229	207	187	348	353	264
H	236	215	222	189	366	292	253
J	244	230	210	169	348	329	255
K	224	219	180	170	347	294	239
L	286	248	223	184	385	331	276
M	264	234					249
D-löss		155					155

Tabel B2.10 *Stikstof bodemoverschot per object en locatie, kg N per ha.*

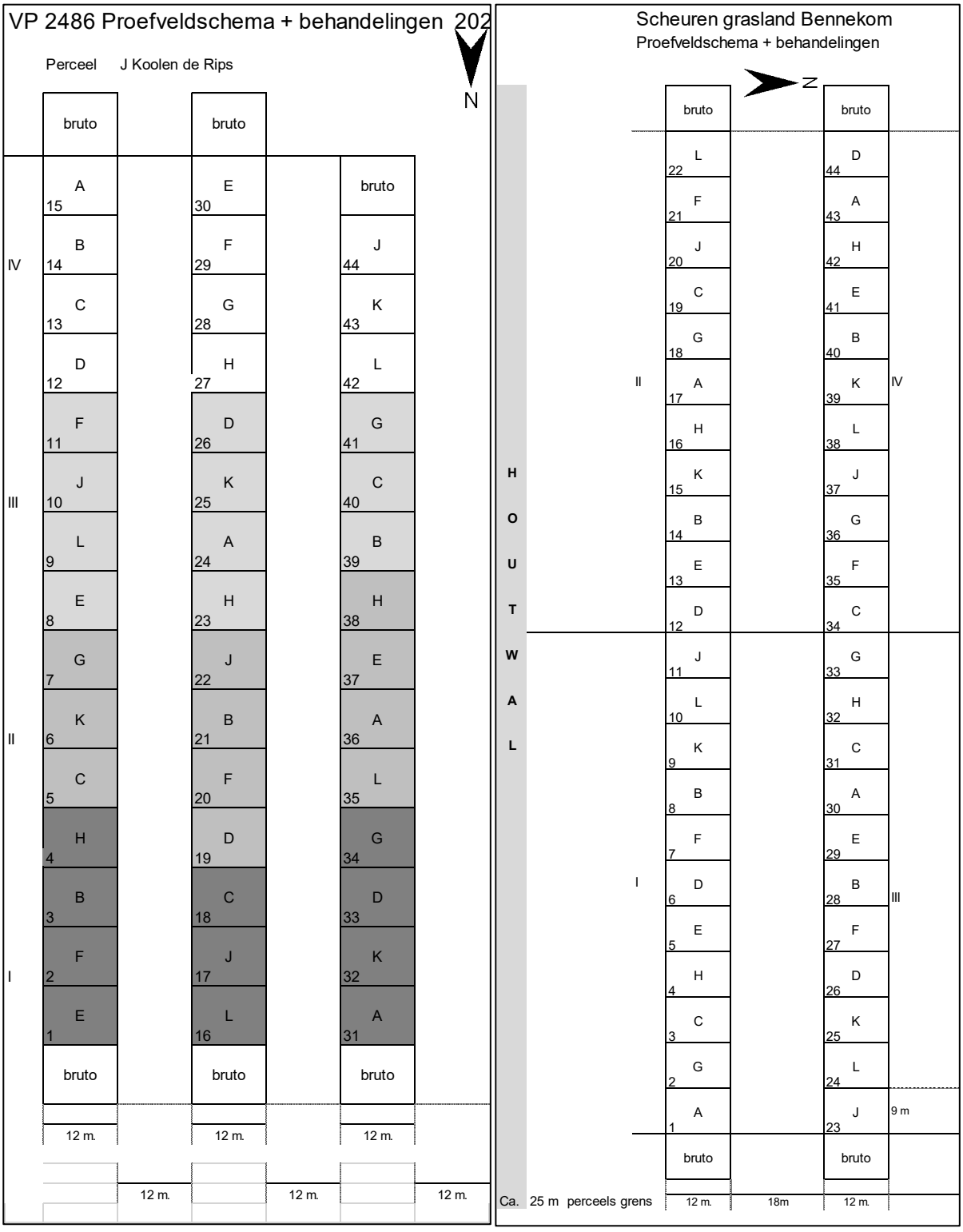
Code	2019		2020		2021		Gemiddeld
	Vredepeel19	Wijnandsr19	Vredepeel20	Bennekom20	Vredepeel21	Wageningen21	
A	62	130	115	154	46	20	88
B	-52	50	-31	-15	-109	-69	-38
C	-164	-5	-145	-80	-174	-54	-104
D	-91		-19	52	-37	41	-11
E	128	181	200	223	107	87	154
F	127	167	197	225	57	55	138
G	142	171	213	225	89	60	150
H	168	185	198	223	71	122	161
J	104	115	155	189	34	29	104
K	65	76	135	138	-16	14	69
L	117	152	197	229	51	82	138
M	139	166					152
D-löss		60					60

