



Effecten van plantaardig digestaat op bodem, emissies en gewasopbrengst

Resultaten van een literatuurstudie, incubatieproef en potproef

Rima J. Porre, Dorien Westerik, Gerard Velthof, Jan Peter Lesschen



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Effecten van plantaardig digestaat op bodem, emissies en gewasopbrengst

Resultaten van een literatuurstudie, incubatieproef en potproef

Rima J. Porre, Dorien Westerik, Gerard Velthof, Jan Peter Lesschen

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research en gesubsidieerd door de topsector Agri & Food (LWV19246) en onderdeel van het onderzoekthema 'MMIP A1 Verminderen fossiele nutriënten, water en stikstofdepositie' (projectnummer BO-55-001-008).

Wageningen Environmental Research
Wageningen, augustus 2022

Gereviewd door:
René Rietra, onderzoeker (WENR)

Akkoord voor publicatie:
Gert Jan Reinds, teamleider van Duurzaam Bodemgebruik

Rapport 3191
ISSN 1566-7197

Porre, R.J., D. Westerik, G. Velthof, J.P. Lesschen, 2022. *Effecten van plantaardig digestaat op bodem, emissies en gewasopbrengst; Resultaten van een literatuurstudie, incubatieproef en potproef*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3191. 48 blz.; 18 fig.; 7 tab.; 72 ref.

Vergisting van plantaardige reststromen kan bijdragen aan hernieuwbare energieproductie en ook emissies uit gewasresten en organische reststromen voorkomen. In tegenstelling tot digestaten gebaseerd op dierlijk mest, is er nog weinig onderzoek gedaan naar effecten van digestaat gebaseerd op plantaardige reststromen. In deze studie zijn de effecten van plantaardig digestaat op lachgas, ammoniak en CO₂-emissies, bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengst onderzocht door middel van literatuuronderzoek en een lab-incubatie- en potexperiment. In de experimenten zijn plantaardige digestaten uit gewasresten, suikerbietenpulp en bietenblad vergeleken met reguliere meststoffen (kunstmest, runderdrijfmest, co-vergiste runderdrijfmest en compost). De emissies van de plantaardige digestaten zijn vergelijkbaar met runderdrijfmest en ook de gewasopbrengst en N-opname is vergelijkbaar en hoger dan bij toediening van compost. Uit deze studie blijkt dat er geen reden is om aan te nemen dat plantaardige digestaten hoge emissierisico's of een negatief effect op bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengst met zich mee zouden brengen.

Anaerobic digestion of plant-based residues can contribute to renewable energy production and prevent emissions from crop residues and organic waste. In contrary to digestates derived from animal manure, only limited research is available on the effects of digestate from plant-based residues. In this study the effects of plant based digestate on nitrous oxide, ammonia and CO₂ emissions, soil fertility and crop yields were investigated, using literature research and an incubation and pot experiment. In the experiments plant based digestates from crop residues, sugar beet residues and sugar beet leaves were compared with regular fertilizers (mineral fertilizer, cattle slurry, co-digested cattle slurry and compost). The emissions of the plant based digestates were comparable to cattle slurry. Also crop yield and N uptake were comparable to cattle slurry and higher compared to compost. This study concludes that the plant based digestates have no risk on high emissions or negative effects on soil fertility and crop yields.

Trefwoorden: digestaat, vergisting, broeikasgasemissie, bodem, ammoniak, bodemvruchtbaarheid

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/575257> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

CC license CC-BY-NC-SA 4.0

© 2022 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

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



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3191 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Potproef met gras (foto R.J. Porre)

Inhoud

Verantwoording	5	
Samenvatting	7	
1	Introductie	9
1.1	Achtergrond	9
1.2	Doelstelling	9
1.3	Opzet rapport	9
2	Literatuurstudie	10
2.1	Anaerobe vergisting en digestaat	10
2.2	Samenstelling plantaardig digestaat	11
2.2.1	Inputmaterialen en productieproces bepalen samenstelling digestaat	11
2.2.2	Plantaardig digestaat versus digestaat uit dierlijke mest	12
2.2.3	Zware metalen	12
2.3	Plantaardig digestaat als meststof	12
2.3.1	Verwerkingsopties	12
2.3.2	Opslag	13
2.3.3	Bemestende waarde	13
2.3.4	Wetgeving	13
2.4	Effecten van digestaat op de bodem	14
2.4.1	Bodemkoolstof	14
2.4.2	Bodemmicrobiologie	15
2.4.3	Bodemstructuur	16
2.4.4	Bodemchemie	16
2.5	Effecten van digestaat op waterkwaliteit	16
2.6	Effecten van digestaat op gasvormige emissies	17
2.6.1	Broeikasgasemissies	17
2.6.2	Ammoniak	17
2.7	Synthese literatuurstudie	18
3	Materiaal en methode	19
3.1	Meststof en bodemcollectie en analyse	19
3.2	Laboratoriumincubatie	20
3.2.1	Introductie	20
3.2.2	Proefopzet	20
3.3	Potproef	21
3.3.1	Introductie	21
3.3.2	Proefopzet	21
3.3.3	Lachgasemissies	22
3.3.4	Grasopbrengst en N-opname	22
3.3.5	Minerale N bodem	22
3.3.6	Ammoniakemissies	23
3.3.7	Data-analyse	23
4	Resultaten	24
4.1	Karakterisering meststoffen	24
4.2	Incubatieproef	26
4.2.1	Lachgasemissies	26
4.2.2	CO ₂ -emissies	27

4.3	Potproef	29
4.3.1	Lachgasemissies	29
4.3.2	Ammoniakemissies	30
4.3.3	Grasopbrengst	31
4.3.4	N-opname in gras	31
4.3.5	Bodemvruchtbaarheid	34
5	Discussie	36
5.1.1	Algemeen	36
5.1.2	Lachgasemissies	36
5.1.3	Ammoniakemissies	37
5.1.4	Grasopbrengst en kwaliteit	37
5.1.5	Bodemvruchtbaarheid	37
5.1.6	Plantaardig digestaat als meststof	38
5.1.7	Proefopzet	38
5.1.8	Aanbevelingen voor toekomstig onderzoek	38
6	Conclusies	39
	Literatuur	40
Bijlage 1	Bodemeigenschappen	45

Verantwoording

Rapport: 3191

Projectnummer: 5200045725

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord Referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Onderzoeker

naam: Rene Rietra

datum: 5-7-2022

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Gert Jan Reinds

datum: 4-7-2022

Samenvatting

Vergisting van plantaardige reststromen kan bijdragen aan hernieuwbare energieproductie en ook emissies uit gewasresten en organische reststromen voorkomen. In tegenstelling tot digestaten gebaseerd op dierlijk mest, is er nog weinig onderzoek gedaan naar effecten van digestaat gebaseerd op plantaardige reststromen. In deze studie zijn de effecten van plantaardig digestaat op bodememissies, bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengst onderzocht door middel van literatuuronderzoek en een lab-incubatie- en potexperiment. In de experimenten zijn plantaardige digestaten uit gewasresten, suikerbietenpulp en bietenblad vergeleken met reguliere mestsoorten (kunstmest, runderdrijfmest, co-vergiste runderdrijfmest en compost). Hierbij is gekeken naar effecten op lachgas- (N_2O), ammoniak- (NH_3) en CO_2 -emissies, stikstofopname, drogestofopbrengst en bodemvruchtbaarheid.

Voorafgaand aan de proeven is een literatuuronderzoek uitgevoerd naar de huidige kennis rondom de samenstelling en bemestende waarde van plantaardig digestaat, en het effect van plantaardig digestaat op bodem en emissies. Hieruit blijkt dat de samenstelling van digestaat zeer uiteenlopend kan zijn en afhankelijk is van de inputmaterialen, het type vergister en de omstandigheden tijdens het vergistingsproces. Daarnaast zijn er nog verschillende opties voor de verwerking en de opslag van het digestaat die impact kunnen hebben op emissierisico's en bemestingswaarde, zoals drogen of het scheiden in een dunne en dikke fractie. Over het algemeen bevat digestaat een hoger totaal- en mineraal stikstofgehalte dan het inputmateriaal. Het aandeel koolstof is lager maar stabiel, waardoor de bijdrage aan de bodemkoolstofvoorraad vergelijkbaar is met onvergist materiaal. Er is nog een gebrek aan experimenten die het langetermijneffect van toepassing van plantaardig digestaat op bodembio-structuur en chemie duidelijk maken. Omtrent emissies zijn er aanwijzingen dat de toediening van digestaat hogere ammoniak- en lagere lachgasemissies veroorzaakt in vergelijking tot onvergist materiaal, mogelijk vanwege de hogere minerale N-gehalten en kleinere fracties makkelijk afbreekbare koolstof. De precieze effecten op emissies zijn sterk afhankelijk van de toedieningsmethode, waarbij oppervlakkige bemesting leidt tot hogere ammoniakemissies en injectie tot hogere lachgasemissies. Uit de beschikbare literatuur blijkt geen reden om aan te nemen dat plantaardig digestaat negatieve effecten zou hebben op bodemvruchtbaarheid, emissies of gewasopbrengst in vergelijking tot dierlijke mest of kunstmest.

De incubatie- en potexperimenten zijn gedaan met een zand- en een kleigrond, waarbij de digestaten zijn geïnjecteerd, gemengd (in de incubatieproef) of oppervlakkig toegepast (in de potproef). Lachgasemissies zijn in beide experimenten gemeten en CO_2 -emissies alleen in de incubatieproef. Gewasopbrengst, ammoniakemissies en de effecten op de bodemvruchtbaarheid zijn gemeten in de potproef. In de incubatie-experimenten bleken N_2O -emissies uit de meststoffen met name te verschillen op kleigrond; voornamelijk in de behandelingen met runderdrijfmest, gewasdigestaat en gft-compost waren de emissies significant hoger dan de controle. In de potproef waren eveneens sterke verschillen te zien op kleigrond, terwijl de N_2O -emissies op zandgrond verwaarloosbaar waren. Uit de potproef bleek dat oppervlakkige bemesting lage N_2O -emissies tot gevolg had en dat de emissies bij injectie hoger waren, zowel voor bieten- en bietenbladdigestaat als runderdrijfmest. Voor CO_2 -emissies werden weinig significante verschillen gemeten tussen de verschillende mestsoorten. Ammoniakemissies waren sterk verhoogd bij oppervlakkige bemesting ten opzichte van injectie en waren relatief hoger op zandgrond dan op kleigrond. Geïnjecteerd plantaardig digestaat had vergelijkbare ammoniakemissies met geïnjecteerde vergiste en onvergiste runderdrijfmest. Een juiste toedieningswijze van digestaat is dus belangrijk om de gewasopbrengst te optimaliseren en verliezen van ammoniak naar de omgeving laag te houden. Injectie zorgt (t.o.v. oppervlaktebemesting) voor de hoogste drogestof- en N-opbrengst bij plantaardig digestaat en de ammoniakemissies zijn aanzienlijk lager. Bij injectie is er (op kleigrond) echter wel een verhoogd risico op N_2O -emissies.

De gewasopbrengst en N opname van bieten- en bietenbladdigestaat was significant hoger dan de controle en de compostbehandelingen, en vergelijkbaar met runderdrijfmest. De resultaten van de incubatie- en potproeven laten zien dat behandelingen met bieten- en bietenblad digestaten een vergelijkbare droge stof- en N opbrengst hebben als behandelingen met co-vergiste en onvergiste runderdrijfmest en beter dan

behandelingen met het digestaat van andere gewasresten en de gft- en groencomposten. Plantaardig digestaat kan dan ook zonder problemen dierlijke mest of kunstmest vervangen en bijdragen aan het beter sluiten van kringlopen. Door de korte termijn van de experimenten kon er geen duidelijk effect van de behandelingen op bodemvruchtbaarheid gemeten worden en kon het effect op het organischestofgehalte niet gemeten worden. Het literatuuronderzoek liet zien dat digestaat positief kan bijdragen aan de instandhouding van het organischestofgehalte in de bodem.

Naar aanleiding van de experimenten kan worden geconcludeerd dat de emissies van de plantaardige digestaten bij injectie vergelijkbaar zijn met runderdrijfmest en ook de gewasopbrengst en N-opname is vergelijkbaar en hoger dan bij toediening van compost. De resultaten van de incubatie- en potexperimenten zijn veelal in overeenstemming met de gevonden literatuur, hoewel uit de literatuur ook duidelijk wordt dat er – met name wat betreft langetermijneffecten van de toepassing van plantaardig digestaat – nog weinig onderzoek gedaan is en dat de uiteenlopende samenstelling van plantaardige digestaten en andere organische meststoffen een onderlinge vergelijking bemoeilijkt. Uit deze studie blijkt dat er geen reden is om aan te nemen dat plantaardige digestaten hoge emissierisico's of een negatief effect op bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengst met zich mee zouden brengen.

1 Introductie

1.1 Achtergrond

In het kader van het Parijs-akkoord is afgesproken dat we streven naar netto nul emissies in de tweede helft van deze eeuw. Ook de landbouw zal moeten bijdragen aan deze klimaatdoelstellingen. Vanuit de reststromen binnen de landbouw en voedselketens is er een kans om de benutting van nutriënten en organische stof te verbeteren. Door te vergisten als eindtrap in de keten kunnen energie, geconcentreerde CO₂ en digestaat uit deze reststromen gewonnen worden. Deze zijn ieder op zich te verwaarden en hiermee kan worden bijgedragen aan een meer circulaire landbouw. In Green Goods Nederland (GGN) werken de agro- en energiesector samen. Cosun en Gasunie ontwikkelen een initiatief voor regionale vergisting van reststromen, al dan niet na raffinage, uit de agrofoodsector (bietenblad, bietenpulp, bermgras, etc.). Mineralen worden teruggevoerd naar de akkers binnen de regio en sluiten daarmee de kring binnen de regio. Vergisting draagt ook bij aan de klimaatdoelstellingen door de productie van biogas, waarmee fossiele brandstoffen vervangen kunnen worden. Daarnaast kan mogelijk een deel van de kunstmest vervangen worden, waardoor de emissies gerelateerd aan de productie verminderd worden. Echter bestaat er nog onduidelijkheid over het effect van plantaardig digestaat op bodememissies, bodemkwaliteit en gewasopbrengst.

Deze studie is onderdeel van de PPS Impact regionale vergisting op bodem, water en kringlopen (LWV19246) waarin Cosun, Gasunie en Wageningen Environmental Research samenwerken aan het toetsen van de veronderstellingen in theorie en praktijk. In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van de eerste fase van het project waarin een literatuurreview, een incubatie-experiment en een potproef zijn uitgevoerd.

1.2 Doelstelling

Het hoofddoel van de incubatie- en potexperimenten is om de effecten van plantaardig digestaat op bodememissies, bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengst te bepalen en op deze punten te vergelijken met andere organische meststoffen. Het gaat hierbij specifiek om digestaat van gewasresten, bieten en bietenblad, in vergelijking tot kunstmest, (vergiste) runderdrijfmest), gft- en groencompost. Emissies van lachgas (N₂O), ammoniak (NH₃) en CO₂ worden gemeten en bodemvruchtbaarheid wordt bepaald aan de hand van minerale en organische stikstof(N)gehaltes en de hoeveelheid beschikbaar fosfaat (P). Ook worden de effecten van de organische meststoffen op gewasopbrengst en totale N-opname bepaald. De resultaten uit de literatuurstudie en de experimenten dienen ter ondersteuning van het PPS project Impact Regionale Vergisting op Bodem, Water en Kringlopen.

1.3 Opzet rapport

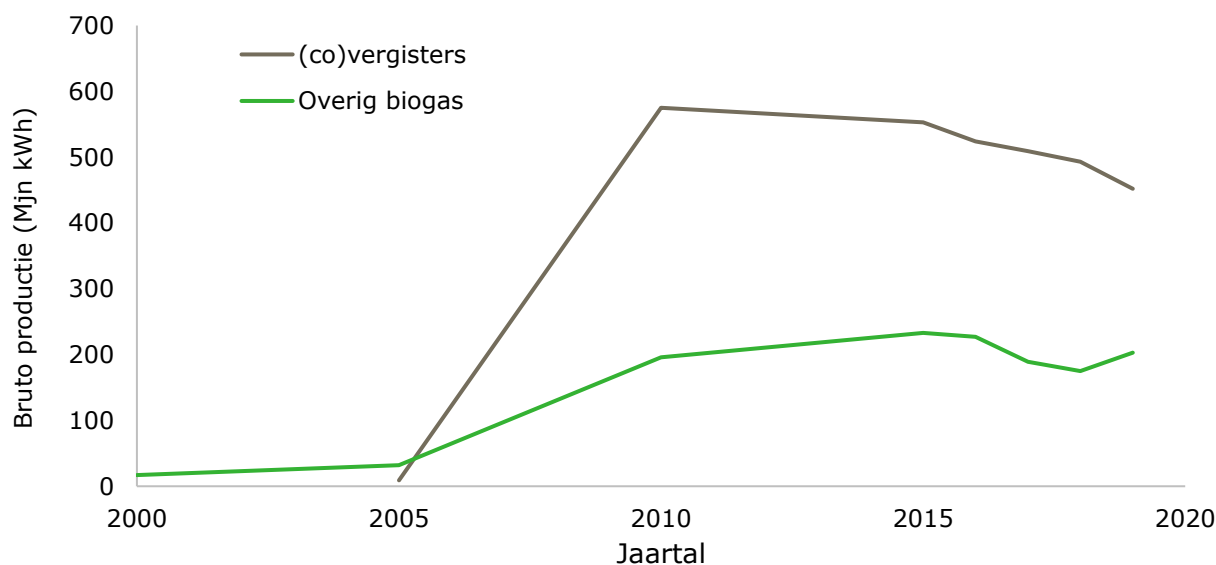
Het eerste deel van het rapport (Hoofdstuk 1.32) bevat een literatuurstudie waarin de huidige kennis rond (plantaardige) digestaten wordt samengevat en waarin de context voor de experimenten wordt geschetst. Uit het literatuuronderzoek blijken ook de hiaten in de huidige kennis rondom de effecten van plantaardige digestaten op emissies, bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengsten. In Hoofdstuk 3 worden materiaal en methode beschreven, waaronder de opzet van de lab-incubatie en de potproef. In Hoofdstuk 4 worden de resultaten van de experimenten weergegeven en beschreven. In Hoofdstuk 5 is een discussie opgenomen waarin belangrijke en opvallende resultaten worden besproken. Hoofdstuk 6 bevat ten slotte de conclusies van het gehele rapport.

2 Literatuurstudie

2.1 Anaerobe vergisting en digestaat

Digestaat komt voort als bijproduct uit anaerobe vergisting. Anaerobe vergisting is een natuurlijk proces waarbij micro-organismen in afwezigheid van zuurstof complexe koolstofverbindingen omzetten naar simpelere anorganische moleculen zoals methaan en CO₂ (Möller, 2015). Dit biogas kan worden gebruikt voor de productie van elektriciteit, warmte of groen gas. Omdat biogas een bron is van duurzame energie wordt de productie ervan gestimuleerd door overheden en verschillende organisaties (Scarlat et al., 2018; Surendra et al., 2014; Vasco-Correa et al., 2018). Biogas (en digestaat als reststroom) wordt geproduceerd door middel van (co-)vergisting van organisch materiaal zoals mest (meest voorkomend), afvalwater en andere natte biomassastromen zoals gft-afval of afval uit de voedingsmiddelenindustrie.

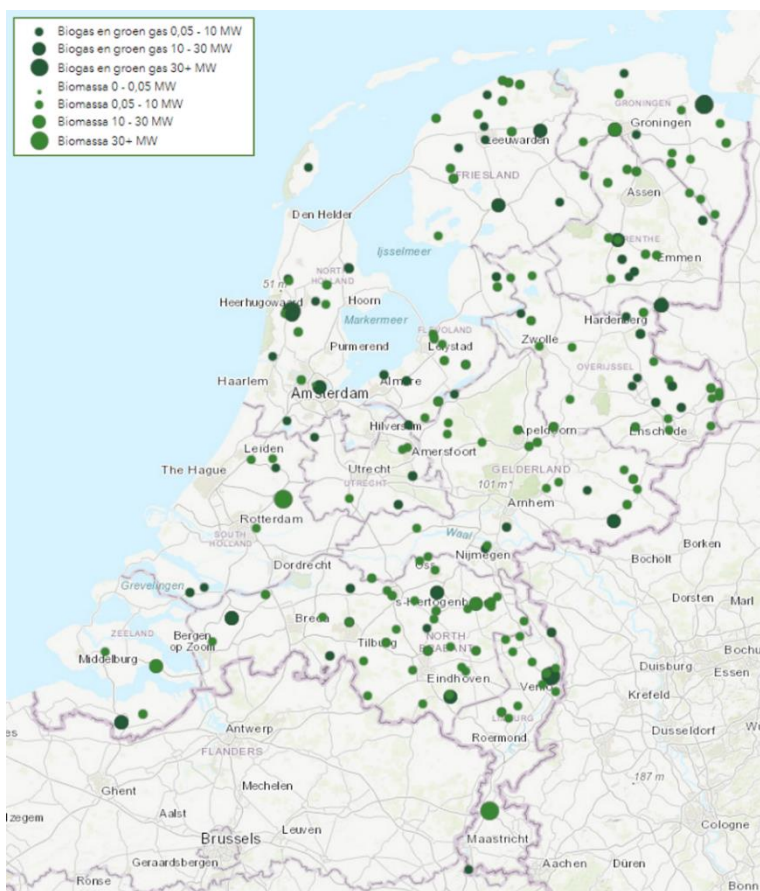
Bij co-vergisting wordt mest samen met andere plantaardige materialen vergist. Monovergisting van dierlijke mest (zonder toevoeging van ander organisch materiaal) wordt in Nederland maar beperkt toegepast en wordt samen met co-vergiste mest opgeteld door het CBS (Figuur 1). Co- en monovergisting van mest leverden in 2020 ongeveer 3 procent van het eindverbruik van hernieuwbare energie, afkomstig uit 95 locaties (CBS, 2020). Onder overig biogas verstaat het CBS alle biogas uit vergist afvalwater en andere natte biomassastromen, voortkomend uit projecten op ongeveer 40 locaties die in 2020 goed zijn voor nog eens bijna 3 procent van het bruto eindverbruik van hernieuwbare energie (CBS, 2020).



Figuur 1 Overzicht van de hoeveelheid biogas geproduceerd in Nederland. De bruine lijn geeft alle biogas geproduceerd uit (co-)vergisting van mest aan. De groene lijn is de productie van biogas van alle andere biologische reststromen in Nederland (CBS, 2020).

Het digestaat dat als restproduct overblijft na anaerobe vergisting kan weer als organische meststof worden toegepast op de bodem. Digestaat behoudt de meeste van de N, P en K uit het inputmateriaal en daarbovenop worden de plant-beschikbare nutriëntenfracties sterk verhoogd. Hierbij gaat het vooral om complexe organische N- en P-stoffen die gemineraliseerd worden naar respectievelijk ammonium (NH₄⁺) en anorganisch, plant-beschikbare vormen van P (Arthurson, 2009; Insam et al., 2015). Daarbovenop heeft digestaat een lagere C/N-verhouding dan de inputmaterialen, omdat een groot deel van de koolstof wordt afgebroken en terecht komt in het biogas.

Er wordt elk jaar ongeveer 180 miljoen ton digestaat geproduceerd in de EU, waarvan bijna de helft in Duitsland. In 2016 werd er in Nederland naar schatting 2,2 miljoen ton digestaat geproduceerd. Veruit het meeste digestaat in Europa (120 miljoen ton) wordt geproduceerd uit landbouwproducten (mengsel van dierlijke mest en plantenresten) en naar schatting nog eens 56 miljoen ton uit andere reststromen. Het meeste digestaat wordt direct gebruikt als meststof (Corden et al., 2019).



Figuur 2 Overzicht van alle vergistingslocaties in Nederland (www.groengas.nl).

2.2 Samenstelling plantaardig digestaat

2.2.1 Inputmaterialen en productieproces bepalen samenstelling digestaat

Inputmaterialen voor het vergistingsproces kunnen heel divers zijn: van dierlijk mest, afvalwaterslib, huishoudelijk groente en fruitafval tot plantaardige resten vanuit de landbouw. Door deze brede range aan inputmaterialen kan het uiteindelijke digestaat ook sterk verschillen in samenstelling. Tijdens vergisting wordt 20 tot 95% van de organische stof in het inputmateriaal omgezet naar biogas; de exacte hoeveelheid hangt af van resistente producten zoals lignine. Daarnaast zijn ook C/N-ratio, vochtgehalte en deeltjesgrootte van het inputmateriaal van invloed op het vergistingsproces (Möller, 2015).

Naast het inputmateriaal zijn ook het type vergister en de precieze omstandigheden in de vergister zoals pH, temperatuur en retentietijd van belang (Zirkler et al., 2014). Er zijn dus veel factoren die de samenstelling van het digestaat kunnen beïnvloeden en daarmee ook een effect kunnen hebben op de bemestingswaarde en de emissierisico's van een digestaat (Coelho et al., 2020b). In het algemeen geldt wel dat digestaat (van welk input materiaal dan ook) een hogere NH_4^+ :totale N-verhouding, een hogere pH, een lagere C/N-ratio en een lager organischestofgehalte heeft dan het inputmateriaal (Gutser et al., 2005; Möller & Müller, 2012). Uit een studie waarin vergiste en onvergiste groenbemesters worden vergeleken, blijkt eveneens dat het drogestofgehalte, het totale N-gehalte en het NH_4 -N-gehalte sterk zijn toegenomen na vergisting (De Notaris et al., 2018). Hoewel er kan worden aangenomen dat er behalve kool- en waterstof (C en H) weinig tot geen

verliezen zijn in de vergister, zijn er weinig data beschikbaar waarin de samenstelling van de inputmaterialen wordt vergeleken met de samenstelling van het digestaat (Nkoa, 2014). Recentelijk is een model gepresenteerd waarmee kool- en stikstofstromen van organisch materiaal tijdens vergisting en opslag van het digestaat in beeld kunnen worden gebracht (Bareha et al., 2021).

2.2.2 Plantaardig digestaat versus digestaat uit dierlijke mest

In Nederland wordt onderscheid gemaakt tussen drie soorten digestaat: digestaat uit monovergisting van dierlijke mest, digestaat uit co-vergisting (minimaal 50% dierlijke mest) en digestaat van plantaardige inputmaterialen (zoals bietenpunten en ander materiaal uit de landbouw en voedselverwerkingsindustrie) (Rietra et al., 2015). Veel studies die het effect van digestaat op de bodem, gewasopbrengst en broeikasgasemissies bestuderen, zijn gedaan met (co-)vergiste digestaat van dierlijke mest (Möller, 2015; Nielsen et al., 2020; Nkoa, 2014). Echter, de inputmaterialen en de samenstelling van digestaten uit dierlijke mest zijn dusdanig anders dan die van plantaardige digestaten, dat de resultaten uit deze studies maar weinig inzicht geven in de samenstelling, bemestende waarde en het risico op emissies van plantaardige digestaten. Gutser et al. (2005) schatten de totale N- en NH_4^+ -N-gehaltenes van plantaardige digestaten over het algemeen lager in dan die van co-vergiste dierlijke mest, waardoor ook de stikstofwerkingscoëfficiënt lager wordt ingeschat voor plantaardig digestaat (40-60%) dan voor co-vergiste dierlijke mest (50-70%).

2.2.3 Zware metalen

De hoeveelheid zware metalen die in digestaat aanwezig zijn, is sterk afhankelijk van de inputmaterialen. Sommige digestaten bevatten bijvoorbeeld veel koper en zink door het gebruik van varkens- en rundermest als inputmateriaal (Albuquerque et al., 2012). De gehaltenes koper en zink kunnen verdund worden als er meer plantenresten worden toegevoegd in de vergister of als er geen dierlijk mest gebruikt wordt (Rietra et al., 2015). In Nederland zijn alleen inputmaterialen die getoetst zijn aan de Meststoffenwet toegestaan in vergisters, daarom worden er geen verhoogde waarden van contaminanten of zware metalen verwacht (Rietra et al., 2015). In een studie met vergist stedelijk organisch afval blijkt dat anaerobe vergisting geen significante impact heeft op de gehaltenes zware metalen in het digestaat (Knoop et al., 2017). Kortom, als de inputbron geen hoge gehaltenes van zware metalen bevat (in verhouding tot andere nutriënten), dan zal dit ook niet het geval zijn in het digestaat. Een uitzondering hierop zijn ijzer (Fe) en mangaan (Mn), die in kleine hoeveelheden vrij kunnen komen door slijtage van de vergistingsinstallatie (Zirkler et al., 2014). Daarnaast zou het kunnen dat de toevoeging van digestaat door de hogere pH impact heeft op de oplosbaarheid van zware metalen in de bodem (zie paragraaf 2.4.4). In paragraaf 2.3.4 wordt verder ingegaan op de Nederlandse en Europese wetgeving met betrekking tot de toepassing van digestaat als meststof.

2.3 Plantaardig digestaat als meststof

2.3.1 Verwerkingsopties

Om transport te faciliteren, wordt digestaat vaak gescheiden in een vaste en een vloeibare fractie. De vloeibare fractie beschikt vaak over een grote hoeveelheid plant-beschikbare nutriënten en is daarom erg geschikt als N-meststof. De vaste fractie heeft een hoog DS-gehalte en heeft meer P en organische stof en kan dus als P-bemesting of bodemverbeteraar worden gebruikt (Valentinuzzi et al., 2020). Naast directe toepassing van het digestaat is het ook mogelijk om de vaste fractie te composteren met ander organisch afval (Bustamante et al., 2013; Li et al., 2018). Hoewel er nog niet veel onderzoek gedaan is naar het composteren van (plantaardig) digestaat, lijkt het voor bepaalde types digestaat wel een kansrijke optie om de hoeveelheid vluchtige stoffen, het vochtgehalte, mogelijke fytoxiciteit en aanwezigheid van pathogenen terug te brengen en zo een hoogwaardiger eindproduct te produceren (Bustamante et al., 2013; Smet et al., 1999). Ook is het mogelijk om met verschillende technieken nutriënten terug te winnen uit het digestaat en als geconcentreerde kunstmest(vervanger) in te zetten (Tampio et al., 2016) en het fosfaat- en stikstofarme organische residu in te zetten als bodemverbeteraar.

2.3.2 Opslag

In veel gevallen kan digestaat, net als mest, niet meteen op het land worden toegepast, maar moet het eerst opgeslagen worden. Net als bij mest kan opslag van digestaat een risico vormen voor broeikasgasemissies, maar deze kunnen vermeden worden door goede opslagpraktijken (Nkoa, 2014). Gassen zoals N_2O , H_2S , NH_3 en CH_4 kunnen ontsnappen als er geen juiste opslagsystemen worden gebruikt (Amon et al., 2006). Om deze emissies te voorkomen, wordt digestaat vaak in gesloten systemen opgeslagen (Vasco-Correa et al., 2018). Digestaat kan vers of gedroogd worden bewaard en toegepast. De toediening van vloeibaar digestaat heeft het voordeel dat stikstof in een snel beschikbare vorm aanwezig is voor het gewas en bovendien is er geen extra energie nodig voor het drogen. De opslag van nat digestaat heeft echter wel een aanzienlijk hoger risico op emissie van o.a. NH_3 . Het drogen van digestaat na vergisting leidt tot minder emissierisico's bij opslag, maar het drogen zelf kan wel leiden tot directe verliezen van N naar de lucht (Maurer & Müller, 2010).

2.3.3 Bemestende waarde

De vloeibare fractie van digestaat heeft een hoog gehalte plant-beschikbare nutriënten en kan synthetische meststoffen vervangen (Sigurnjak et al., 2017). Toediening van (co-)vergiste dierlijke mest kan vergelijkbare gewasopbrengsten opleveren als na bemesting met dierlijke mest of chemische meststoffen (Coelho et al., 2020b; Nkoa, 2014). Over de bemestende waarde van digestaten van puur plantaardige oorsprong zijn slechts enkele studies te vinden. Een recente studie uit Duitsland test de effecten van digestaat uit een (thermofiele) monovergister met alleen maismateriaal (Robles-Aguilar et al., 2019). Uit deze studie bleek dat het plantaardige digestaat op zandgrond een vergelijkbaar positief effect had op bovengrondse biomassa als NPK kunstmest. Een Deense studie vergeleek de effecten van (thermofiele) monovergisting van vergiste en onvergiste groenbemesters (monocultuur luzerne en een mix van Engels raaigras, luzerne en andere kruidachtige planten) op de groei van wintertarwe en gerst (De Notaris et al., 2018a). In deze studie werd ook vergiste en onvergiste koeiendrijfmest meegenomen. Hieruit bleek dat vergisting de stikstofwerkingscoëfficiënt (het percentage kunstmest N dat vervangen wordt door het digestaat N), zowel gebaseerd op gram droge stof als op totale stikstofopname in het gewas, sterk verhoogd. Dit effect is te zien voor zowel luzerne, de mix van groenbemesters als de drijfmest. Uit deze studie wordt eveneens duidelijk dat de totale en minerale stikstofconcentraties hoger zijn in de digestaten dan in de onverwerkte groenbemesters en dat de stikstofwerkingscoëfficiënt van de digestaten correleert met het totale stikstofgehalte en het NH_4^+ -N-gehalte van het digestaat: hogere totale en minerale stikstofgehalten in het digestaat resulteren in een hogere stikstofwerkingscoëfficiënt. Deze relatie wordt ook beschreven in een onderzoek met verschillende organische meststoffen door Delin et al. (2012), waar eveneens de relatie tussen de stikstofwerkingscoëfficiënt en de C:N-ratio wordt vastgesteld.

2.3.4 Wetgeving

Plantaardig digestaat mag als mest worden toegepast en verhandeld, mits de gehalten zware metalen en organische contaminanten binnen de normen vallen en de inputmaterialen zijn opgenomen in Bijlage Aa van de uitvoeringsregeling Meststoffenwet.¹ Hieronder valt ook suikerbietenblad, bietenpunten, bietenperspulp en melasse. Plantaardig digestaat valt wettelijk gezien onder 'overige organische meststoffen' met een stikstofwerkingscoëfficiënt van 50% (Bijlage B in Uitvoeringsregeling Meststoffenwet). Toepassing van digestaat moet gebeuren binnen de N- en P-gebruiksnormen (Bijlage A in Uitvoeringsregeling Meststoffenwet), ook wanneer het digestaat wordt toegepast op een perceel waar eerst gewasresten zoals suikerbiet zijn weggehaald.

Digestaat bestaande uit plantaardige materialen mag alleen uitgereden worden als organische mest als de hoeveelheid zware metalen onder de wettelijk toegestane hoeveelheid ligt (Tabel 1). Voor de toepassing van deze tabellen zijn de maximale waarden van toepassing die behoren bij dat waardegevend bestanddeel waarvan bij het toedienen van een toenemende hoeveelheid van de meststof, de hoeveelheden van 80 kilogram fosfaat, 100 kg stikstof, 150 kilogram kali, 400 kilogram neutraliserende waarde (één neutraliserende waarde staat gelijk aan 1 kg CaO) of 3000 kilogram organische stof het éérs wordt bereikt.²

¹ <https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0018989&bijlage=Aa&z=2022-05-05&q=2022-05-05>

² <https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0019031&bijlage=II&z=2022-06-01&q=2022-06-01>

Tabel 1 Toegestane maximale gehalten zware metalen per waardegevend element in digestaat onder het Nederlandse Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet*.

Zware metalen	Maximale hoeveelheid (in mg) per kg fosfaat, stikstof, kali etc.				
	Fosfaat (P ₂ O ₅)	Stikstof	Kali (K ₂ O)	Neutraliserende waarde	Organische stof
Cd (Cadmium)	31,3	25	25	25	25
Cr (Chroom)	1875	1500	1500	1500	1500
Cu (Koper)	1875	1500	1500	1500	1500
Hg (Kwik)	18,8	15	15	15	15
Ni (Nikkel)	750	600	600	600	600
Pb (Lood)	2500	2000	2000	2000	2000
Zn (Zink)	7500	6000	6000	6000	6000
As (Arseen)	375	300	300	300	300

* <https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0019031&bijlage=II&z=2022-06-01&g=2022-06-01>

Onder Europese wetgeving (verordening (EU) 2019/1009 van EU-bemestingsproducten³) valt plantaardig digestaat onder organische meststoffen (PFC 1A, Annex I), waarbij het inputmateriaal en het verwerkingsproces moeten voldoen aan CMC 4 of 5 (Annex II). De maximale gehalten van zware metalen onder Europese wetgeving zijn weergegeven in Tabel 2. Uit een Oostenrijkse studie waarbij meer dan 500 digestaten zijn getoetst aan de verordening (EU) 2019/1009 van EU-bemestingsproducten wordt duidelijk dat slechts in enkele gevallen de norm voor zware metalen (Cd, Cr, Hg, Ni en Pb) wordt overschreden, maar dat digestaat over het algemeen binnen deze normen valt (Stürmer et al., 2020).

Tabel 2 Toegestane maximale gehalten zware metalen per kg drooggewicht onder de verordening (EU) 2019/1009 van EU-bemestingsproducten*.

Zware metalen	Maximale hoeveelheid (mg/kg)
Cd (Cadmium)	1,5
Cr VI (Chroom)	2
Cu (Koper)	300
Hg (Kwik)	1
Ni (Nikkel)	50
Pb (Lood)	120
Zn (Zink)	800
As (Arseen)	40

* <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1009/oj>

2.4 Effecten van digestaat op de bodem

2.4.1 Bodemkoolstof

Omdat anaerobe vergisting nog een redelijk nieuwe praktijk is, zijn er nog maar weinig veldproeven en langetermijnexperimenten opgezet die het effect op bodemkoolstof vergelijken met synthetische bemesting of dierlijke mest (Körschens et al., 2014). Een aantal recente veldstudies hebben het effect van digestaat-toediening op de bodem C-voorraad bestudeerd (Bartóg et al., 2020; Montemurro et al., 2010; Roß et al., 2018; Thomas et al., 2019). Deze studies laten zien dat het, in sommige gevallen, mogelijk is om de bodem C-voorraad te verhogen d.m.v. digestaat-toediening (Montemurro et al., 2010; Roß et al., 2018). Toch zijn resultaten vaak niet significant door de korte duur van de experimenten (Bartóg et al., 2020; Thomas et al., 2019). Onder boeren was er een zorg dat digestaat van dierlijke mest leidt tot een lagere organischestofvoorraad in de bodem (Insam et al., 2015). Deze verwachting was gebaseerd op het CO₂-verlies gedurende het vergistingsproces, wat resulteert in een digestaat met een laag organische C-gehalte.

³ <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1009/oj>.

In een incubatiestudie is aangetoond dat de hoeveelheid C die achterblijft in de bodem na toediening van onvergiste en vergiste mest even hoog was bij beide stoffen. In beide gevallen was 12-14% van de originele hoeveelheid C aanwezig in de bodem na 240 dagen (Thomsen et al., 2013). Dit zou kunnen komen doordat digestaat in verhouding een hogere stabiele C fractie heeft dan onvergist materiaal. De makkelijk afbreekbare fractie wordt afgebroken tijdens vergisting, maar zou waarschijnlijk toch al niet hebben gezorgd voor een verhoging van bodemorganische stof vanwege de snelle afbraak. Een andere studie met mais gaf soortgelijke resultaten, waar vergiste maistoediening voor bodem C-verhoging zorgde, terwijl de toediening van onvergiste mais dat niet deed (Béghin-Tanneau et al., 2019). Bovendien werd in deze studie waargenomen dat onvergiste mais zorgt voor extra respiratie van de reeds aanwezige koolstof in de bodem, terwijl toepassing van het digestaat de respiratie van de reeds aanwezige C juist vermindert vanwege de inherente stabiliteit van het digestaat.