Bijlage 3 Proefveldschema's

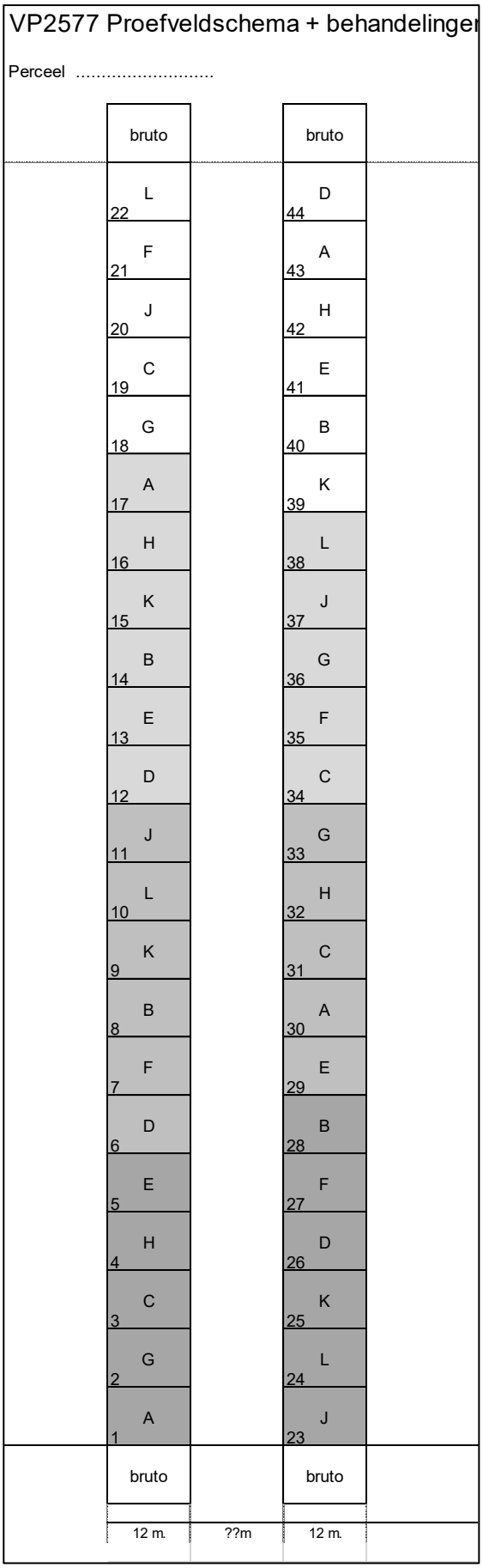
2019

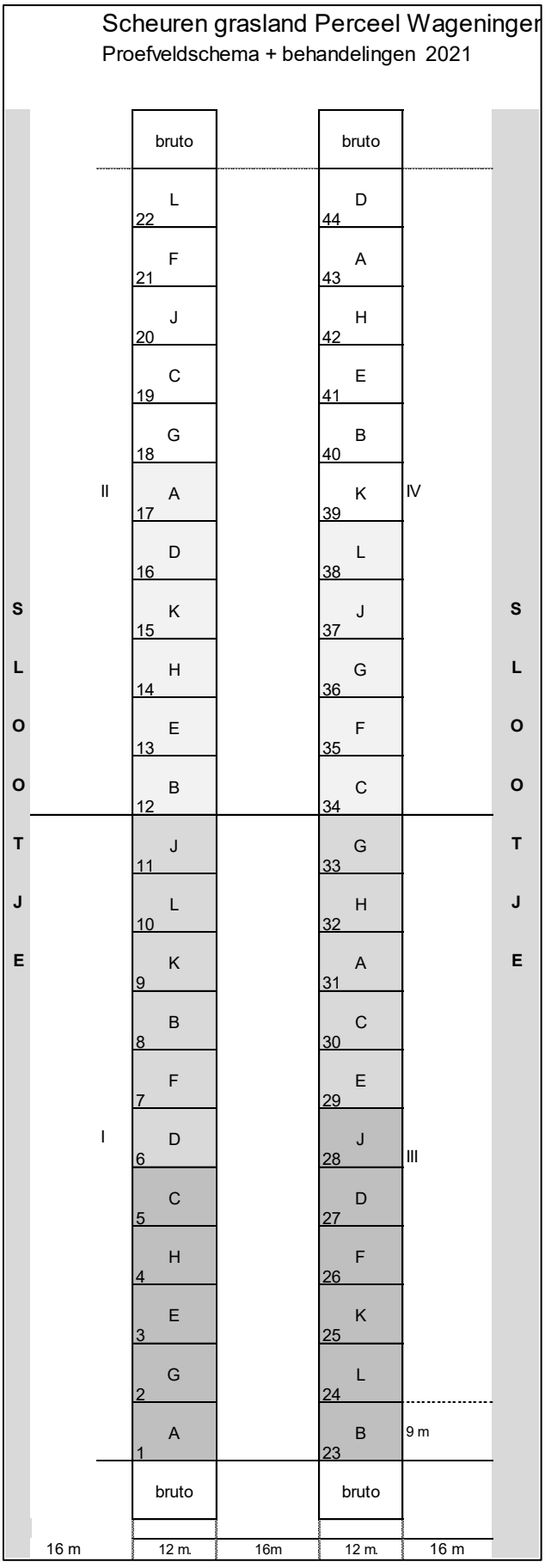


2020


VP 2486 Proefveldschema + behandelingen 202
Perceel J Koolen de Rips
N
bruto
bruto
bruto
A 15
B 14
C 13
D 12
F 11
J 10
L 9
E 8
G 7
K 6
C 5
H 4
B 3
F 2
E 1
E 30
F 29
G 28
H 27
D 26
K 25
A 24
H 23
J 22
B 21
F 20
D 19
C 18
J 17
L 16
J 44
K 43
L 42
G 41
C 40
B 39
H 38
E 37
A 36
L 35
G 34
D 33
K 32
A 31
bruto
bruto
bruto
12 m.
12 m.
12 m.
12 m.
12 m.
12 m.
IV
III
II
I
Scheuren grasland Bennekom
Proefveldschema + behandelingen
N
bruto
bruto
L 22
F 21
J 20
C 19
G 18
A 17
H 16
K 15
B 14
E 13
D 12
D 44
A 43
H 42
E 41
B 40
K 39
L 38
J 37
G 36
F 35
C 34
J 11
L 10
K 9
B 8
F 7
D 6
E 5
H 4
C 3
G 2
A 1
G 33
H 32
C 31
A 30
E 29
B 28
F 27
D 26
K 25
L 24