Uit deze incubatiestudies kunnen we concluderen dat het CO₂-verlies tijdens het vergistingsproces niet hoeft te resulteren in een lager bodem-C verhogend potentieel. In recente veld- en incubatie-experimenten hebben Nielsen et al. (2020) aangetoond dat voornamelijk het ligninegehalte sterk gecorreleerd is met de koolstofmineralisatiesnelheid van een digestaat. Digestaten met een hoger ligninegehalte zoals plantaardig digestaat en (de vaste fractie van) vergiste mest, zouden dus sterker bijdragen aan het verhogen van bodemorganische stof dan andere digestaten of de vloeibare fractie van vergiste mest. Möller (2015) concludeert in een review van verschillende kort- en langlopende onderzoeken dat de lagere C-gehalten in digestaat worden gecompenseerd door een lagere afbreekbaarheid en dat het (lange termijn) effect op bodem-organische stof sterk afhankelijk kan zijn van de gehalten moeilijk afbreekbare vezels.

2.4.2 Bodemmicrobiologie

Organische meststoffen bevatten een enorm aantal verschillende micro-organismen (Guo et al., 2015; Insam et al., 2015). Welke micro-organismen en de mate van biodiversiteit, lijken voornamelijk af te hangen van de temperatuur in de vergister (Jiang et al., 2020), en daarbij van inputmaterialen en de specifieke omstandigheden in de vergister (De Jonge et al., 2020). Uit deze studies blijkt echter ook dat de samenstelling van micro-organismen niet makkelijk te voorspellen is, aangezien het met veel parameters samenhangt. De grootste zorg is het verspreiden van pathogenen, hoewel de anaerobe omstandigheden in de vergister over het algemeen voor een lage pathogenen druk in het digestaat zorgen (Sahlström, 2003).

Het is nog vrij onduidelijk wat het effect is van toepassen van digestaten op de biodiversiteit in de bodem. De resultaten van Nielsen et al. (2020) tonen aan dat de toepassing van digestaat microbiële activiteit voor een aantal weken kan stimuleren, maar dat er geen blijvend effect is. Eveneens werden er geen negatieve effecten op microbiële activiteit waargenomen. Een aantal studies hebben een positief, echter van korte duur, effect gevonden van digestaat toediening op de microbiële diversiteit en activiteit in de bodem (Coelho, Hennessy, Casey, Bragança, et al., 2020; García-Sánchez et al., 2015; Johansen et al., 2013; Rózyło & Bohacz, 2020). In een review van Möller (2015) blijkt dat digestaat, in vergelijking tot synthetische meststoffen of onbemeste controles, een hogere microbiële activiteit veroorzaakt. Echter blijkt uit deze review ook dat deze microbiële activiteit in de meeste experimenten op de korte termijn lager of gelijk was aan de microbiële activiteit na toediening van het (onvergiste) inputmateriaal, wat kan worden verklaard door de lage fractie makkelijk afbreekbare C in het vergiste materiaal. Een recent, twee jaar durend veldexperiment toonde eveneens geen effecten van digestaat op de microbiële gemeenschap (Coelho et al., 2020a). Er zijn indicaties dat op de langere termijn de samenstelling van het bodemleven kan veranderen door toepassing van het digestaat, maar hierover is nog veel onduidelijk (Möller, 2015). De micro-organismen die veel aanwezig zijn in de vergister, veelal anaerobe bacteriën, profiteren vooral van de hogere temperaturen en het gebrek aan zuurstof. Dit zou verklaren waarom ze na toediening op de bodem niet overleven. Kortom, er worden veel micro-organismen van agronomisch nut gevonden in het digestaat in de vergister. Het is nog niet volledig duidelijk in hoeverre deze overleven na toepassing op het land en dus (op de langere termijn) een voordeel kunnen bieden aan C-opslag en gewasgroei (Coelho et al., 2020a; Möller, 2015).

Termorshuizen & Postma (2021) hebben meerdere organische stoffen beoordeeld op effecten op bodemgezondheid en bodemvruchtbaarheid, waaronder de vaste fractie van suikerbietendigestaat. Het effect op het bodemleven, inclusief de ziekteverwekkende aspecten, is volgens de auteurs nog niet onderzocht voor suikerbietendigestaat. Het product is naast compost een van de weinige betaalbare producten die in bulk

EOS kan aanvoeren, aangezien de gebruiksnorm voor dierlijke mest niet van toepassing is op deze (volledig plantaardige) meststof. De humificatiecoëfficiënt (HC, de fractie van de organische stof die een jaar na toediening aan de bodem nog over is) is met 0,5 geringer dan die van compost. Dit betekent dat de organische stof sneller ter beschikking komt aan het bodemleven dan compost, maar weer niet zo snel als bijvoorbeeld vers berm- en slotmaaisel en drijfmesten. Daardoor wordt verwacht dat het product een intenser, maar korter durend effect op het bodemleven zal hebben dan compost.

2.4.3 Bodemstructuur

De toepassing van digestaat kan een direct effect hebben op bodemstructuur door de positieve invloed op het organische koolstofgehalte en de aggregaatstabiliteit (Frøseth et al., 2014; Pastorelli et al., 2021) en door het verlagen van de bulkdichtheid, doorlaatbaarheid en waterhoudend vermogen (Garg et al., 2005). Door regenwormenpopulaties te beïnvloeden, kan de toepassing van digestaat ook een indirect effect hebben op de bodemstructuur. De aanwezigheid van regenwormen in de bodem heeft belangrijke effecten op de bodemstructuur door bulkdichtheid te verlagen, aggregaatstabiliteit te verbeteren, macroporiën te openen en waterhoudende eigenschappen van de bodem te verbeteren (Kavdir & Lay, 2011). Een studie (drie jaar) met vergiste dierlijke mest laten zien dat het effect op de regenwormenpopulatie vergelijkbaar positief was als met onvergiste dierlijke mest en dat de populatie groter was dan in de onbemeste controle en de minerale referentie (Koblenz et al., 2015). In een korter durende studie werden echter geen effecten van digestaat op wormpopulaties gemeten (Frøseth et al., 2014). Ook blijkt dat de toediening van digestaat vooral impact heeft op de samenstelling en diversiteit van de wormenpopulatie (Ernst et al., 2008). Dit kan ook weer een indirect effect kan hebben op de bodemstructuur, aangezien niet alle type regenwormen op dezelfde manier en diepte door de grond bewegen. Uit deze studies is het totale (indirecte) effect op bodemstructuur door wormenpopulaties nog niet volledig duidelijk. Het organisch materiaal in het digestaat kan als voeding dienen voor de regenwormen, maar tegelijk kunnen hoge minerale N-gehalten kan ook juist ongunstig zijn voor het verblijven van de wormen in de bodem, met name direct na toepassing (Moinard et al., 2021; Rollett et al., 2021). De langetermijneffecten (twee jaar) van deze studies zijn echter tegenstrijdig en hoe de onderzoeksresultaten zich vertalen van dierlijk naar plantaardig digestaat is ook niet duidelijk.

2.4.4 Bodemchemie

Digestaten hebben over het algemeen een verhoogde pH ten opzichte van de inputmaterialen (Gutser et al., 2005; Möller & Müller, 2012). Toepassing van digestaat kan dan ook zorgen voor een verhoogde pH in de bodem ten opzichte van onbemeste of met dierlijke mest bemeste referenties. Uit een recente veldstudie van twee jaar blijkt dat door de toediening van digestaat (inputmateriaal: voedselafval en zuiveringsslib) de plantbeschikbaarheid van nikkel, cadmium, zink en chroom wel was toegenomen, terwijl dit voor koper, magnesium en molybdenum niet het geval bleek (Dragicevic et al., 2018). Uit deze studie bleek eveneens dat de pH en de hoeveelheid opgeloste organische koolstof (dissolved organic carbon, DOC) belangrijke factoren waren die de oplosbaarheid van de zware metalen bepaalden. Uiteindelijk werd er in de behandeling met digestaat geen verhoogde opname van de zware metalen gevonden in het graangewas ten opzichte van de referentiebehandelingen. Ook lijkt het risico op uitspoeling van zware metalen na de toepassing van digestaat laag te zijn, vergelijkbaar met de toepassing van het inputmateriaal (in dit geval onvergiste dierlijke mest; Dragicevic et al., 2017). De toepassing van digestaat heeft verder een positief effect op de N-, P- en organischestofgehalten in de bodem en stimuleert microbiële activiteit direct na toepassing (Möller, 2015; Nkoa, 2014).

2.5 Effecten van digestaat op waterkwaliteit

Uit een review door Möller (2015) blijkt dat het vergistingsproces zelf geen directe impact heeft op het risico op nitraatuitspoeling van het organisch materiaal. Hoewel het minerale N-gehalte van vergist materiaal in eerste instantie hoger is, wijzen verschillende veldstudies uit dat er in het najaar (het begin van de uitspoelingsperiode) geen verschillen meer zijn in de minerale N-content in de bodem tussen bodems bemest met vergiste en onvergiste dierlijke mest. Vergeleken met minerale kunstmest heeft digestaat (net als andere organische mesten) vaak wel een lagere N-gebruiksefficiëntie, aangezien de stikstof geleidelijk vrijkomt en daardoor lastiger af te stemmen is op de gewasbehoefte. Hierdoor kan er meer stikstof worden

gemineraliseerd in de bodem op momenten dat dit niet nodig is, waardoor het risico op uitspoeling verhoogd wordt (Möller, 2015). Digestaten bevatten wel een verhoogd mineraal N-gehalte in vergelijking tot de inputmaterialen, waardoor het extra belangrijk is om het digestaat op de juiste manier en op het juiste tijdstip toe te passen.

Uit verschillende studies (De Ruijter et al., 2010; Mitchell et al., 2000; Thomsen & Christensen, 1998) blijkt ook dat wanneer gewasresten in het najaar van het land worden gehaald dit kan zorgen voor verminderde mineralisatie en minder uitspoeling. Door middel van anaerobe vergisting kunnen de gewasresten worden gevaloriseerd (Agneessens et al., 2014) en de nutriënten kunnen in de vorm van digestaat in een minder uitspoelingsgevoelige periode weer op het land worden teruggebracht.

2.6 Effecten van digestaat op gasvormige emissies

2.6.1 Broeikasgasemissies

Anaerobe vergisting interacteert op verschillende manieren met broeikasgasuitstoot. Tijdens de vergisting kunnen op locatie directe verliezen zijn van methaan (CH_4) en lachgas (N_2O). Tegelijk vervangt biogas gewonnen uit de vergister fossiel aardgas en worden daarmee dus indirect broeikasgasemissies vermeden. Het risico op N_2O -emissies tijdens opslag is voornamelijk afhankelijk van de methode van opslag (Möller, 2015). Wanneer digestaat luchtdicht wordt opgeslagen, is er weinig risico op N_2O -emissies, vanwege de zuurstofloze omstandigheden. In open opslagruimtes is er echter wel een hoger risico op N_2O -emissies, vooral in de zomer. Ook maakt het uit of de dunne en dikke fractie van het digestaat apart worden opgeslagen en ook het ammonium (NH_4^+) en nitraat (NO_3^-) gehalte in het digestaat is van invloed. Vooral in open opslag van de vaste fractie van digestaat lijkt veel N_2O vrij te komen. Er zijn echter geen studies beschikbaar waarin de N_2O emissies tijdens de opslag van digestaat vergeleken worden voor verschillende inputmaterialen (Möller, 2015).

Uit dezelfde review blijkt dat er veel onzekerheden zijn wat betreft de hoogte van N_2O -emissies na toepassing op de bodem. De meeste van de studies in de review laten zien dat er een reductie plaatsvindt in N_2O -emissies na toepassing van digestaat ten opzichte van toepassing van het onvergiste inputmateriaal. Dit wordt ook bevestigd in de review door Nkoa (2014). Hier wordt de verklaring gegeven dat digestaat minder makkelijk afbreekbare C bevat en dat het daardoor minder energie levert voor denitrificerende bacteriën. Wel wordt benadrukt dat een juiste timing (in het voorjaar, na de vorst) belangrijk is om N_2O -emissies te minimaliseren, evenals een goed gedraineerde en zuurstofrijke bodem. Factoren zoals bodemtype, vochtgehalte en bodemorganische stof spelen een belangrijke rol, en maken het tegelijkertijd ingewikkeld om de onderzoeksresultaten te interpreteren. Eveneens is het lastig te zeggen hoe de studies in de review met vergiste dierlijke mest te vergelijken zijn met vergist plantaardig materiaal. Hoewel er een vergelijkbaar effect te verwachten is, zouden meer proeven met plantaardig digestaat hier beter inzicht in kunnen geven.

Hoewel vergisting kan leiden tot broeikasgasemissies tijdens productie, opslag en aanwending, komen er uit onvergist organisch materiaal ook broeikasgassen vrij. Uit gewasresten die worden achtergelaten op het land komt CO_2 en N_2O vrij (Badagliacca et al., n.d.; Velthof et al., 2002), eveneens als gewasresten zouden worden gecomposteerd (Boldrin et al., 2009). Vergisting van gewasresten wordt beschouwd als een mogelijke strategie om broeikasgasemissies te verlagen, zowel vanwege de verminderde directe emissies t.o.v. onvergiste gewasresten of compostering als vanwege het vervangen van fossiel gas door biogas (Abalos et al., 2022).

2.6.2 Ammoniak

Digestaten bevatten over het algemeen hogere concentraties NH_4 en hebben een hogere pH dan het inputmateriaal, waardoor er een hoger risico op ammoniakemissies naar de omgeving is. Een bodem met een hoge pH leidt namelijk tot een hogere potentiële ammoniakemissie (Van Rotterdam et al., 2015). Dit kan zowel voorkomen bij opslag als na toepassing op de bodem. Echter zijn de resultaten van studies die ammoniakemissies uit digestaat en het onvergiste inputmateriaal vergelijken soms tegenstrijdig, en zijn er zowel studies die hogere als lagere emissies rapporteren. Toch lijken de studies die hogere emissies

rapporteren wel de overhand te hebben (Möller, 2015; Nkoa, 2014). De studies die in deze reviews zijn meegenomen, zijn echter wel gebaseerd op digestaat van dierlijke mest.

Een recent driejarig veldexperiment met digestaat van met name zuiveringsslib laat zien dat de ammoniakemissie (zowel als % TAN als in kg N ha^{-1}) vergelijkbaar is met ureum, wanneer geïnjecteerd op 15 cm diepte (Zilio et al., 2021). Een ander veldexperiment laat zien dat injectie van (dierlijk) digestaat resulteert in 69-77% reductie van ammoniak ten opzichte van oppervlakkige bemesting (Riva et al., 2016). Beide studies laten zien dat de gewasopbrengsten na toepassing van digestaat en ureum vergelijkbaar zijn. Behalve injectie blijkt het scheiden van de dunne en dikke fractie van het digestaat een effectieve manier om ammoniakemissies uit digestaat te beperken (Holly et al., 2017).

2.7 Synthese literatuurstudie

Uit de literatuurstudie kan worden opgemaakt dat er geen reden is om aan te nemen dat de toepassing van plantaardig digestaat als meststof negatieve effecten heeft op gewasopbrengst, bodemkwaliteit of emissies ten opzichte van drijfmest of kunstmest. Wel is de kwaliteit van het digestaat sterk afhankelijk van de inputmaterialen, wat het lastig maakt om de resultaten uit verschillende studies te generaliseren. De onzekerheid geldt met name voor de bemestende waarde en de gehalten zware metalen in het digestaat. Ook de effecten van digestaat op verschillende bodemtypes is nog onderbelicht in de literatuur. Experimenteel werk (Hoofdstuk 3 en 4) moet daarom specifieker uitwijzen wat de effecten van enkele typen plantaardig digestaat (van gewasresten, bietenresten en bietenblad) zijn op gewasopbrengst, bodemkwaliteit en emissies uit zand- en kleigrond.

3 Materiaal en methode

Om de potentie van plantaardige digestaten als meststof in kaart te brengen, zijn drie onderzoeken uitgevoerd: 1) analyses van de samenstelling van plantaardige digestaten met verschillende grondstoffen (o.a. verschillende plantaardige reststromen, bietenpunten, bietenblad) en een aantal referentiemeststoffen (vergiste en onvergiste runderdrijfmest, gft- en groencompost) op o.a. DS, OS, nutriënten en zware metalen; 2) een incubatieproef met bovengenoemde digestaten, twee grondsoorten (zand en klei), bovengenoemde referentiemeststoffen en kunstmest, waarin respiratie (CO₂) en het broeikasgas lachgas (N₂O) werden gemeten en 3) een potproef met een gewas, in dit geval gras (*Lolium perenne*), om de stikstofwerking van bovengenoemde digestaten als meststof te toetsen. Hierbij werden ook lachgas- en ammoniakemissies gemeten, evenals effecten op de bodemvruchtbaarheid.

3.1 Meststof en bodemcollectie en analyse

De twee grondmonsters (Tabel 3) en acht meststoffen (Tabel 4) voor de lab-incubatie en de potproef zijn verzameld uit verschillende locaties in Nederland. In beide proeven zijn een zandbodem en een kleibodem gebruikt, beide bodems zijn verzameld op bemeste gronden van Unifarm (zandgrond biologisch beheerd), in de buurt van Wageningen. De grondmonsters en de organische meststoffen zijn geanalyseerd voor OS, nutriënten, pH en zware metalen bij Eurofins agro. De meststoffen worden door Eurofins onderverdeeld in verschillende reststromen waar andere parameters worden gemeten. Digestaten vallen onder zuiveringsslib, waarbij NH₄⁺ en een aantal zware metalen niet wordt gemeten. Gewasrest-, bieten- en bietenblad-digestaat vallen onder 'overige organische meststoffen' en worden getoetst aan de wettelijke norm Tabel 1 en Tabel 2). Hierbij wordt eerst bepaald wat het waardegevend bestanddeel is (fosfaat, stikstof, kali, neutraliserende waarde of organische stof), en dus voor welk van deze stoffen de toetsing wordt gedaan.⁴

Tabel 3 Eigenschappen van de twee bodems.*

	Zand	Klei
Coördinaten	x:173926 y: 44642	x:172121 y:440522
Textuur	Zand: 80% zand, 14% leem en 3% klei	Lichte klei: 11% zand, 54% leem en 29% klei
OS%	3,0	3,5
pH	5,6	7,1
C/N	14	9
N-totale bodemvoorraad (mg N/kg)	1170	1800
P-bodemvoorraad (PAL, mg P ₂ O ₅ /kg)	620	340
Koolzure kalk (%)	<0,2	2,5

* Volledige analyserapporten in Bijlage 1.

⁴ <https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksinstituten/food-safety-research/analyseren-van-voedsel-en-diervoeder/contaminanten/rekentool-co-materialen-mestvergisting.htm>

Tabel 4 Overzicht meststoffen gebruikt in experimenten.

Naam meststof	Beschrijving meststof	Oorsprong
Kunstmest	KAS	-
Runderdrijfmest	Reguliere runderdrijfmest	Lokale boerderij Haarlo
Co-vergiste runderdrijfmest	Runderdrijfmest co-vergist met plantenresten	Lokale boerderij Haarlo
Gewasrest-digestaat	Digestaat van verschillende plantaardige inputmaterialen (o.a. groenteteeltresten)	B4Agro Warmenhuizen
Bieten-digestaat	Digestaat van alleen suikerbietenresten	COSUN Groningen (Suikerfabriek Viervelaten)
Bietenblad-digestaat	Digestaat van vooral suikerbietenblad	COSUN Groningen (Suikerfabriek Viervelaten)
Groencompost	Compost van groenafval uit het openbaar groen	Recom Ede
Gft-compost	Compost van huishoudelijk organisch afval	Attero Venlo

3.2 Laboratoriumincubatie

3.2.1 Introductie

De incubatieproef is uitgevoerd met als doel te bepalen welke broeikasgassen vrijkomen na toepassing van de meststoffen op de minerale bodem (klei of zand). Door meststoffen toe te voegen aan bodems in het laboratorium is er geen interactie met een groeiend gewas, zodat alleen het effect van het toedienen van de meststof kan worden bestudeerd. Ook kunnen de temperatuur en het vochtgehalte gelijk worden gehouden, zodat er geen extra variërende factoren meespelen.

3.2.2 Proefopzet

Lachgas (N₂O) en koolstofdioxide (CO₂) zijn gemeten tijdens een lab-incubatie van 74 dagen (Figuur 3). De twee bodems (zand en klei) werden behandeld met in totaal 10 verschillende behandelingen: de controle, kunstmestbehandeling en verschillende organische meststoffen met verschillende wijzen van toepassing (Tabel 5). In de incubatieproef zijn de meststoffen toegepast door de mest te injecteren (hier werd er een gleuf in de bodem gesneden en zo de mest toegevoegd) of door het te mengen met de gehele bodem. De (co-vergiste) runderdrijfmest werd geïnjecteerd, de composten werden met de bodem gemengd en de plantaardige digestaten werden op beide manieren toegepast. Deze 2 bodems, 10 behandelingen en 4 herhalingen van elke combinatie gaf een totaal van 80 potjes. Deze potjes zijn gemaakt van polypropyleen (diameter: 6.7 cm, hoogte: 14 cm, volume: 500 cm³). In elk potje zat 200 gram luchtdroge bodem die bevochtigd werd tot 60% van de water holding capacity (WHC). Meststoffen werden aan de bodem toegevoegd op basis van 170 kg N/ha, wat gelijk staat aan de wettelijke gebruiksnorm voor dierlijke meststoffen. De omrekening naar hoeveelheid mest per pot is gedaan op basis van het bodemvolume en de bulkdichtheid van de bodem. De gemengde bodem werd voorzichtig aangestamp tot een hoogte van 5 cm om een bulkdichtheid van 1,1 g/cm³ te krijgen.

Tabel 5 Meststoffen en methode van toediening, in de incubatieproef zijn de meststoffen of geïnjecteerd (diepte 2 cm) of gemengd door de bodem, in de potproef zijn de meststoffen op het oppervlak aangebracht of geïnjecteerd tot een diepte van 5 cm.

Behandeling	Incubatieproef	Potproef
Controle	n.v.t.	n.v.t.
Kunstmest (KAS)	Oppervlak	Oppervlak
Runderdrijfmest	Injectie	Injectie
Co-vergiste runderdrijfmest	Injectie	Injectie
Gewasrest-digestaat	Injectie (4) & Gemengd	Injectie & oppervlak
Bieten-digestaat	Injectie (4) & Gemengd	Injectie & oppervlak
Bietenblad-digestaat*		Injectie & oppervlak
Groencompost	Gemengd	Oppervlak
Gft-compost	Gemengd	Oppervlak

* Het bietenblad-digestaat is alleen voor de potproef gebruikt, aangezien dit alleen beschikbaar is in het najaar tijdens de oogst van de suikerbieten en was nog niet beschikbaar toen de incubatieproef werd gestart.

De potjes zijn bewaard bij 16°C in het donker door ze te bedekken met een doek om verlies van water te voorkomen. Het watergehalte is stabiel gehouden door de potten tweemaal per week gravimetrisch aan te passen. Op dag 7 en 14 is een regenbui gesimuleerd waarbij 10 ml extra water werd toegediend in elke pot. Daarbij wordt de kleibodem opgebracht naar 72% WHC en de zandgrond naar 83% WHC. Lachgas en CO₂ zijn in de eerste week om de dag gemeten, in de 3 weken daaropvolgend werd het 2 keer per week gemeten en vervolgens is de CO₂ meting nog 1 keer per 2 weken gedaan tot het einde van het experiment.



Figuur 3 De opzet van de lab-incubatie, de potjes met bodem aangedrukt tot 5 cm (links). De metingen van broeikasgassen werden uitgevoerd met een Innova-gasmonitor (rechts). Twee slangetjes werden met naalden in de potjes gestoken om zo na 10 minuten een luchtmonster te nemen.

3.3 Potproef

3.3.1 Introductie

De potproef is uitgevoerd met als doel de bemestende waarde van de meststoffen te bepalen. In dit geval is gras (*Lolium perenne*) gebruikt als gewas. Om dit te doen, worden de verschillende meststoffen toegediend op basis van 155 kg N/ha. Elke pot ontvangt dezelfde hoeveelheid (totale) N, bodem en graszaad. Na bemesting worden de lachgasemissies, grasopbrengst, de kwaliteit van het gras (stikstofgehalte, C/N-ratio) de minerale N in de bodem en de ammoniakemissies bepaald. In de kas kan het vochtgehalte gelijk worden gehouden in de verschillende potten. Verder is het een versnelde manier om het effect van meststoffen te testen op de grasopbrengst, zonder dat variatie in het veld of andere complicerende factoren een rol kunnen spelen. Kortom, kasproeven zijn geschikt om meststoffen onderling te kunnen vergelijken onder gecontroleerde omstandigheden, maar niet om werkelijke gewasopbrengsten te berekenen.

3.3.2 Proefopzet

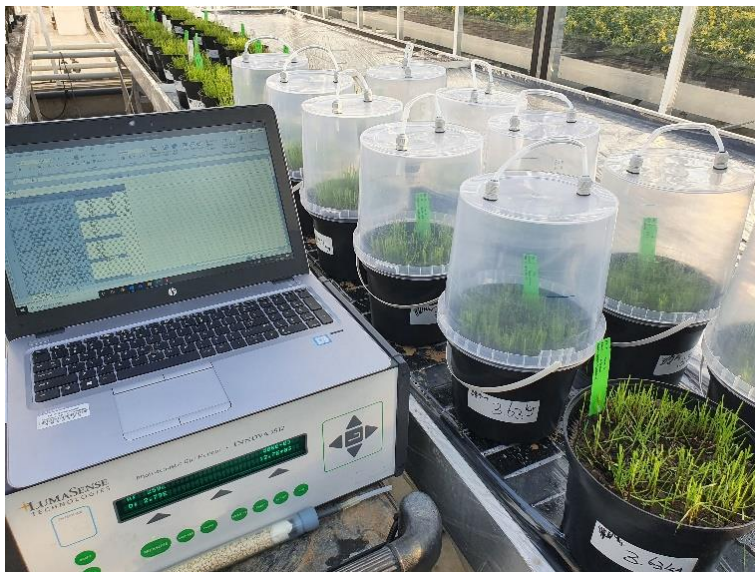
De potproef is wederom op zand en klei (Tabel 3) uitgevoerd, met vier replica's per behandeling (Tabel 5), wat uiteindelijk resulteerde in 96 potten. Per pot is 3,5 kg droge grond is op 60% WHC gebracht en aan plastic potten toegevoegd (20cm Ø, 20cm hoog). De volgende dag is in elke pot 1 gram graszaad gezaaid met een startbemesting van 15 kg N/ha kunstmest (ammoniumnitraat oplossing). Na de eerste grassnede (~3 weken na zaaien) zijn de behandelingen ingezet (Tabel 5). De meststoffen zijn toegediend op basis van 155 kg N/ha, zodat er samen met de bemesting van 15 Kg N/ha bij de start wederom 170 kg N/ha in totaal werd bemest. De omrekening van kg/ha naar hoeveelheid per pot is gedaan op basis van de hoeveelheid grond in de pot (3,5 kg) en de bulkdichtheid van de grond (1,4 g/cm³).



Figuur 4 Het zaaimoment van de potproef (links) en de eerste grassnede voor bemesting (rechts).

3.3.3 Lachgasemissies

Lachgasemissies zijn gemeten op alle potten op 2, 4, 6, 11, 13, 16 en 18 dagen na toedienen van de meststoffen. N₂O werd gemeten door een kamer te plaatsen over de pot. De Innova-gasmonitor werd door middel van twee slangen aangesloten op de kamer en nam zo een luchtmonster.



Figuur 5 Broeikasgasmeting in de potproef met de Innova-gasmonitor.

3.3.4 Grasopbrengst en N-opname

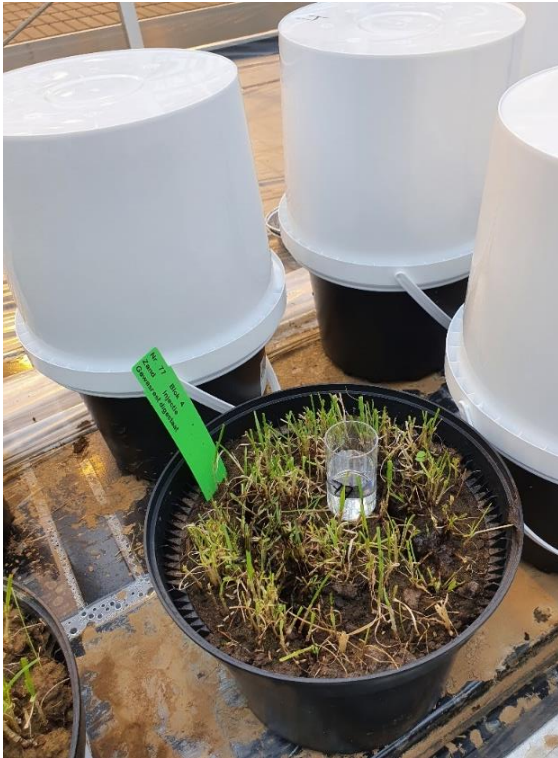
Grassneden zijn uitgevoerd in week 6 en in week 9 na de bemesting. Gras is afgesneden tot 3 cm boven de bodem, gedroogd op 70°C voor 48 uur en gewogen. Droge grasmonsters zijn gemalen tot 0,5 mm, vervolgens fijngemalen met een *ball mill* en daarna geanalyseerd voor C- en N-gehalte op de C/N-analyser.

3.3.5 Minerale N bodem

In week 9, na de tweede grassnede, zijn drie bodemmonsters (Ø 1 cm, 20 cm diep) gestoken per pot. Deze monsters zijn gedroogd bij 40°C, gemalen, gezeefd op 2 mm. Vervolgens is 3 gram bodem geëxtraheerd met 30 ml 0,01M CaCl₂ om de minerale N-gehalten te bepalen door middel van SFA (Segmented Flow Analysis; Houba et al., 2008).

3.3.6 Ammoniakemissies

Alhoewel de Innova-gasmonitor ook ammoniak kan meten, geeft dit in de praktijk soms problemen, omdat de ammoniak aan de slangetjes adsorbeert of in het condenswater oplost. Daarom is er een alternatieve methode gebruikt, op basis van oplossen van ammoniak in zuur, om toch een indicatie te krijgen van de ammoniakemissie: de zogenaamde 'acid-trap'-methode (Alexander et al., 2021). Deze methode is niet geschikt voor een absolute bepaling, maar laat wel goed verschillen tussen behandelingen zien. In week 10 zijn daarom alle potten opnieuw bemest met 155 kg N/ha. Binnen 5 minuten na bemesting is er een bekeerglas met 20 ml 2M H₂SO₄ geplaatst in de pot. De pot is vervolgens voor 24 uur luchtdicht afgesloten. Vrijgekomen NH₃ dat is gebonden in dit zuur werd vervolgens gemeten met een segmented flow analyzer waar het totale N-gehalte werd bepaald in het zuur.



Figuur 6 Ammoniakemissie-meting door middel van het plaatsen van 20 ml 2M H₂SO₄ in de pot en dit 24 uur luchtdicht af te sluiten.

3.3.7 Data-analyse

De data-analyse is uitgevoerd in R versie 4.0.2 (R core team, 2016). Figuren zijn gemaakt met het pakket ggplot2 (Wickham, 2016) en cowplot (Wilke, 2019). Het effect van bemesting op alle gemeten parameters is getest met lineaire gemengde effectmodellen met de functie *lme* uit het pakket *nlme* (Pinheiro et al. 2016) met 'blok' als random factor. De significantie is bepaald aan de hand van analyse van variantie (ANOVA), anova (base) (R Core Team, 2018). Normaliteit en homogeniteit van de model residual variantie zijn visueel bepaald. Heterogene residual variantie is behandeld door middel van een variantiestructuur in het model met de functie *varIdent* (*nlme*) (Pinheiro et al., 2019). Het model met de variantiestructuur is behouden als het een duidelijk betere fit bedroeg vergeleken met het model zonder variantiestructuur door het model Akaike Information Criterion te vergelijken met Anova (R Core Team, 2018). Significante verschillen tussen de mestbehandelingen zijn bepaald met de 'Tukey's honestly significant difference posthoc test (HSD)' met de functie *emmeans* (Lenth et al., 2019) en *CLD* uit het pakket *multcomp* (Hothorn et al., 2008). De model residuals van de minerale stikstofdata op kleibodem waren niet normaal verdeeld en zijn getransformeerd (1/Nmin).

4 Resultaten

4.1 Karakterisering meststoffen

Over het algemeen hebben de digestaten een hogere pH en een lagere C/N-verhouding dan runderdrijfmest en de composten (Tabel 3). De twee digestaten van bietenmateriaal hebben een lager organischestofgehalte dan de (vergiste) runderdrijfmest en het gewasrest-digestaat, maar een hoger organischestofgehalte dan de composten. De N- en K₂O-gehalten van de digestaten zijn onderling vergelijkbaar en zijn hoger dan runderdrijfmest en de composten. Het bieten(blad)-digestaat is wel een stuk lager in P₂O₅ dan de gewasrest- en runderdrijfmest-digestaten.

De analyseresultaten van zware metalen waren niet in alle gevallen toereikend om de digestaten te toetsen aan de normen, aangezien de standaard analysemethoden niet zijn afgestemd op digestaten (in dat geval wordt het resultaat weergegeven met <). Voor elementen waar wel een resultaat is gevonden, zijn de digestaten niet normoverschrijdend. Groen- en gft-compost overschrijden geen enkele norm voor de toegestane maximale waarden voor zware metalen in compost per kg droge stof ([Bijlage II Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet](#)). Voor dierlijke mest gelden in Nederland en de EU geen normen voor zware metalen.

Tabel 6 PH, C/N-ratio, droge stof (DS), organische stof (OS) en nutriëntengehaltes van de meststoffen.

Meststof	pH	C/N	DS	OS	N	NH ₄ ⁺	K ₂ O	g/kg droge meststof				
								Mg	MgO	P ₂ O ₅	CaO	S
Runderdrijfmest	7,4	7,1	82	750	47,6	30,6	76,8	8,5	14,6	17,1	22,0	0,66
Co-vergiste runderdrijfmest	8,0	5,2	76	709	60,5	44,9	80,2	7,9	13,2	21,1	32,9	0,84
Gewasrest-digestaat	8,2	5,6	115	760	60,6	-	86,0	8,3	14,0	20,6	-	-
Bieten-digestaat	8,4	4,0	87	506	57,7	-	90,0	8,5	14,0	11,5	-	-
Bietenblad-digestaat	7,7	3,8	71	543	64,6	-	88,0	6,8	11,0	10,8	-	-
Groencompost	7,2	13,8	611	186	6,1	-	6,3	1,7	2,8	2,98	-	0,9
Gft-compost	6,4	11,8	687	390	14,9	-	14,0	3,7	6,1	6,87	-	1,9

NB Ammonium, calcium en zwavel wordt door Eurofins niet gemeten in digestaat en compost.

Tabel 7 Gehaltes van micronutriënten en zware metalen van de meststoffen mg/kg droge meststof.

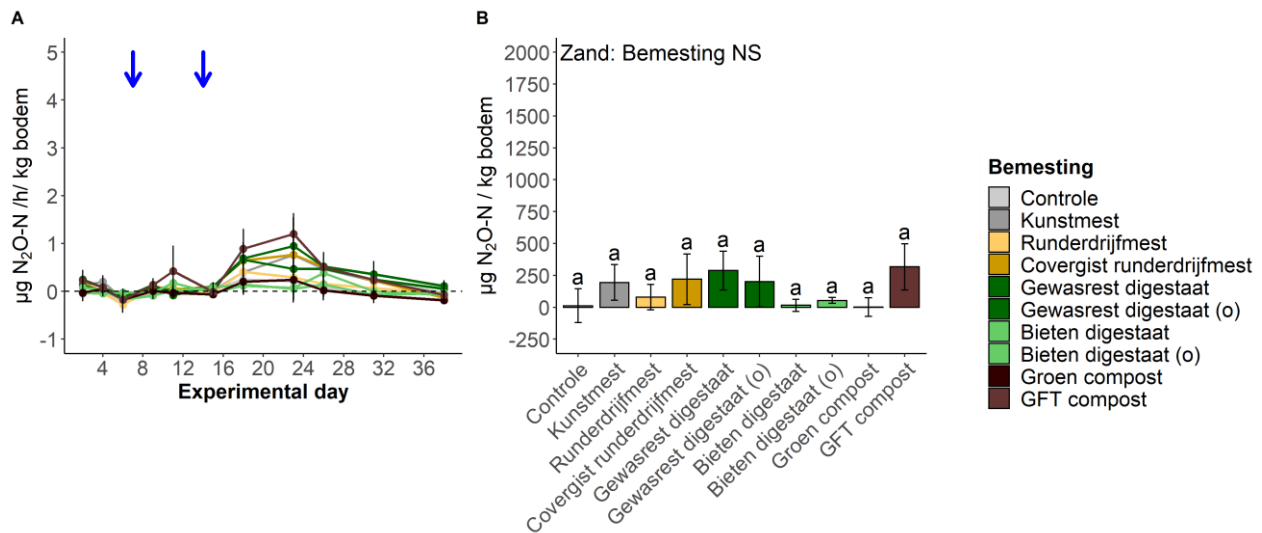
Meststof	B	Cu	Mn	Mo	Zn	Fe	As	Pb	Cd	Cr	Ni	Hg	Th
Runderdrijfmest	35	51	350	2,0	220	1600	2,4	2,7	0,16	16	37	<0,04	<0,37
Co-vergiste runderdrijfmest	51	280	3100	1,9	1700	4100	2,5	4,3	0,26	4,9	13	<0,04	<0,39
Gewasrest-digestaat	-	61	-	-	135	-	<8,7	<53	<1,74	<27	<22	<0,27	-
Bieten-digestaat	-	<46	-	-	254	-	<12	<69	<2,3	<35	<29	<0,35	-
Bietenblad-digestaat	-	30	-	-	246	-	3,9	9,2	0,99	13	18	<0,15	-
Groencompost	-	27	-	-	124	-	3,3	27	0,31	19	9	0,07	-
Gft-compost	-	44	-	-	217	-	3,7	75	0,4	19	9,9	0,08	-

NB Een aantal parameters wordt door Eurofins niet gemeten in digestaat en compost.