J 23
bruto
bruto
12 m.
18m
12 m.
9 m
II
IV
I
III
HOUTWAL
Ca. 25 m perceels grens

2021


VP2577 Proefveldschema + behandelinger
Perceel .....
bruto
bruto
L 22
F 21
J 20
C 19
G 18
A 17
H 16
K 15
B 14
E 13
D 12
J 11
L 10
K 9
B 8
F 7
D 6
E 5
H 4
C 3
G 2
A 1
D 44
A 43
H 42
E 41
B 40
K 39
L 38
J 37
G 36
F 35
C 34
G 33
H 32
C 31
A 30
E 29
B 28
F 27
D 26
K 25
L 24
J 23
bruto
bruto
12 m.
??m
12 m.


Scheuren grasland Perceel Wageninger
Proefveldschema + behandelingen 2021
bruto
bruto
L 22
F 21
J 20
C 19
G 18
A 17
D 16
K 15
H 14
E 13
B 12
J 11
L 10
K 9
B 8
F 7
D 6
C 5
H 4
E 3
G 2
A 1
D 44
A 43
H 42
E 41
B 40
K 39
L 38
J 37
G 36
F 35
C 34
G 33
H 32
A 31
C 30
E 29
J 28
D 27
F 26
K 25
L 24
B 23
bruto
bruto
II
IV
I
III
9 m
S L O O T J E
S L O O T J E
16 m
12 m.
16m
12 m.
16 m