4.2 Incubatieproef

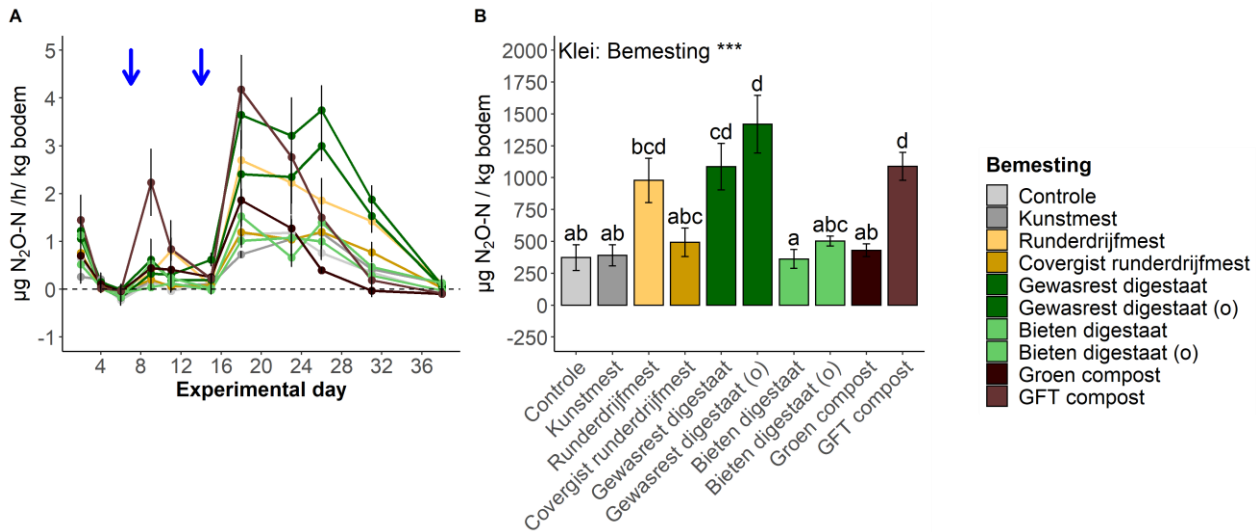
4.2.1 Lachgasemissies

Lachgasemissies uit de zandbodems verschilden niet significant tussen de verschillende meststoffen die waren toegepast (Figuur 1B). Er is een zeer grote spreiding van de data binnen een behandeling. Over het algemeen bleven lachgasemissies laag na toedienen van bieten-digestaat en groencompost. Er is voor lachgasemissies geen verschil tussen injectie of inmengen van de digestaten. Dagelijkse emissies van N₂O waren gemiddeld boven nul na de tweede regenbui in week 2 van het experiment (Figuur 7).



Figuur 7 Lachgasemissies uit zandbodems bemest met verschillende meststoffen. Met A) dagelijkse gemeten emissies en B) cumulatieve emissies over de 38 dagen. Blauwe pijlen geven de dagen van de gesimuleerde regenbui aan. De error bars geven de standaardfout aan (gebaseerd op vier herhalingen). 'o' geeft aan dat deze digestaten zijn gemengd in plaats van geïnjecteerd. De composten zijn ook gemengd met de bodem, terwijl de vergiste en onvergiste runderdrijfmest enkel is geïnjecteerd. Kunstmest is oppervlakkig toegediend.

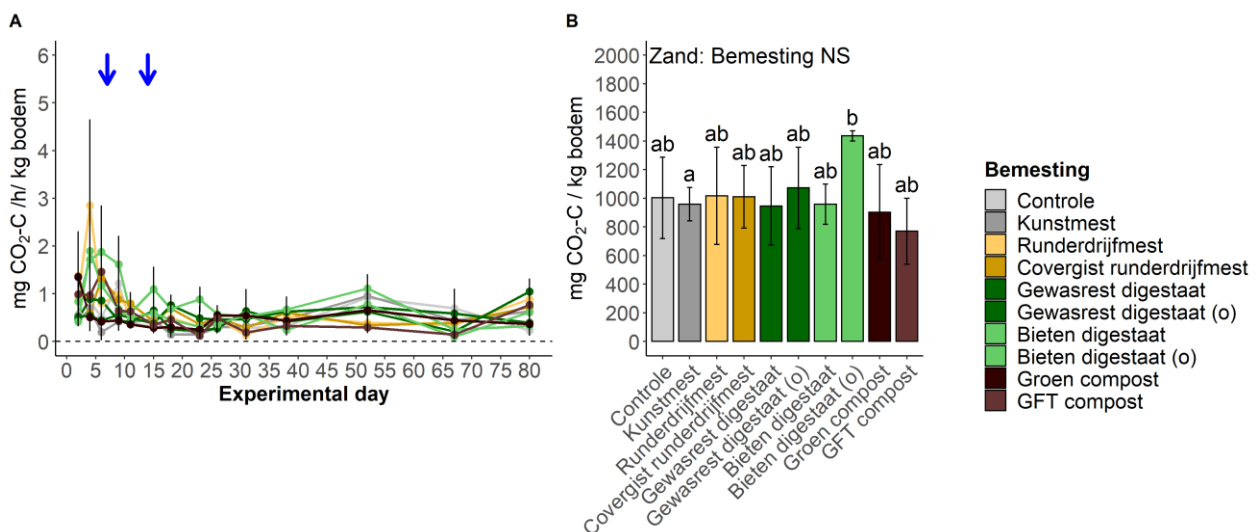
Lachgasemissies uit kleigrond waren wel significant verschillend tussen de behandelingen (Figuur 2B), toediening van runderdrijfmest, gewasrest-digestaat en gft-compost gaf verhoogde N₂O-emissies (~1000-1400 µg N₂O-N/kg bodem) ten opzichte van de andere behandelingen (~400 µg N₂O-N/kg bodem). Ook in kleigrond is er geen verschil tussen injectie/oppervlakkig toedienen van de digestaten. Dagelijkse emissies van N₂O hadden een kleine piek na de eerste regenbui en een langere hogere piek in alle behandelingen na de tweede regenbui in week 2 van het experiment (Figuur 8).



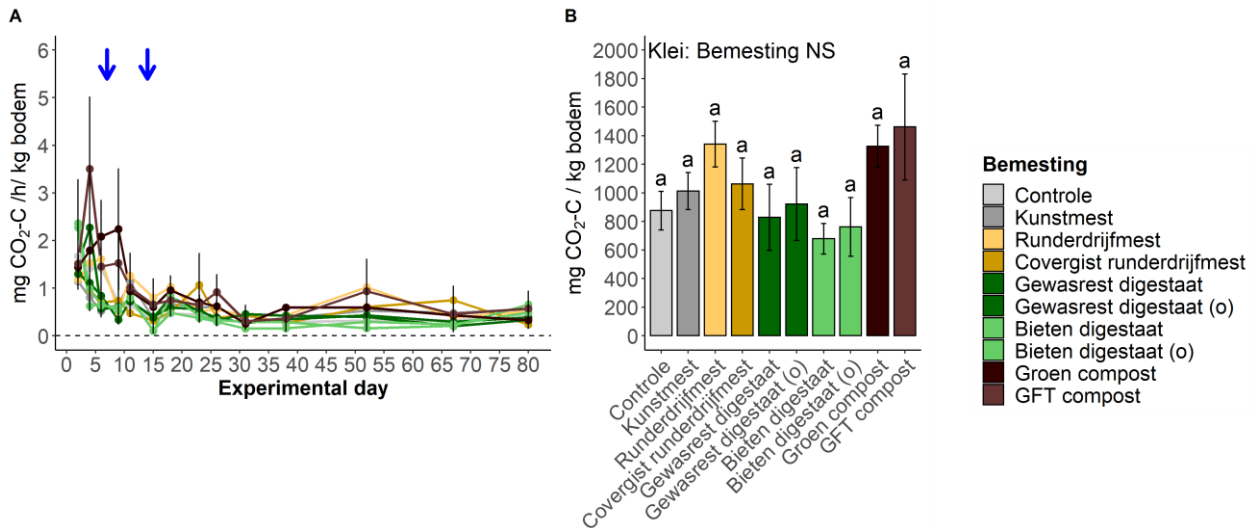
Figuur 8 Lachgasemissies uit kleibodems bemest met verschillende meststoffen. Met A) dagelijkse gemeten emissies en B) cumulatieve emissies over de 38 dagen. Blauwe pijlen geven de dagen van de gesimuleerde regenbui aan. De error bars geven de standaardfout aan (gebaseerd op vier herhalingen). 'o' geeft aan dat deze digestaten zijn gemengd in plaats van geïnjecteerd. De composten zijn ook gemengd met de bodem, terwijl de vergiste en onvergiste runderdrijfmest enkel is geïnjecteerd. Kunstmest is oppervlakkig toegediend.

4.2.2 CO₂-emissies

Er was geen significant verschil in CO₂-emissies na het toedienen van de verschillende meststoffen op de zandbodem (Figuur 9) en op de kleibodem (Figuur 10). Toch is er een trend te zien ($p = 0.1$) dat CO₂-emissies uit kleigrond verhoogd waren na toediening van runderdrijfmest en de twee composten vergeleken met de drie toegediende digestaten (Figuur 10B). Op beide bodems zijn de emissies in de eerste week na het bemesten het hoogst, daarna stabiliseren de emissies tot ~ 0.5 mg CO₂-C/h/kg bodem. De CO₂-uitstoot is niet veranderd door de gesimuleerde regenbui.



Figuur 9 CO₂-emissies uit zandbodems bemest met verschillende meststoffen. Met A) dagelijkse gemeten emissies en B) cumulatieve emissies over de 80 dagen. Blauwe pijlen geven de dagen van de gesimuleerde regenbui aan. De error bars geven de standaardfout aan (gebaseerd op vier herhalingen). 'o' geeft aan dat deze digestaten zijn gemengd in plaats van geïnjecteerd. De composten zijn ook gemengd met de bodem, terwijl de vergiste en onvergiste runderdrijfmest enkel is geïnjecteerd. Kunstmest is oppervlakkig toegediend.



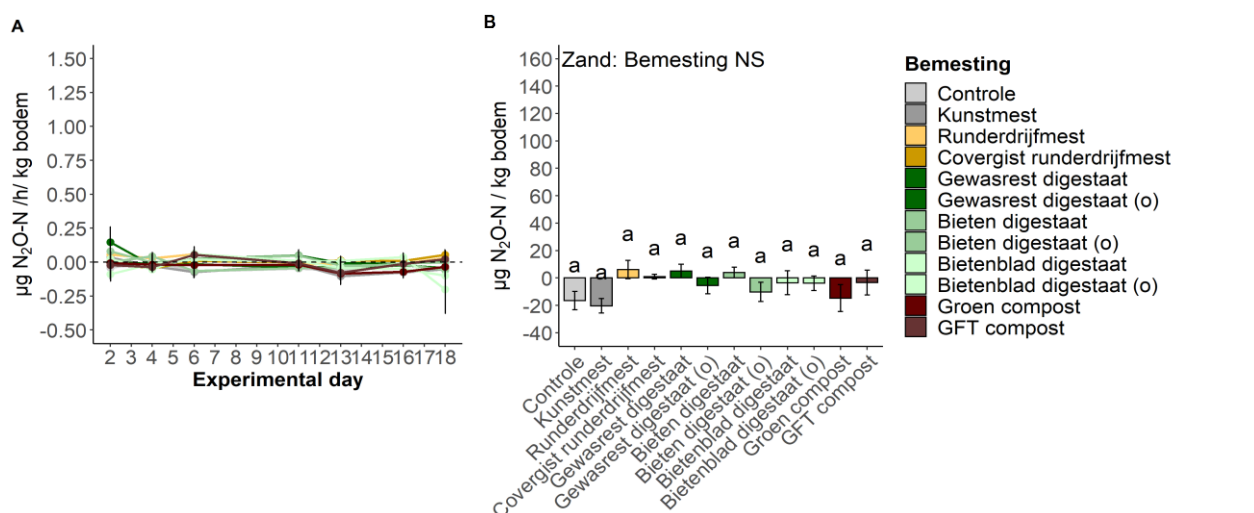
Figuur 10 CO₂-emissies uit kleibodems bemest met verschillende meststoffen. Met A) dagelijkse gemeten emissies en B) cumulatieve emissies over de 80 dagen. Blauwe pijlen geven de dagen van de gesimuleerde regenbui aan. De error bars geven de standaardfout aan (gebaseerd op vier herhalingen). 'o' geeft aan dat deze digestaten zijn gemengd in plaats van geïnjecteerd. De composten zijn ook gemengd met de bodem, terwijl de vergiste en onvergiste runderdrijfmest enkel is geïnjecteerd. Kunstmest is oppervlakkig toegediend.

De CO₂-metingen zouden gebruikt worden voor het bepalen van de humificatiecoëfficiënt (HC). Deze geeft een indicatie voor de afbreekbaarheid van vers organisch materiaal en wordt gebruikt om de hoeveelheid effectieve organische stof te bepalen. Dit is de fractie van de organische stof die een jaar na toediening aan de bodem nog over is. Hoe hoger de HC, hoe stabielere organische stof. Echter de hoeveelheden organische stof die in deze proef zijn toegediend, waren te laag om een goede HC uit af te leiden, omdat de toediening was gebaseerd op de hoeveelheid N. De CO₂-emissie uit de controle was vergelijkbaar of soms zelfs hoger dan die uit de meststoffen.

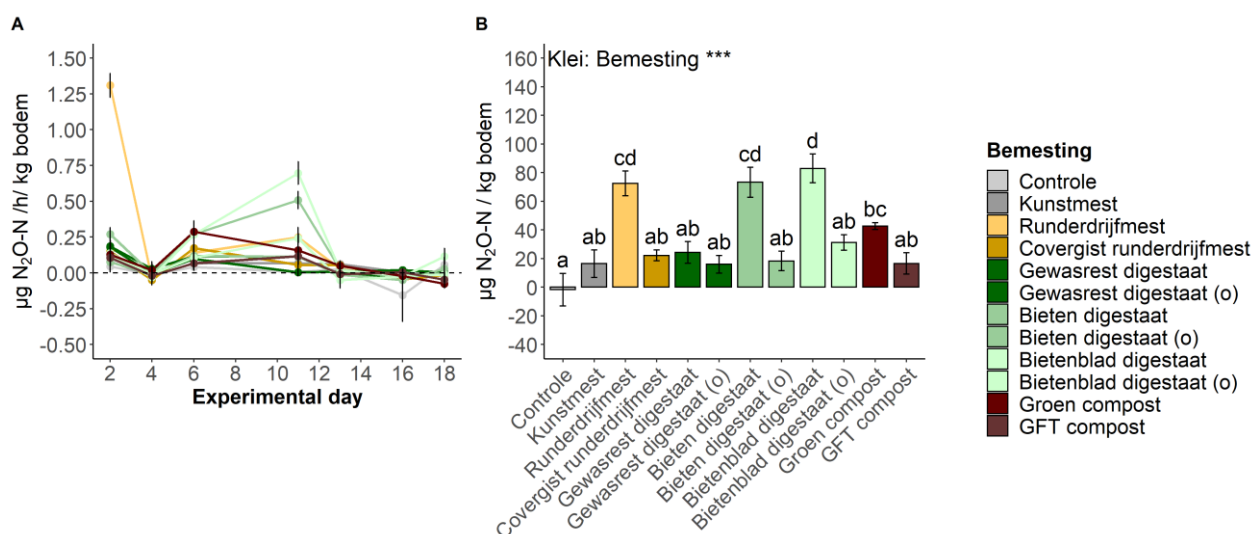
4.3 Potproef

4.3.1 Lachgasemissies

Lachgasemissies verschillen niet significant tussen alle meststoffen toegediend op zandbodems (Figuur 11). Voor zandgrond zijn de emissies zo laag dat de verschillen als ruis gezien moeten worden. Dit kan dan ook de negatieve emissies, dus opname van N₂O, verklaren. Op kleigrond (Figuur 12) zijn emissies uit runderdrijfmest, bieten-digestaat en bietenblad-digestaat duidelijk hoger dan uit de andere meststoffen. Dit geldt alleen wanneer deze meststoffen worden geïnjecteerd. Het tijdstip van de emissies is verschillend: onvergiste runderdrijfmest veroorzaakte een piek in de eerste dagen van toepassing, terwijl de piek voor het bieten(blad)-digestaat pas na elf dagen plaatsvond. Bij oppervlaktebemesting van de plantaardige digestaten zijn de lachgasemissies niet significant hoger dan de controle.



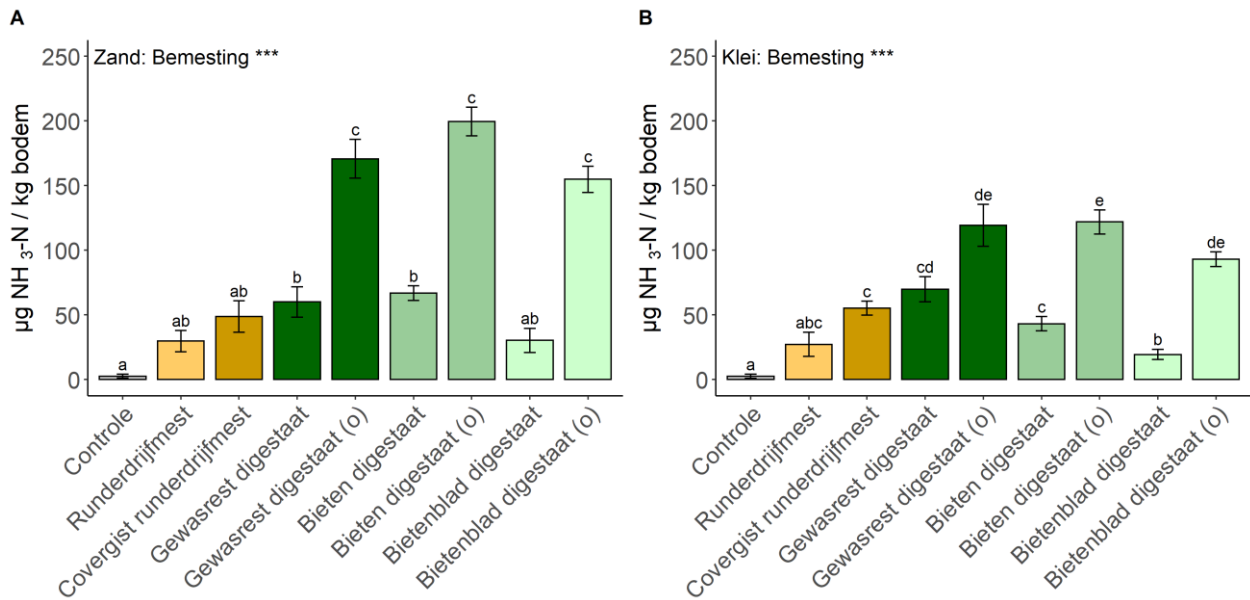
Figuur 11 Lachgasemissies uit zandbodems bemest met verschillende meststoffen. Met A) dagelijkse gemeten emissies en B) cumulatieve emissies over de 13 dagen. De error bars geven de standaardfout aan (gebaseerd op vier herhalingen), de verschillen tussen de behandelingen waren niet significant. 'o' geeft aan dat deze digestaten oppervlakkig zijn toegediend in plaats van geïnjecteerd. De composten en kunstmest zijn ook oppervlakkig toegediend aan de bodem, terwijl de vergiste en onvergiste runderdrijfmest enkel is geïnjecteerd.



Figuur 12 Lachgasemissies uit kleibodems bemest met verschillende meststoffen. Met A) dagelijkse gemeten emissies en B) cumulatieve emissies over de 18 dagen. De error bars geven de standaardfout aan (gebaseerd op vier herhalingen). 'o' geeft aan dat deze digestaten oppervlakkig zijn toegediend in plaats van geïnjecteerd. De composten en kunstmest zijn ook oppervlakkig toegediend aan de bodem, terwijl de vergiste en onvergiste runderdrijfmest enkel is geïnjecteerd.