Bijlage 4 Draaiboek en uitgevoerde bewerkingen op proefvelden

Draaiboek voor proefvelden

Draaiboek teeltmaatregelen

					Uitvoering proef				
	Behandeling	**Feb**	**Maart**	**april**	**mei**	**juni**	**juli**	**aug**	**sept**	**okt**
A	**Niet scheuren (ref 0)**		Drijfmest 25 m3 Kunstmest 80N		Maaien Drijfmest 20m3 Kunstmest 45N	Maaien Kunstmest 50N	Maaien Kunstmest 25N	Maaien Kunstmest 15N		Maaien
B	**Scheuren voorjaar + herinzaai (ref 1)**		Doodspuiten	Frezen+ploegen Gras inzaaien Kunstmest 30N	Lichte snede maaien	Maaien Drijfmest 20m3 Kunstmest 50N	Maaien Kunstmest 50 N	Maaien Kunstmest 25N		Maaien
C	**Scheuren voorjaar + maisteelt (ref 2)**		Doodspuiten	Frezen+ploegen Drijfmest 15m3 Mais inzaaien (middenvr. ras, bv Torres) + 30N rij Aanv. 100 kg K2O		Onkruid bestr. Onderzaai				Oogst
D	**Scheuren na 1e snede + maisteelt**		Drijfmest 25 m3 Kunstmest 80N		Maaien Doodspuiten Frezen+ploegen Drijfmest 15 m3 Mais inzaaien (zeer vr. ras, bv LG31.211) + 30N rij Aanv. 100 kg K2O	Onkruid bestr. Onderzaai				Oogst
E	**Scheuren eind augustus+ herinzaai standaard**		Drijfmest 25 m3 Kunstmest 80N		Maaien Drijfmest 20 m3 Kunstmest 45N	Maaien Kunstmest 50 N	Maaien Kunstmest 25N	Maaien Doodspuiten (3e wk aug) Frezen + ploegen	Gras inzaaien (voor 10e) Kunstmest 30N	Lichte snede maaien
F	**Scheuren eind augustus + herinzaai, beperkte grondbew**		Drijfmest 25 m3 Kunstmest 80N		Maaien Drijfmest 20 m3 Kunstmest 45N	Maaien Kunstmest 50 N	Maaien Kunstmest 25N	Maaien Doodspuiten (3e wk aug) Frezen **+ woelen**	Gras inzaaien (voor 10e) Kunstmest 30N	Lichte snede maaien
G	**Scheuren eind augustus + herizaai, zonder grondbewerking**		Drijfmest 25 m3 Kunstmest 80N		Maaien Drijfmest 20 m3 Kunstmest 45N	Maaien Kunstmest 50 N	Maaien Kunstmest 25N	Maaien Doodspuiten (3e wk aug)	**Gras doorzaaien** (voor 10e) Kunstmest 30N	Lichte snede maaien
H	**Scheuren begin augustus + herinzaai, mech kweekbestr**		Drijfmest 25 m3 Kunstmest 80N		Maaien Drijfmest 20 m3 Kunstmest 45N	Maaien Kunstmest 50 N	Maaien Kunstmest 25N	Lichte snede maaien ? **Begin aug** frezen+ **Mech onkr bestr herhalen** Ploegen	Gras inzaaien (voor 10e) Kunstmest 30N	Lichte snede maaien
J	**Scheuren eind augustus + herinzaai, gered. bemesting -50N**		Drijfmest 25 m3 Kunstmest 80N		Maaien Drijfmest 20 m3 Kunstmest 45N	Maaien Kunstmest 50 N	Maaien **Geen kunstmest**	Maaien Doodspuiten (3e wk aug) Frezen + Ploegen	Gras inzaaien (voor 10e) **Geen kunstmest**	Lichte snede maaien
K	**Scheuren eind augustus + herinzaai, gered. bemesting -100N**		Drijfmest 25 m3 Kunstmest 80N		Maaien Drijfmest 20 m3 Kunstmest 45N	Maaien **Geen kunstmest**	Maaien **Geen kunstmest**	Maaien Doodspuiten (3e wk aug) Frezen + ploegen	Gras inzaaien (voor 10e) **Geen kunstmest**	Lichte snede maaien
L	**Scheuren eind augustus + herinzaai, nitrificatie remmer**		Drijfmest 25 m3 Kunstmest 80N		Maaien Drijfmest 20 m3 Kunstmest 45N	Maaien Kunstmest 50 N	Maaien Kunstmest 25N	Maaien Doodspuiten (3e wk aug) Frezen + ploegen	**1e besp: 3 l/ha nitr. remmer vlak voor zaaien** Gras inzaaien (voor 10e) Kunstmest 30N **2e besp: eind okt (afh van bodemtemp iom Guus Bergmans)**	Lichte snede maaien