4.3.2 Ammoniakemissies

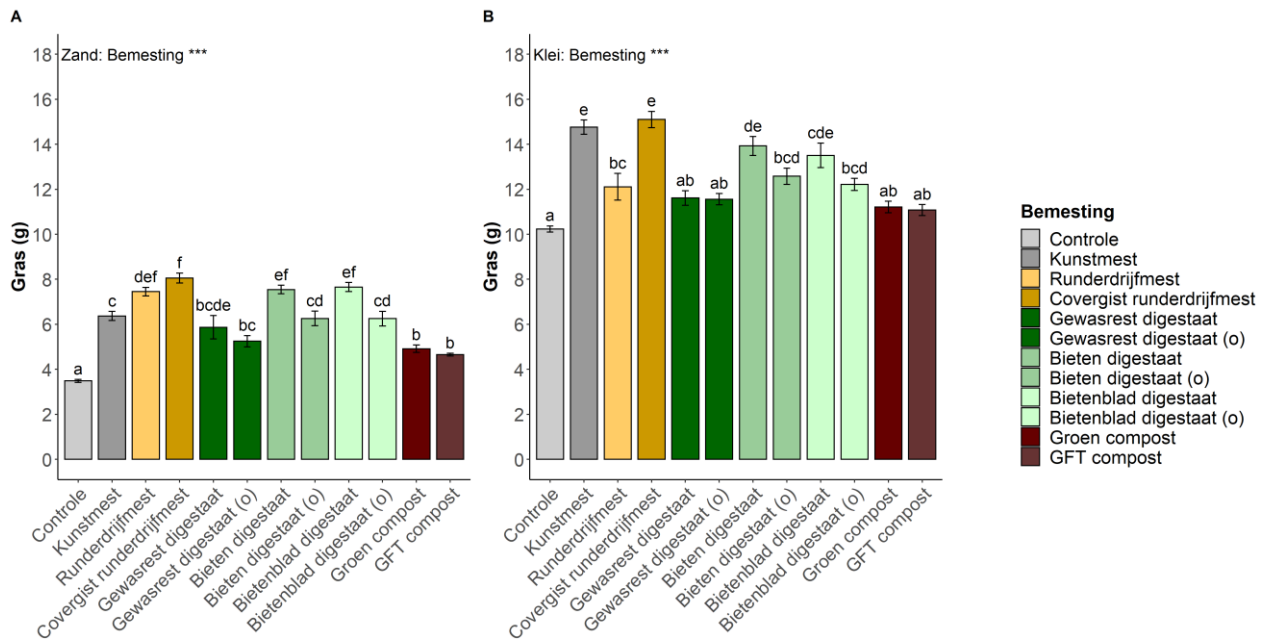
Zowel op de zand- als kleigrond zijn er significante verschillen tussen de behandelingen, waarbij vergelijkbare trends te zien zijn (Figuur 13). Alle behandelingen met meststoffen hebben hogere ammoniakemissies dan de controle, hoewel dit niet voor alle mesten significant is. Vooral bij oppervlakkige bemesting is de ammoniakemissies een stuk hoger. Dit effect is het sterkst op de zandgrond, maar is ook waar te nemen op de kleigrond. Ammoniakemissies uit de geïnjecteerde digestaten zijn vergelijkbaar met de co-vergiste runderdrijfmest, die ook zijn geïnjecteerd.



Figuur 13 Cumulatieve ammoniakemissies gemeten gedurende 24 uur na bemesting op zand- (A) en kleibodems (B). De error bars geven de standaardfout aan (gebaseerd op vier herhalingen). 'o' geeft aan dat deze digestaten oppervlakkig zijn toegediend in plaats van geïnjecteerd. De composten en kunstmest zijn ook oppervlakkig toegediend aan de bodem, terwijl de vergiste en onvergiste runderdrijfmest enkel is geïnjecteerd.

4.3.3 Grasopbrengst

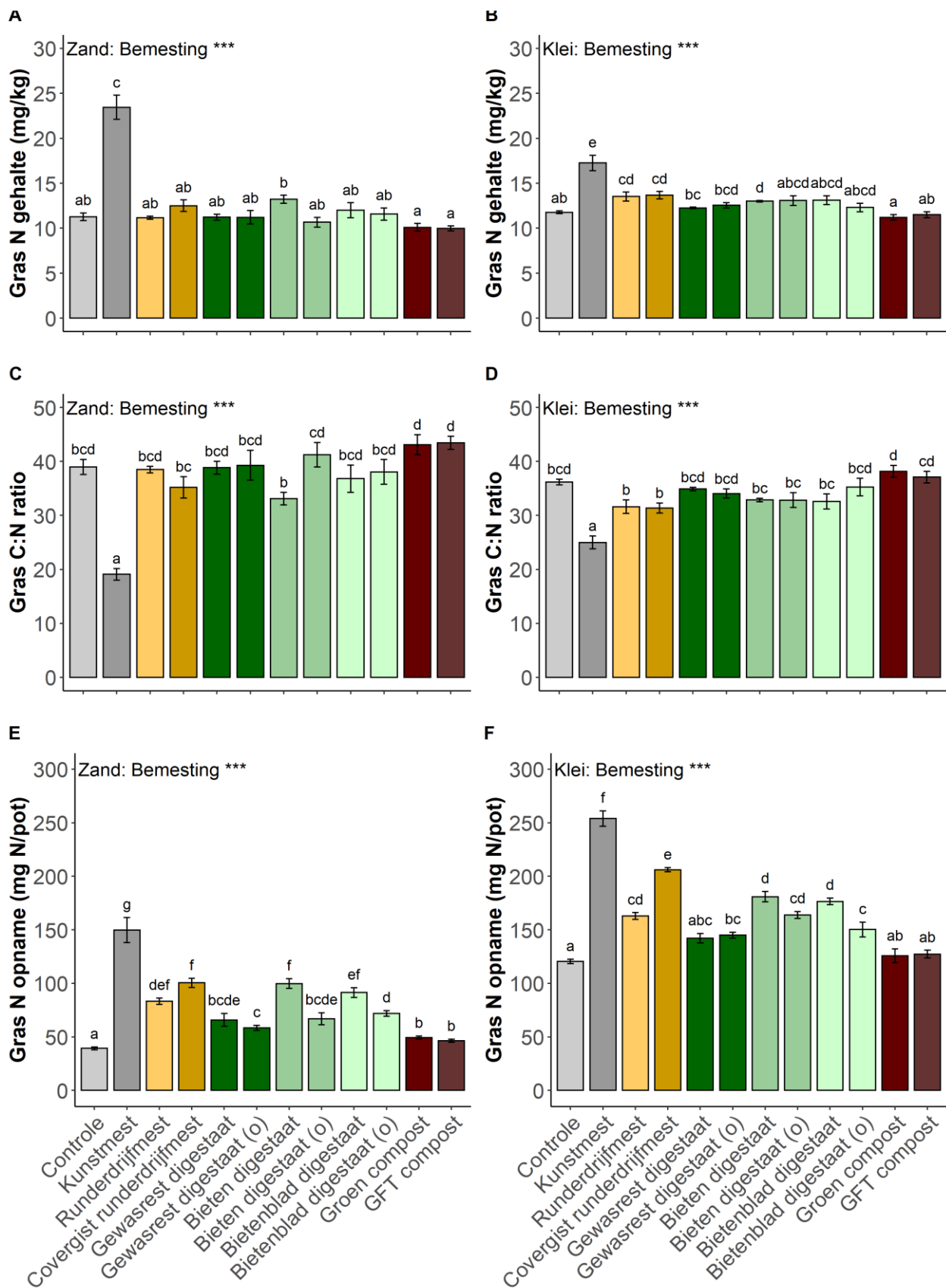
De grasopbrengst op beide gronden is beïnvloed door de toegepaste meststof (**Figuur 14**). De grasopbrengst is het hoogst na toepassing van co-vergiste-runderdrijfmest en de geïnjecteerde bieten-digestaten. De laagste grasopbrengst is gevonden na toepassing van gewasrest-digestaat en compost. De behandelingen met geïnjecteerd bieten(blad)-digestaat lijken een hogere opbrengst te hebben dan bij oppervlaktebemesting, hoewel dit verschil niet significant is. De behandelingen met geïnjecteerde bieten(blad)-digestaat hebben geen significant lagere opbrengst dan de behandeling met geïnjecteerde runderdrijfmest. De grasopbrengst op de kleigrond is gemiddeld twee keer zo hoog als op de zandgrond.



Figuur 14 Grasopbrengst (g DS per pot) op bodems uit potten bemest met verschillende meststoffen, en totale grasopbrengst uit de twee grassneden, met A) de opbrengst op zandgrond en B) de opbrengst op kleigrond. De error bars geven de standaardfout aan (gebaseerd op vier herhalingen). 'o' geeft aan dat deze digestaten oppervlakkig zijn toegediend in plaats van geïnjecteerd. De composten en kunstmest zijn ook oppervlakkig toegediend aan de bodem, terwijl de vergiste en onvergiste runderdrijfmest enkel is geïnjecteerd.

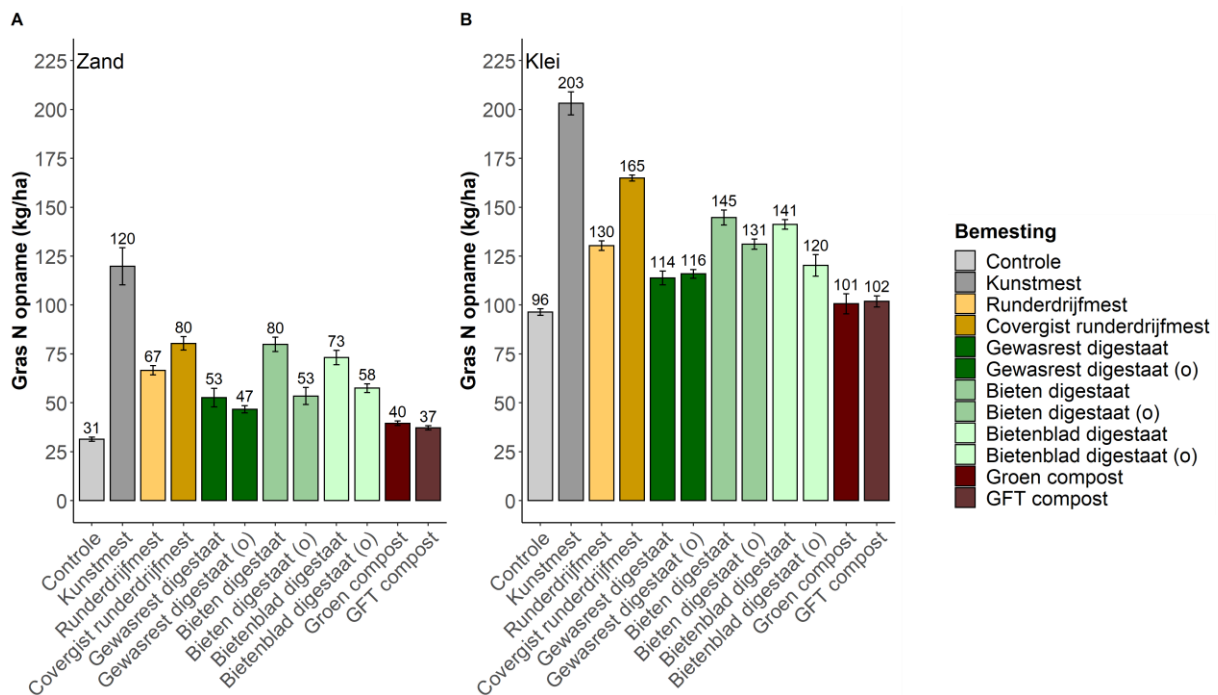
4.3.4 N-opname in gras

Het N-gehalte (mg/kg) en de totale N-opname (mg N per pot) waren opvallend hoger voor de kunstmestbehandeling, zowel op zand als op klei (Figuur 15). De C/N-ratio van het gras met deze behandeling was een stuk lager en de totale gewasopbrengst met kunstmest was dan ook niet per se hoger. Kijkend naar de totale N-opname in de pot (15E en D) is er ook een aantal trends te zien. Zo lijkt het injecteren van digestaat een positief effect te hebben op de totale N-opname op zowel zand en klei, hoewel dit niet in alle gevallen significant is. In bijna alle gevallen waren de behandelingen met mest significant hoger dan de controle, uitgezonderd geïnjecteerd gewasrest-digestaat en gft- en groencompost op kleigrond.



Figuur 15 Kwaliteit van de grasopbrengst op bodems uit potten bemest met verschillende meststoffen. Dit is de gemiddelde kwaliteit gemeten aan de hand van de twee grassneden, met het gehalte van N in het gras (15 A en B), de C/N-ratio van het gras (15 C en D) en de totale hoeveelheid N opgenomen door het gras per pot (15 E en F). De error bars geven de standaardfout aan (gebaseerd op vier herhalingen). 'o' geeft aan dat deze digestaten oppervlakkig zijn toegediend in plaats van geïnjecteerd. De composten en kunstmest zijn ook oppervlakkig toegediend aan de bodem, terwijl de vergiste en onvergiste runderdrijfmest enkel is geïnjecteerd.

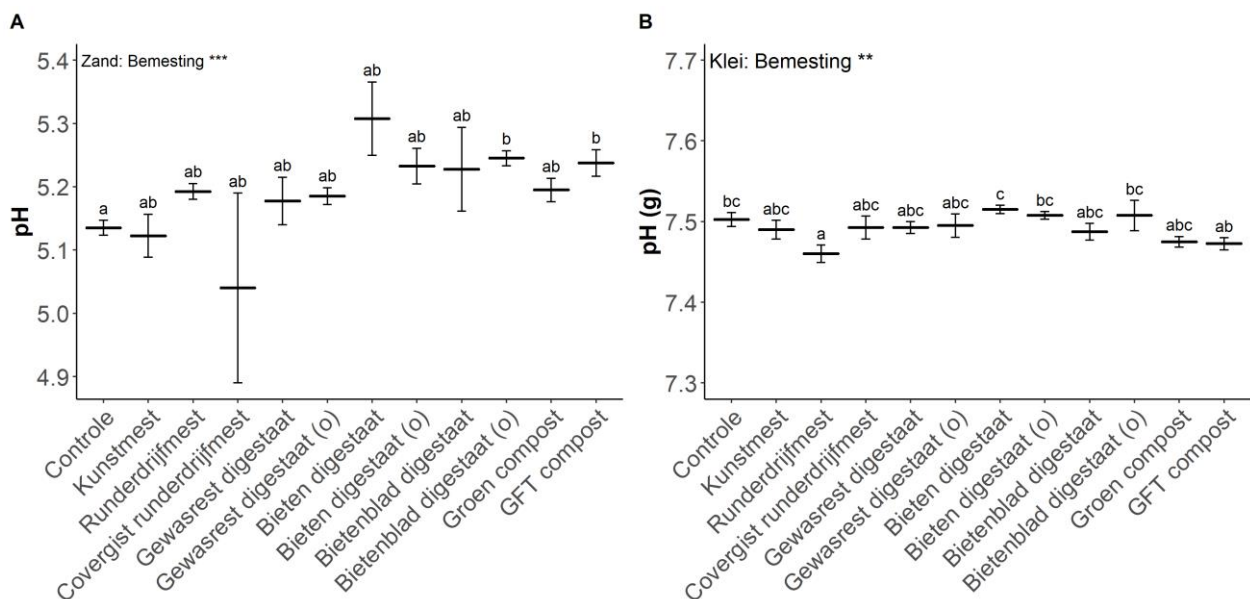
Voor de vertaling van de resultaten van de gewasopname naar de praktijk zijn de gegevens uit Figuur 15 omgerekend van milligram N opname per pot naar kg N/ha (Figuur 16). De N-gift was in alle behandelingen 170 kg N/ha. Op kleigrond was de N-opname dus hoger dan de gift, wat betekent dat een deel van de stikstof ook uit de bodem werd geleverd. Op zandgrond was de N-opname duidelijk veel lager en daarmee dus ook de stikstofefficiëntie.



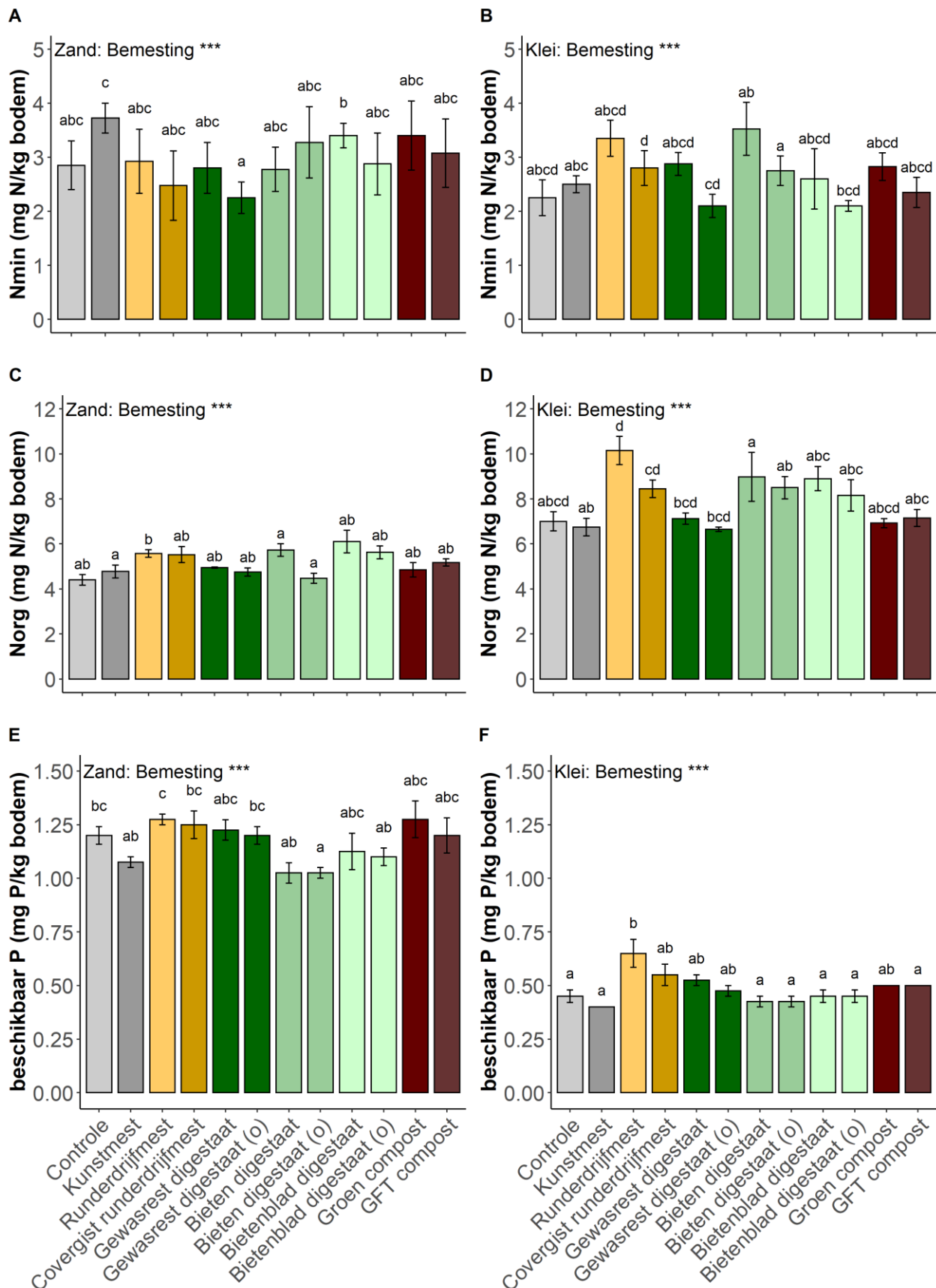
Figuur 16 Grasopbrengst omgerekend naar kg/ha op gronden uit potten bemest met verschillende meststoffen, de totale grasopbrengst uit de twee grassneden, met A) de opbrengst op zandgrond en B) de opbrengst op kleigrond. De getallen boven de balken geven de N-opname per behandeling weer. 'o' geeft aan dat deze digestaten oppervlakkig zijn toegediend in plaats van geïnjecteerd. De composten en kunstmest zijn ook oppervlakkig toegediend aan de bodem, terwijl de vergiste en onvergiste runderdrijfmest enkel is geïnjecteerd.

4.3.5 Bodemvruchtbaarheid

De effecten op bodemvruchtbaarheid (in termen van minerale en organische N-gehaltes, en beschikbare P gehalten) lijken sterker op kleigrond dan op zandgrond (Figuur 17). Op kleigrond zorgt geïnjecteerd bieten(blad)-digestaat voor vergelijkbare minerale en organische N-gehaltes als runderdrijfmest. Bij oppervlakkige bemesting lijkt er een minder positief effect te zijn op minerale en organische N-gehaltes in de bodem, hoewel dit voor de meeste behandelingen geen significant verschil is. Ook is opvallend dat de kunstmestbehandeling geen significant hogere minerale N-gehaltes heeft dan de controle, wat zou kunnen betekenen dat alle beschikbare N is opgenomen door het gewas of als gasvormige emissie verloren is gegaan. Met betrekking tot beschikbare P is alleen de behandeling met runderdrijfmest significant hoger dan de rest. De effecten van bemesting op bodem-pH (Figuur 16) zijn sterker op zandgrond dan op kleigrond, hoewel ook op zandgrond weinig significante verschillen tussen de behandelingen te zien zijn. De hogere pH van de digestaten lijkt echter geen sterk effect te hebben op bodem-pH en liggen de gemiddelde pH-waarden op zandgrond juist vaak hoger dan voor de controle-, kunstmest- en (vergiste) runderdrijfmest-behandelingen.



Figuur 17 De pH van de bodem gemeten na de laatste grassnede van de bodem bemest met verschillende meststoffen met de zandbodem (A) en de kleibodem (B). De error bars geven de standaard fout aan (gebaseerd op vier herhalingen). 'o' geeft aan dat deze digestaten oppervlakkig zijn toegediend in plaats van geïnjecteerd. De composten en kunstmest zijn ook oppervlakkig toegediend aan de bodem, terwijl de vergiste en onvergiste runderdrijfmest enkel is geïnjecteerd.



Figuur 18 Bodemkwaliteit gemeten na de laatste grassnede van de bodem bemest met verschillende meststoffen. Met de bodem minerale stikstof (NH_4^+ en NO_3^-) in paneel A en B, de bodemorganische stikstof in paneel C en D en de beschikbare P (CaCl_2 : PO_4^{3-}) in paneel E en F. De error bars geven de standaardfout aan (met vier herhalingen). 'o' geeft aan dat deze digestaten oppervlakkig zijn toegediend in plaats van geïnjecteerd. De composten en kunstmest zijn ook oppervlakkig toegediend aan de bodem, terwijl de vergiste en onvergiste runderdrijfmest enkel is geïnjecteerd.

5 Discussie

5.1.1 Algemeen

Het doel van de pot- en incubatie-experimenten was om de effecten van plantaardig digestaat op bodememissies, bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengst te bepalen en te vergelijken met kunstmest en andere organische meststoffen. Deze experimenten zijn geschikt om de onderlinge verschillen tussen de meststoffen weer te geven op de korte termijn, onder sterk gecontroleerde omstandigheden. De incubatie- en potexperimenten geven inzicht in de te verwachten effecten van de meststoffen bij verschillende toedieningstechnieken, maar zijn ongeschikt voor de bepaling van langetermijneffecten op bodemvruchtbaarheid, nalevering van nutriënten, gewasopbrengst en bodememissies. De literatuurstudie plaatst de resultaten van deze kortetermijnexperimenten in een breder perspectief, en zal in de discussie ook de leidraad zijn voor de interpretatie van de resultaten.

5.1.2 Lachgasemissies

Zowel in de incubatie- als in de potproef bleek dat de effecten van bemesting op lachgasemissies vele malen sterker waren op kleigrond dan op zandgrond. Dit is een algemene trend en te verklaren door het vochthoudend vermogen en de fijne structuur van de klei. Hierdoor zijn er meer microscopische plaatsen met een hoger vochtgehalte en een lager zuurstofgehalte, waardoor er meer N₂O kan vormen (Lesschen et al., 2011). Dat vochtgehalte een belangrijke sturende factor voor lachgas is, blijkt in de incubatieproef ook uit de gesimuleerde regenbui die een piek in lachgasemissies veroorzaakt. Hierdoor neemt het vochtgehalte in de bodem toe en het zuurstofgehalte af, waardoor er meer zuurstofarme hotspots voor N₂O emissie voorkomen in de bodem (Lesschen et al., 2011). Ook dit effect is sterker op kleigrond, terwijl er op zandgrond geen hoge piek is en bemesting geen significant effect heeft op de cumulatieve emissies. Vanwege de losse structuur van zandgrond wordt water makkelijker doorgelaten en is er minder risico op zuurstofarme condities. Mogelijk was het vochtgehalte in de incubatieproef voor zandgrond te laag om te leiden tot lachgasemissies.

Uit zowel de incubatie- als de potproef (op klei) blijkt dat vergisting kan leiden tot lagere lachgasemissies, aangezien er significant minder N₂O-emissies zijn uit de co-vergiste runderdrijfmest t.o.v. de onvergiste runderdrijfmest. Deze observatie is in lijn met de reviews van Möller (2015) en Nkoa (2014). De lachgasemissies van de (geïnjecteerde) plantaardige digestaten zijn vergelijkbaar met de onvergiste runderdrijfmest. Opvallend is hierbij wel dat in de incubatieproef het gewasrest-digestaat hoge N₂O-emissies veroorzaakte (vergelijkbaar met onvergiste runderdrijfmest), terwijl in de potproef de emissies uit gewasrest-digestaat juist laag waren, niet significant verschillend van de controle. Voor bieten(blad)-digestaat was dit juist andersom en waren de emissies relatief hoger in de potproef (vergelijkbaar met onvergiste runderdrijfmest) dan in de incubatieproef. Mogelijk dat bij de bieten(blad)-digestaten er meer stikstof beschikbaar kwam dan nodig was voor de gewasopname, aangezien de C/N-ratio voor deze digestaten lager was. Emissies na toepassing van kunstmest waren in beide proeven niet significant hoger dan in de controle, wat erop zou kunnen duiden dat er een gebrek was aan bodem-C als energiebron voor (de)nitrificatie.

Uit deze proeven wordt duidelijk dat plantaardig digestaat geen hoger risico geeft op lachgasemissies dan reguliere runderdrijfmest en dat bij oppervlaktebemesting de lachgasemissies op kleigrond lager zijn dan bij injectie. Injectie van meststoffen geeft wel een hoger risico op N₂O-emissies, aangezien het zou kunnen zorgen voor meer zuurstofarme condities die de N₂O-productie bevorderen. Dit blijkt ook uit veldmetingen die de basis vormen voor de emissiefactoren in de Nederlandse emissierapportage (Velthof et al., 2010). In het incubatie-experiment werd geen verschil gevonden voor wel of geen injectie, terwijl dit in de potproef wel duidelijk naar voren kwam. Waarschijnlijk is het potje voor de incubatieproef te klein om het effect van injectie goed te simuleren, waardoor er geen verschil is gemeten. N₂O-emissies worden beïnvloed door veel verschillende processen en factoren, wat de verklaring van variabiliteit gecompliceerd maakt.

5.1.3 Ammoniakemissies

Op zand- en kleigrond zijn vergelijkbare trends waar te nemen met betrekking tot ammoniakemissies. De wijze van toediening lijkt een sterker effect te hebben op ammoniakemissies dan de eigenschappen van de meststof. Emissies uit de plantaardige digestaten zijn op beide bodems significant hoger bij oppervlaktebemesting t.o.v. injectie. Uit onze resultaten blijkt injectie dus een effectieve manier om ammoniakemissies na bemesting met plantaardig digestaat te beperken. Dit is in overeenstemming met resultaten uit een veldexperiment door Riva et al. (2016). Injectie kan echter wel weer tot hogere N₂O-emissies leiden (paragraaf 5.1.2).

Vergisting zelf lijkt ook lichtelijk bij te dragen aan hogere ammoniakemissies, uitgaande van de resultaten van vergiste en onvergiste runderdrijfmest. Dit effect is niet significant, maar wel in lijn met de bevindingen van Möller (2015) en Nkoa (2014). Tijdens de vergisting wordt een deel van de organische stof afgebroken en komt de organische N beschikbaar als ammonium. Dit kan leiden tot een hogere ammoniakemissie bij toediening van het digestaat. Emissies na geïnjecteerd plantaardig digestaat vallen in dezelfde ordegrootte als onvergiste en co-vergiste runderdrijfmest. Bij de juiste manier van toepassing hoeft plantaardig digestaat dus geen risico op verhoogde ammoniakemissies met zich mee te brengen ten opzichte van andere organische mesten.

5.1.4 Grasopbrengst en kwaliteit

De plantaardige digestaten, en dan specifiek de digestaten uit bieten(blad) die geïnjecteerd zijn in de bodem, leveren goede (droge stof) grasopbrengsten op, vergelijkbaar met kunstmest en co-vergiste runderdrijfmest. Dit positieve effect op de drogestofopbrengst was zowel op zand- als op kleigrond te zien en is in lijn met andere studies met plantaardige digestaten (De Notaris et al., 2018b; Gunnarsson et al., 2010; Thomas et al., 2019). Bij oppervlakkige bemesting was de drogestofopbrengst voor de bieten(blad)-digestaten wat lager, maar nog steeds significant hoger dan de controle en vergelijkbaar met onvergiste runderdrijfmest. Bij oppervlaktebemesting zou het kunnen dat de nutriënten in mindere mate beschikbaar zijn voor de plantenwortels tijdens de korte duur van het experiment. Waarschijnlijk is ook de hogere ammoniakemissie bij oppervlakkige toediening een reden voor lagere N-beschikbaarheid en daardoor een lagere gewasgroei.

Kijkend naar de totale N-opname in het gewas is deze wel significant hoger bij kunstmest, wat te verklaren is door het hoge gehalte directe plant-beschikbare N. Verder is de totale N-opname vergelijkbaar tussen de bieten(blad)-digestaten en de (co-vergiste) runderdrijfmest. De totale N-opname is op beide bodems lager voor het gewasrest-digestaat en gft- en groencompost. Op kleigrond zorgen deze meststoffen zelfs niet voor een significant verhoogde N-opname ten opzichte van de controle, dus wordt er netto stikstof uit de bodem opgenomen. Er lijkt hierbij geen directe relatie te zijn met het totale N-gehalte (g/kg) in de meststof, noch met de C/N-ratio. Het minerale stikstofgehalte zou mogelijk een verklaring kunnen geven voor de onderlinge verschillen, maar deze is helaas niet gemeten voor alle meststoffen.

5.1.5 Bodemvruchtbaarheid

De resultaten uit dit onderzoek geven geen duidelijk beeld van de effecten van plantaardige digestaten op bodemvruchtbaarheid. Op zandgrond zijn de effecten (vaak) niet significant en op kleigrond lijkt er ook geen duidelijke trend waar te nemen. De effecten van bieten(blad)-digestaat op minerale en organische stikstofgehaltes lijken vergelijkbaar met die van (co-vergiste) runderdrijfmest. Vooral het organische stikstofgehalte lijkt ook toegenomen ten opzichte van de controle, hoewel dit effect niet in alle gevallen significant is. Het zou er wel op kunnen duiden dat er voor de organische meststoffen nog meer nalevering van stikstof verwacht kan worden, maar ook dat het risico op nitraatuitspoeling hoger is. De wijze van toepassing lijkt over het algemeen geen significante impact te hebben op bodemvruchtbaarheid. Het hogere P-gehalte van (co-vergiste) runderdrijfmest verklaart dat er meer beschikbare P in de bodem is bij toepassing van deze meststoffen.

5.1.6 Plantaardig digestaat als meststof

Vanwege het lage P₂O₅-gehalte van de bieten- en bietenblad-digestaten kan er binnen de bemestingsnormen meer van worden toegepast en zou dus mogelijk meer kunstmest N kunnen vervangen vergeleken met dierlijke mest. Ook is de dierlijke mestnorm van 170 kg N/ha niet van toepassing op plantaardig digestaat en biedt de wettelijke stikstofwerkingscoëfficiënt van 50% (Bijlage B in Uitvoeringsregeling Meststoffenwet) ruimte om meer plantaardig digestaat toe te passen.

Aangezien de standaardanalysemethoden van zware metalen niet zijn afgestemd op digestaten, zijn niet alle gehalten van zware metalen in het bieten-, bietenblad- en gewasrest-digestaat nauwkeurig bepaald. De elementen die wel nauwkeurig bepaald konden worden, vallen binnen de Nederlandse en Europese normen, maar voor de overige elementen kan dit op basis van de gegevens uit deze proef niet geconcludeerd worden. Op basis van een gemiddelde van meerjarige analysegegevens van de digestaten van de Cosun-vergister in Vierverlaten (gegevens niet openbaar), kan worden geconcludeerd dat de gehalten zware metalen niet normoverschrijdend zijn, wanneer getoetst als N-meststof binnen het Nederlandse Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet.⁵ Ook onder Europese wetgeving⁶ (verordening (EU) 2019/1009 van EU-bemestingsproducten) vallen de meerjarige analysegegevens binnen de norm. Het digestaat kan dus veilig als organische meststof worden gebruikt.

5.1.7 Proefopzet

In de experimenten is gekozen voor een bemesting van 170 kg N/ha, aangezien dit de wettelijke gebruiksnorm voor dierlijke meststoffen is. Het is mogelijk dat er meer stikstof gegeven is dan het gewas direct op kon nemen, waardoor stikstof mogelijk niet limiterend is geweest en de verschillen tussen de behandelingen maar klein zijn. Voor klei geldt dat er een hogere stikstoflevering vanuit de grond in de controlebehandeling was, wat de interpretatie van de resultaten verder bemoeilijkt. Voor zand geldt juist dat de grasopbrengsten bij alle behandelingen zeer laag waren, wat erop kan duiden dat een andere factor limiterend is geweest. Mogelijk is de grond te droog geweest of is een ander element dan stikstof limiterend geweest voor de groei.

5.1.8 Aanbevelingen voor toekomstig onderzoek

Een veldproef met plantaardig digestaat zou een vollediger inzicht kunnen geven in de (lange termijn) effecten op gewasgroei en bodemvruchtbaarheid. Hierin zou ook uitspoeling van nitraat een belangrijke rol moeten spelen, aangezien plantaardig digestaat van gewasresten kansen biedt voor het reduceren van uitspoeling. In een vervolgprouf zou eveneens gewerkt moeten worden met lagere stikstofgiften en/of verschillende bemestingstrappen. In combinatie met voldoende toediening van andere plant-essentiële nutriënten zou dit inzicht geven in het werkelijke effect van de stikstofbemesting uit plantaardig digestaat. In het PPS-project Impact regionale vergisting zal in de tweede fase ook nog een integrale doorrekening worden gemaakt van broeikasgasemissies voor de volledige keten met vergisting van suikerbietenblad. Hieruit zal moet blijken of de verhoogde lachgasemissie bij toediening van digestaat een groot effect heeft op de totale emissiereductie.

⁵ <https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0019031&bijlage=II&z=2022-06-01&q=2022-06-01>

⁶ <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1009/oj>

6 Conclusies

Het doel van dit rapport was om de effecten van plantaardig digestaat op bodememissies, bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengst te bepalen in vergelijking tot andere organische meststoffen. De resultaten van de incubatie- en potproeven laten zien dat de bieten(blad)-digestaten een vergelijkbare drogestof- en N-opbrengst hebben als (co-vergiste) runderdrijfmest-digestaat en beter dan het digestaat van andere gewasresten en de gft- en groencomposten. Plantaardig digestaat kan dan ook zonder problemen dierlijke mest of kunstmest vervangen en bijdragen aan het beter sluiten van kringlopen, zonder risico op contaminatie met zware metalen. Het effect op het organischestofgehalte van de bodem kon in deze korte proeven niet gemeten worden, maar vanuit de literatuurreview kan worden aangenomen dat het effect van digestaat vergelijkbaar is met dat van verse plantenresten.

De juiste toedieningswijze van digestaat is wel belangrijk om de gewasopbrengst te optimaliseren en verliezen van ammoniak naar de omgeving laag te houden. Injectie zorgt (t.o.v. oppervlaktebemesting) voor de hoogste drogestof- en N-opbrengst bij plantaardig digestaat en de ammoniakemissies zijn aanzienlijk lager. Bij injectie is er (op kleigrond) echter wel een verhoogd risico op N₂O-emissies. Deze *trade-off* tussen ammoniak en lachgas geldt echter ook voor injectie van dierlijke mest. Door goede timing van de mest-/digestaat-toediening kan het risico op lachgasemissies mogelijk nog wel worden verlaagd. Op zandgrond was de emissie van lachgas zowel in de incubatieproef als potproef erg laag. Concluderend blijkt uit deze studie dat er geen reden is om aan te nemen dat plantaardige digestaten hoge emissierisico's of een negatief effect op bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengst met zich mee zouden brengen.

Literatuur

- Abalos, D., Recous, S., Butterbach-Bahl, K., De Notaris, C., Rittl, T. F., Topp, C. F. E., Petersen, S. O., Hansen, S., Bleken, M. A., Rees, R. M., & Olesen, J. E. (2022). A review and meta-analysis of mitigation measures for nitrous oxide emissions from crop residues. *Science of The Total Environment*, 828, 154388. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.154388>.
- Agneessens, L., De Waele, J., De Neve, S., Montemurro, F., & Diacono, M. (2014). Review of Alternative Management Options of Vegetable Crop Residues to Reduce Nitrate Leaching in Intensive Vegetable Rotations. *Agronomy*, 4, 529–555. <https://doi.org/10.3390/agronomy4040529>.
- Alburquerque, J. A., de la Fuente, C., & Bernal, M. P. (2012). Chemical properties of anaerobic digestates affecting C and N dynamics in amended soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 160, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.007>.
- Alexander, J. R., Spackman, J. A., Wilson, M. L., Fernández, F. G., & Venterea, R. T. (2021). Capture efficiency of four chamber designs for measuring ammonia emissions. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 4(3), e20199. <https://doi.org/10.1002/AGG2.20199>.
- Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T., & Zechmeister-Boltenstern, S. (2006). Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112(2–3), 153–162. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2005.08.030>.
- Arthurson, V. (2009). Closing the global energy and nutrient cycles through application of biogas residue to agricultural land - potential benefits and drawbacks. *Energies*, 2(2), 226–242. <https://doi.org/10.3390/en20200226>.
- Badagliacca, G., Ruisi, P., Rees, R. M., & Saia, S. (n.d.). An assessment of factors controlling N₂O and CO₂ emissions from crop residues using different measurement approaches. <https://doi.org/10.1007/s00374-017-1195-z>.
- Bareha, Y., Affes, R., Moinard, V., Buffet, J., & Girault, R. (2021). A simple mass balance tool to predict carbon and nitrogen fluxes in anaerobic digestion systems. *Waste Management*, 135, 47–59. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2021.08.020>.
- Barlóg, P., Hlisnikovský, L., & Kunzová, E. (2020). Effect of Digestate on Soil Organic Carbon and Plant-Available Nutrient Content Compared to Cattle Slurry and Mineral Fertilization. *Agronomy 2020, Vol. 10, Page 379*, 10(3), 379. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10030379>.
- Béghin-Tanneau, R., Guérin, F., Guirese, M., Kleiber, D., & Scheiner, J. D. (2019). Carbon sequestration in soil amended with anaerobic digested matter. *Soil and Tillage Research*, 192(March), 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.024>.
- Boldrin, A., Andersen, J. K., Møller, J., Christensen, T. H., & Favoino, E. (2009). Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27(8), 800–812. <https://doi.org/10.1177/0734242X09345275>.
- Bustamante, M. A., Restrepo, A. P., Alburquerque, J. A., Pérez-Murcia, M. D., Paredes, C., Moral, R., & Bernal, M. P. (2013). Recycling of anaerobic digestates by composting: effect of the bulking agent used. *Journal of Cleaner Production*, 47, 61–69. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2012.07.018>.
- CBS. (2020). 8. Biomassa. <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/aanvullende-statistische-diensten/2021/hernieuwbare-energie-in-nederland-2020/8-biomassa>.
- Coelho, J. J., Hennessy, A., Casey, I., Bragança, C. R. S., Woodcock, T., & Kennedy, N. (2020). Biofertilisation with anaerobic digestates: A field study of effects on soil microbial abundance and diversity. *Applied Soil Ecology*, 147(August 2019). <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103403>.
- Coelho, J. J., Hennessy, A., Casey, I., Woodcock, T., & Kennedy, N. (2020). Biofertilisation with Anaerobic Digestates: Effects on the Productive Traits of Ryegrass and Soil Nutrients. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(4), 1665–1678. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00237-7>.
- Corden, C., Bougas, K., Cunningham, E., Tyrer, D., Reissig, J., & Zetti, E. (2019). Digestate and compost as fertilisers: Risk assessment and risk management options. *Wood Environment & Infrastructure Solutions UK*, 463-pp.