Draaiboek M object alleen in 2019

	Behandeling	**Feb**	**Maart**	**april**	**mei**	**juni**	**juli**	**aug**	**sept**	**okt**
M	**Scheuren eind augustus + herinzaai, kruidenmengsel**		Drijfmest 25 m3 Kunstmest 80N		Maaien Drijfmest 20 m3 Kunstmest 45N	Maaien Kunstmest 50 N	Maaien Kunstmest 25N	Maaien Doodspuiten (3e wk aug) Frezen + ploegen	**Gras+kruidenmengsel** inzaaien (voor 10e) Kunstmest 30N	Lichte snede maaien

Ingezaaid: 35 kg/ha graszaad, 6 kg/ha kruidenmengsel: 25% cichorei, 25% smalle weegbree, 25% duizendblad, 12,5% espacette, 12,5% karwij.

Draaiboek D-löss object alleen op löss 2019

	Behandeling	**Feb**	**Maart**	**april**	**mei**	**juni**	**juli**	**aug**	**sept**	**okt**
D	**Scheuren voorjaar + herinzaai, zonder grondbewerking**		Doodspuiten	**Gras doorzaaien** Kunstmest 30N	Lichte snede maaien	Maaien Drijfmest 20m3 Kunstmest 50N	Maaien Kunstmest 50 N	Maaien Kunstmest 25N		Oogst

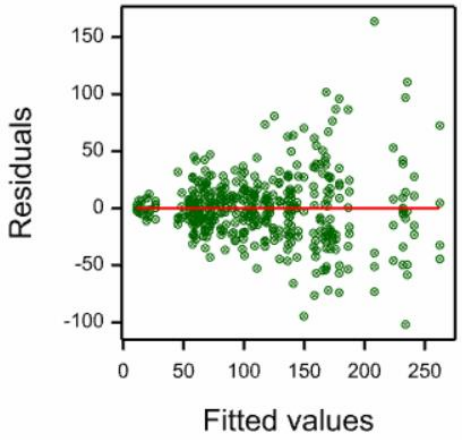
Tabel B4.1 *Datum en soorten grondbewerkingen voor vernietiging van zode en inzaai van gras, mais en vanggewas in voorjaar en augustus.*

Objecten	Bewerking	2019		2020		2021	
		Vredepeel19	Wijnands19	Vredepeel20	Bennekom20	Vredepeel21	Wageningen21
Scheuren voorjaar	Spuiten glyfosaat 3 l/ha	20-2	13-2	26-3	18-3	3-3: + 1 l/ha Codacide	18-3
B en C	Grondbewerking	3-4: frezen 12-4: ploegen met woelers	10-4: frezen 11-4: woelen	9-4: frezen 20-4: ploegen 23-4: rotorkopeg	23-3: frezen, ploegen	26-3: frezen	15-4: frezen, ploegen
	Inzaai gras B	12-4	11-4	23-4: 40 kg/ha	23-3	23-4: 40 kg/ha	Niet vermeld, schatting 30-4
	Inzaai mais C	19-4: ras Torres	18-4: ras Energy Excellent	24-4: ras Torres	23-4: ras Torres	28-4: ras Torres	7-5: mislukt, kraaien 19-5: LG 31.207
	Oogst mais C	16-9	17-9	21-9	18-9	5-10	20-9
	Inzaai vanggewas C	23-9: winter-gerst 75 kg/ha	Niet vermeld, schatting 18-9	Niet vermeld, schatting 22-9	30-9: gras 40 kg/ha	7-10: winter-gerst 80 kg/ha	1-7: onderzaai italiaans raai
D	Oogst 1e snede	13-5	nvt	8-5	7-5	27-5	1-6
	Spuiten glyfosaat, 4 l/ha	16-5	21-2	12-5	8-5	Niet vermeld, schatting 28-5	1-6
	Grondbewerking	21-5: frezen, rotorkopeg zaaibed bereid	nvt	14-5: frezen 15-5: ploegen	14-5: frezen, ploegen	2-6: frezen	1-6: frezen 9-6: frezen
	Inzaai mais	21-5: ras LG Conclusion	nvt	15-5: ras LG 31.211	15-5: ras LG 31.211	Niet vermeld, schatting 2-6	10-6: LG 31207
	Oogst mais	16-9	nvt	21-9	30-9	5-10	19-10
	Inzaai vanggewas	23-9: wintergerst 75 kg zaaizaad/ha	nvt	Niet vermeld, schatting 21-9	30-9: gras 40 kg/ha	7-10: wintergerst 80 kg/ha	14-7: onderzaai italiaans raai
	Doorzaai gras Wijnandsr19		11-4				
Scheuren augustus	Sneden voor scheuren	4	4	3	3	4	4
EFGJKL(M)	Spuiten glyfosaat, 3 l/ha	28-8	26-8	24-8	19-8	3-9: + 1 l/ha Codacide	3-9
EJKL(M)	Grondbewerking	3-9: frezen 5-9: cultiveren 6-9: woelen 30 cm	9-9: frezen 12-9: woelen	2-9: frezen 7-9: ploegen	3-9: frezen 7-9: ploegen	7-9: frezen 9-9: spitten	8-9: ploegen
F	Grondbewerking	3-9: frezen 5-9: cultiveren 6-9: woelen 15 cm	9-9: frezen	2-9: frezen 7-9: woelen	3-9: frezen 7-9: woelen	7-9: frezen 9-9: woelen	8-9: woelen
H	Grondbewerking	6-8: frezen 15-8: frezen	8-8: messenfrees 12-8: pennenfrees	5-8: frezen 20-8: frezen	5-8: frezen	12-8: frezen 20-8: rotorkopeg	8-9: ploegen, woelen
EFGHJKL(M)	Inzaai gras	6-9	6-9, mengsel BG3	8-9, obj G:9-9: 40 kg/ha Eng raai	8-9: gras 40 kg/ha mengsel BG3	9-9: 40 kg/ha Eng raai	8-9
L	Nitrificatie remmer, Vizura 3 l/ha	6-9, 15-9, 24-10: 3 l/ha Vizura, 600 l/ha water	12-9, 9-11: 3 l/ha Vizura	8-9, 30-10: 3 l/ha Vizura, 600 l/ha water	8-9, 29-10: 3 l/ha Vizura, 300 l/ha water	9-9, 27-10: 3 l/ha Vizura	8-9, eind okt
EFGHJKL(M)	Sneden na inzaai aug	geen	geen	geen	geen	24-11	geen

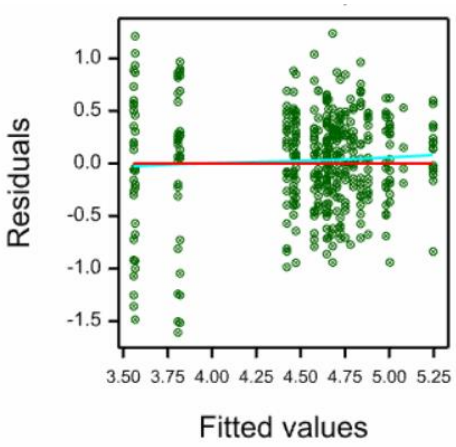
Bijlage 5 Statistische analyse

De data voor de Nmineraal-voorraad en nitraat-N in het bovenste grondwater zijn statistisch geanalyseerd met lineaire regressie met Reduced maximum likelihood (Reml, Genstat 22nd edition).
Bij de statistische analyse is gecontroleerd of de residuen normaal verdeeld zijn.
Voor N mineraal bleken de residuen aan de bovenkant van de gemeten waarden niet helemaal goed verdeeld te zijn: hogere waarden hadden een hogere afwijking van het gemiddelde.
Om dit te corrigeren is een log-transformatie toegepast en nagegaan of er heel andere contrasten uitkomen.
De resultaten van de metingen zijn daarvoor omgezet van Nmin naar Ln(Nmin) en dezelfde analyse is uitgevoerd, in eerste instantie gemiddeld over alle metingen in de herfst en winter (meetmoment 3 en 4).
De normaliteit van de residuen werd daardoor beter, zie onderstaande plots. In de figuur is te zien dat links de residuen er uitzien als een waaier, de residuen worden groter naarmate de gemeten gefitte waarden groter worden. In de rechter figuur is zijn de residuen bij de hogere metingen niet meer groter.
Voor N nitraat in het grondwater waren de residuen ook hoger naarmate het resultaat van de meting hoger was en is eveneens een log transformatie uitgevoerd en statistisch getest.
In tabel B5.1 en B5.2 zijn de significanties met en zonder logaritmische transformaties vergeleken. Op de conclusies van dit onderzoek heeft de transformatie geen invloed: in beide gevallen is bij niet scheuren (A) en in het voorjaar scheuren (B) de Nmineraal en nitraat-N meting in dan bij scheuren in het najaar en is bij extra grondbewerking (H) de Nmineraal en nitraat-N meting duidelijk hoger dan op de overige objecten.

Verdeling residuen Nmin



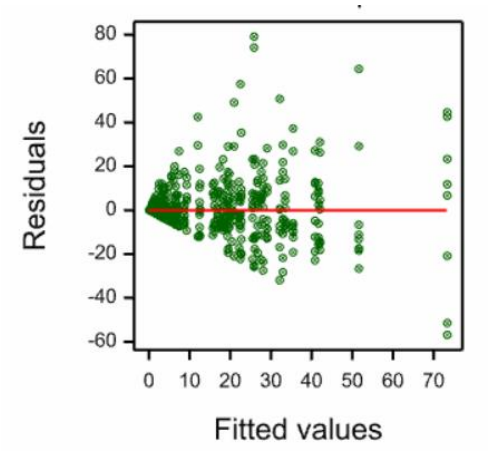
Verdeling residuen Ln(Nmin)



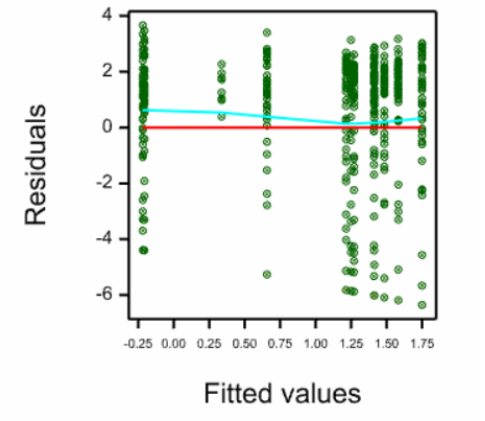
Tabel B5.1 *Significantie van Nmineraal in 0-90 cm in najaar en winter, gemiddeld over alle locaties, bij log transformatie en ongetransformeerde resultaten.*

Code	Ln transformatie najaar		Geen transformatie (tabel 3.3)	Ln transformatie winter		Geen transformatie (tabel 3.4)
A	3,57	a	41[a]	3,46	a	36[a]
B	3,82	a	52[a]	3,81	a	51[a]
C	4,65	b	107[b]	4,47	b	92[b]
D	4,70	bc	121[bc]	4,60	bc	101[bc]
E	4,98	bcd	148[d]	4,72	bc	125[d]
F	4,88	bc	137[cd]	4,65	bc	113[cd]
G	4,80	bc	126[bc]	4,46	b	99[bc]
H	5,25	d	207[e]	4,84	cd	156[e]
J	4,75	bc	122[bc]	4,58	bc	108[bc]
K	4,66	bc	107[b]	4,42	b	91[b]
L	5,00	cd	153[d]	4,68	bc	121[d]
LSD	0,35		20	0,34		17

Verdeling residuen Nitraat-N



Verdeling residuen Ln(Nitraat-N)



Tabel B5.2 *Significantie van nitraat-N in voorjaar na herinzaai, gemiddeld over alle locaties, bij log transformatie en ongetransformeerde resultaten.*

Code	Ln transformatie najaar		Geen transformatie (tabel 3.5)
A	-0,217	a	4,4[a]
B	-0,206	a	4,3[a]
C	0,658	ab	11,0[b]
D	1,249	bc	14,0[b]
E	1,582	c	19,2[b]
F	1,412	bc	17,3[b]
G	1,214	bc	12,4[b]
H	1,75	c	29,0[c]
J	1,27	bc	13,3[b]
K	1,414	bc	17,6[b]
L	1,484	bc	15,2[b]
lsd	0,918		9,4

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.