- de Jonge, N., Davidsson, Å., la Cour Jansen, J., & Nielsen, J. L. (2020). Characterisation of microbial communities for improved management of anaerobic digestion of food waste. *Waste Management*, *117*, 124–135. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2020.07.047>.
- De Notaris, C., Sørensen, P., Møller, H. B., Wahid, R., & Eriksen, J. (2018a). Nitrogen fertilizer replacement value of digestates from three green manures. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *112*(3), 355–368. <https://doi.org/10.1007/s10705-018-9951-5>.
- De Notaris, C., Sørensen, P., Møller, H. B., Wahid, R., & Eriksen, J. (2018b). Nitrogen fertilizer replacement value of digestates from three green manures. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *112*(3), 355–368. <https://doi.org/10.1007/S10705-018-9951-5/FIGURES/6>.
- De Ruijter, F. J., Ten Berge, H. F. M., & Smit, A. L. (2010). The fate of nitrogen from crop residues of broccoli, leek and sugar beet. *Acta Horticulturae*, *852*, 157–162. <https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2010.852.18>.
- Delin, S., Stenberg, B., Nyberg, A., & Brohede, L. (2012). Potential methods for estimating nitrogen fertilizer value of organic residues. *Soil Use and Management*, *28*(3), 283–291. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2012.00417.x>.
- Dragicevic, I., Eich-Greatorex, S., Sogn, T. A., Linjordet, R., & Krogstad, T. (2017). Fate of copper, nickel and zinc after biogas digestate application to three different soil types. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8886-8>.
- Dragicevic, I., Sogn, T. A., & Eich-Greatorex, S. (2018). Recycling of Biogas Digestates in Crop Production—Soil and Plant Trace Metal Content and Variability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *2*. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2018.00045>.
- Ernst, G., Müller, A., Göhler, H., & Emmerling, C. (2008). C and N turnover of fermented residues from biogas plants in soil in the presence of three different earthworm species (*Lumbricus terrestris*, *Aporrectodea longa*, *Aporrectodea caliginosa*). *Soil Biology and Biochemistry*, *40*(6), 1413–1420. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.12.026>.
- Frøseth, R. B., Bakken, A. K., Bleken, M. A., Riley, H., Pommeresche, R., Thorup-Kristensen, K., & Hansen, S. (2014). Effects of green manure herbage management and its digestate from biogas production on barley yield, N recovery, soil structure and earthworm populations. *European Journal of Agronomy*, *52*(3), 90–102. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.006>.
- García-Sánchez, M., Siles, J. A., Cajthaml, T., García-Romera, I., Tlustoš, P., & Száková, J. (2015). Effect of digestate and fly ash applications on soil functional properties and microbial communities. *European Journal of Soil Biology*, *71*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2015.08.004>.
- Garg, R. N., Pathak, H., Das, D. K., & Tomar, R. K. (2005). Use of Flyash and Biogas Slurry for Improving Wheat Yield and Physical Properties of Soil. *Environmental Monitoring and Assessment* *2005* *107*:1, *107*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1007/S10661-005-2021-X>.
- Gunnarsson, A., Bengtsson, F., & Caspersen, S. (2010). Use efficiency of nitrogen from biodigested plant material by ryegrass. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *173*(1), 113–119. <https://doi.org/10.1002/jpln.200800250>.
- Guo, J., Peng, Y., Ni, B. J., Han, X., Fan, L., & Yuan, Z. (2015). Dissecting microbial community structure and methane-producing pathways of a full-scale anaerobic reactor digesting activated sludge from wastewater treatment by metagenomic sequencing. *Microbial Cell Factories*, *14*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12934-015-0218-4>.
- Gutser, R., Ebertseder, T., Weber, A., Schraml, M., & Schmidhalter, U. (2005). Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *168*(4), 439–446. <https://doi.org/10.1002/jpln.200520510>.
- Holly, M. A., Larson, R. A., Powell, J. M., Ruark, M. D., & Aguirre-Villegas, H. (2017). Greenhouse gas and ammonia emissions from digested and separated dairy manure during storage and after land application. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *239*, 410–419. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2017.02.007>.
- Houba, V. J. G., Temminghoff, E. J. M., Gaikhorst, G. A., & van Vark, W. (2008). Soil analysis procedures using 0.01 M calcium chloride as extraction reagent. <https://doi.org/10.1080/00103620009370514>, *31*(9–10), 1299–1396. <https://doi.org/10.1080/00103620009370514>.
- Insam, H., Gómez-Brandón, M., & Ascher, J. (2015). Manure-based biogas fermentation residues - Friend or foe of soil fertility? *Soil Biology and Biochemistry*, *84*, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.02.006>.

- Jiang, J., Wu, P., Sun, Y., Guo, Y., Song, B., Huang, Y., Xing, T., & Li, L. (2020). Comparison of microbial communities during anaerobic digestion of kitchen waste: Effect of substrate sources and temperatures. *Bioresource Technology*, 317, 124016. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2020.124016>.
- Johansen, A., Carter, M. S., Jensen, E. S., Hauggard-Nielsen, H., & Ambus, P. (2013). Effects of digestate from anaerobically digested cattle slurry and plant materials on soil microbial community and emission of CO₂ and N₂O. *Applied Soil Ecology*, 63, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.09.003>.
- Kavdir, Y., & Lay, R. I. (2011). *Earthworms and Soil Structure*. 39–50. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14636-7_3.
- Knoop, C., Tietze, M., Dornack, C., & Raab, T. (2017). *Fate of nutrients and heavy metals during two-stage digestion and aerobic post-treatment of municipal organic waste*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.12.019>.
- Koblenz, B., Tischer, S., Rücknagel, J., & Christen, O. (2015). Influence of biogas digestate on density, biomass and community composition of earthworms. *Industrial Crops and Products*, 66, 206–209. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.12.024>.
- Körschens, M., Albert, E., Baumecker, M., Ellmer, F., Grunert, M., Hoffmann, S., Kismanyoky, T., Kubat, J., Kunzova, E., Marx, M., Rogasik, J., Rinklebe, J., Rühlmann, J., Schilli, C., Schröter, H., Schroetter, S., Schweizer, K., Toth, Z., Zimmer, J., & Zorn, W. (2014). Humus und Klimaänderung - Ergebnisse aus 15 langjährigen Dauerfeldversuchen. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(11), 1485–1517. <https://doi.org/10.1080/03650340.2014.892204>.
- Lesschen, J. P., Velthof, G. L., De Vries, W., & Kros, J. (2011). Differentiation of nitrous oxide emission factors for agricultural soils. *Environmental Pollution*, 159(11), 3215–3222. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2011.04.001>.
- Li, Y., Luo, W., Lu, J., Zhang, X., Li, S., Wu, Y., & Li, G. (2018). Effects of digestion time in anaerobic digestion on subsequent digestate composting. *Bioresource Technology*, 267, 117–125. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2018.04.098>.
- Maurer, C., & Müller, J. (2010). *DRYING CHARACTERISTICS AND NITROGEN LOSS OF BIOGAS DIGESTATE DURING DRYING PROCESS CSBE100724-Presented at Section IV: Rural Electricity and Alternative Energy Sources Conference*.
- Mitchell, R. D. J., Harrison, R., Russell, K. J., & Webb, J. (2000). The effect of crop residue incorporation date on soil inorganic nitrogen, nitrate leaching and nitrogen mineralization. *Biology and Fertility of Soils* 32:4, 32(4), 294–301. <https://doi.org/10.1007/S003740000251>.
- Moinard, V., Redondi, C., Etiévant, V., Savoie, A., Duchene, D., Pelosi, C., Houot, S., & Capowiez, Y. (2021). Short- and long-term impacts of anaerobic digestate spreading on earthworms in cropped soils. *Applied Soil Ecology*, 168, 104149. <https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2021.104149>.
- Möller, K. (2015). Effects of anaerobic digestion on soil carbon and nitrogen turnover, N emissions, and soil biological activity. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), 1021–1041. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0284-3>.
- Möller, K., & Müller, T. (2012). Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences*, 12(3), 242–257. <https://doi.org/10.1002/elsc.201100085>.
- Montemurro, F., Vitti, C., Diacono, M., Canali, S., Tittarelli, F., & Ferri, D. (2010). A three-year field anaerobic digestates application: effects on fodder crops performance and soil properties. *Fresenius Environmental Bulletin*, 19(9b), 2087–2093.
- Nielsen, K., Roß, C. L., Hoffmann, M., Muskulus, A., Ellmer, F., & Kautz, T. (2020). The chemical composition of biogas digestates determines their effect on soil microbial activity. *Agriculture (Switzerland)*, 10(6), 1–19. <https://doi.org/10.3390/agriculture10060244>.
- Nkoa. (2014). Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 473–492. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20143131968>.
- Pastorelli, R., Valboa, G., Lagomarsino, A., Fabiani, A., Simoncini, S., Zaghi, M., & Vignozzi, N. (2021). Recycling biogas digestate from energy crops: Effects on soil properties and crop productivity. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(2), 1–20. <https://doi.org/10.3390/app11020750>.
- Rietra, R. P. J. J., Gies, T. J. A., Velthof, G. L., & Zwart, K. B. (2015). *Toepasbaarheid en effecten van bemesting met digestaat - sluiten van mineralenkringloop in Groene Cirkels*. 38.

- Riva, C., Orzi, V., Carozzi, M., Acutis, M., Boccasile, G., Lonati, S., Tambone, F., D'Imporzano, G., & Adani, F. (2016). Short-term experiments in using digestate products as substitutes for mineral (N) fertilizer: Agronomic performance, odours, and ammonia emission impacts. *Science of The Total Environment*, 547, 206–214. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2015.12.156>.
- Robles-Aguilar, A. A., Temperton, V. M., & Jablonowski, N. D. (2019). Maize silage digestate application affecting germination and early growth of maize modulated by soil type. *Agronomy*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/agronomy9080473>.
- Rollett, A. J., Bhogal, A., Scullion, J., Nicholson, F. A., Taylor, M. J., & Williams, J. R. (2021). The effect of field application of food-based anaerobic digestate on earthworm populations. *Soil Use and Management*, 37(3), 648–657. <https://doi.org/10.1111/SUM.12615>.
- Roß, C. L., Sensel-Gunke, K., Wilken, V., Muskolus, A., Krause, G., Tschukowa, S., Hübner, A., Fiebrich, V., & Ellmer, F. (2018). Composted biowaste digestates as fertilizers: Effects on soil chemistry and plant development in a three-year field trial. *Journal Fur Kulturpflanzen*, 70(6), 196–210. <https://doi.org/10.1399/JFK.2018.06.03>.
- Rotterdam, A. van, Bussink, G. & Doppenberg, G. (2015). *Ammoniakemissie van kas, ureum en Powerbasic*. <https://docplayer.nl/19301260-Rapport-1563-n-15-ammoniakemissie-van-kas-ureum-en-powerbasic.html>.
- Rózyło, K., & Bohacz, J. (2020). Microbial and enzyme analysis of soil after the agricultural utilization of biogas digestate and mineral mining waste. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(2), 1051–1062. <https://doi.org/10.1007/S13762-019-02522-0/TABLES/5>.
- Sahlström, L. (2003). A review of survival of pathogenic bacteria in organic waste used in biogas plants. *Bioresource Technology*, 87(2), 161–166. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00168-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00168-2).
- Scarlat, N., Dallemand, J. F., & Fahl, F. (2018). Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*, 129, 457–472. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2018.03.006>.
- Sigurnjak, I., Vaneckhaute, C., Michels, E., Ryckaert, B., Ghekiere, G., Tack, F. M. G., & Meers, E. (2017). Fertilizer performance of liquid fraction of digestate as synthetic nitrogen substitute in silage maize cultivation for three consecutive years. *Science of the Total Environment*, 599–600, 1885–1894. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.120>.
- Smet, E., Van Langenhove, H., & De Bo, I. (1999). The emission of volatile compounds during the aerobic and the combined anaerobic/aerobic composting of biowaste. *Atmospheric Environment*, 33(8), 1295–1303. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(98\)00260-X](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(98)00260-X).
- Stürmer, B., Pfundtner, E., Kirchmeyr, F., & Uschnig, S. (2020). Legal requirements for digestate as fertilizer in Austria and the European Union compared to actual technical parameters. *Journal of Environmental Management*, 253, 109756. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2019.109756>.
- Surendra, K. C., Takara, D., Hashimoto, A. G., & Khanal, S. K. (2014). Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 846–859. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2013.12.015>.
- Tampio, E., Marttinen, S., & Rintala, J. (2016). Liquid fertilizer products from anaerobic digestion of food waste: mass, nutrient and energy balance of four digestate liquid treatment systems. *Journal of Cleaner Production*, 125, 22–32. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.03.127>.
- Termorshuizen, A. J., & Postma, R. (2021). *Effecten van toevoer van organische stof op bodemgezondheid en bodemvruchtbaarheid*. <https://edepot.wur.nl/542271>.
- Thomas, C. L., Acquah, G. E., Whitmore, A. P., McGrath, S. P., & Haefele, S. M. (2019). The effect of different organic fertilizers on yield and soil and crop nutrient concentrations. *Agronomy*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/agronomy9120776>.
- Thomsen, I. K., & Christensen, B. T. (1998). Cropping system and residue management effects on nitrate leaching and crop yields. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 68(1–2), 73–84. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(97\)00134-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(97)00134-5).
- Thomsen, I. K., Olesen, J. E., Møller, H. B., Sørensen, P., & Christensen, B. T. (2013). Carbon dynamics and retention in soil after anaerobic digestion of dairy cattle feed and faeces. *Soil Biology and Biochemistry*, 58, 82–87. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.11.006>.
- Valentinuzzi, F., Cavani, L., Porfido, C., Terzano, R., Pii, Y., Cesco, S., Marzadori, C., & Mimmo, T. (2020). The fertilising potential of manure-based biogas fermentation residues: pelleted vs. liquid digestate. *Heliyon*, 6(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03325>.

-
- Vasco-Correa, J., Khanal, S., Manandhar, A., & Shah, A. (2018). Anaerobic digestion for bioenergy production: Global status, environmental and techno-economic implications, and government policies. *Bioresource Technology*, 247, 1015–1026. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.004>.
- Velthof, G L, Mosquera, J., Huis in 't Veld, J. W. H., & Hummelink, E. W. J. (2010). *Effect of manure application technique on nitrous oxide emission from agricultural soils* (Alterra-Rapport : 1992). Alterra [etc.]. <https://edepot.wur.nl/135685>.
- Velthof, Gerard L., Kuikman, P. J., & Oenema, O. (2002). Nitrous oxide emission from soils amended with crop residues. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 62(3), 249–261. <https://doi.org/10.1023/A:102125>.

Bijlage 1 Bodemeigenschappen

I-A Zandgrond (Bio 7)



Rapport

BemestingsWijzer
Akker-/tuintbouw
Bio 7

Eurofins Agro
Postbus 170
NL - 6700 AD Wageningen

T monstername: Alie Hissink: 0652561834
T klantenservice: 088 876 1010
E klantenservice.agro@eurofins.com
I www.eurofins-agro.com

Uw klantnummer: 8974179

Wageningen Environmental Research
Rima Porre
Postbus 47
6700 AA WAGENINGEN

Onderzoek	Onderzoek-/ordernr:	Datum monstername:	Datum verslag:					
	784615/005256210	01-12-2020	11-12-2020					
Resultaat	Eenheid	Resultaat	Streeftraject	laag	vrij laag	goed	vrij hoog	hoog
Chemisch	N-totale bodemvoorraad	kg N/ha	4010	3800 - 5550	[Bar chart: 3800-5550]			
	C/N-ratio		14	13 - 17	[Bar chart: 13-17]			
	N-leverend vermogen	kg N/ha	55	95 - 145	[Bar chart: 95-145]			
	S-plantbeschikbaar	kg S/ha	36	20 - 30	[Bar chart: 20-30]			
	S-totale bodemvoorraad	kg S/ha	720	685 - 960	[Bar chart: 685-960]			
	C/S-ratio		75	50 - 75	[Bar chart: 50-75]			
	S-leverend vermogen	kg S/ha	10	20 - 30	[Bar chart: 20-30]			
	P-plantbeschikbaar	kg P/ha	18,2	6,2 - 10,3	[Bar chart: 6,2-10,3]			
	P-bodemvoorraad	kg P/ha	925	450 - 690	[Bar chart: 450-690]			
	K-plantbeschikbaar	kg K/ha	135	240 - 375	[Bar chart: 240-375]			
	K-bodemvoorraad	kg K/ha	200	220 - 355	[Bar chart: 220-355]			
	Ca-plantbeschikbaar	kg Ca/ha	25	245 - 575	[Bar chart: 245-575]			
	Ca-bodemvoorraad	kg Ca/ha	2265	1705 - 2560	[Bar chart: 1705-2560]			
Mg-plantbeschikbaar	kg Mg/ha	385	170 - 290	[Bar chart: 170-290]				
Mg-bodemvoorraad	kg Mg/ha	235	110 - 385	[Bar chart: 110-385]				
Na-plantbeschikbaar	kg Na/ha	20	120 - 170	[Bar chart: 120-170]				
Na-bodemvoorraad	kg Na/ha	30	80 - 120	[Bar chart: 80-120]				
Fysisch	Si-plantbeschikbaar	g Si/ha	34220	20550 - 89060	[Bar chart: 20550-89060]			
	Fe-plantbeschikbaar	g Fe/ha	< 6880	8560 - 15410	[Bar chart: 8560-15410]			
	Zn-plantbeschikbaar	g Zn/ha	2740	1710 - 2570	[Bar chart: 1710-2570]			
	Mn-plantbeschikbaar	g Mn/ha	12570	10960 - 17130	[Bar chart: 10960-17130]			
	Cu-plantbeschikbaar	g Cu/ha	90	135 - 225	[Bar chart: 135-225]			
	Co-plantbeschikbaar	g Co/ha	20	15 - 25	[Bar chart: 15-25]			
	B-plantbeschikbaar	g B/ha	< 260	550 - 755	[Bar chart: 550-755]			
	Mo-plantbeschikbaar	g Mo/ha	< 10	340 - 17130	[Bar chart: 340-17130]			
	Se-plantbeschikbaar	g Se/ha	11	12 - 15	[Bar chart: 12-15]			
	Zuurgraad (pH)		5,6	5,6 - 6,1	[Bar chart: 5,6-6,1]			
	C-organisch	%	1,6		[Bar chart: 1,6]			
	Organische stof	%	3,0		[Bar chart: 3,0]			
	C/OS-ratio		0,53	0,45 - 0,55	[Bar chart: 0,45-0,55]			
	Koolzure kalk	%	< 0,2	2,0 - 3,0	[Bar chart: 2,0-3,0]			
	Klei (<2 µm)	%	3		[Bar chart: 3]			
	Silt (2-50 µm)	%	14		[Bar chart: 14]			
	Zand (>50 µm)	%	80		[Bar chart: 80]			
	Klei-humus (CEC)	mmol+/kg	42	> 43	[Bar chart: >43]			
	CEC-bezetting	%	98	> 95	[Bar chart: >95]			
	Ca-bezetting	%	79	75 - 85	[Bar chart: 75-85]			
Mg-bezetting	%	14	6,0 - 10	[Bar chart: 6,0-10]				
K-bezetting	%	3,6	2,0 - 5,0	[Bar chart: 2,0-5,0]				
Na-bezetting	%	1,0	1,0 - 1,5	[Bar chart: 1,0-1,5]				
H-bezetting	%	< 0,1	< 1,0	[Bar chart: <1,0]				
Al-bezetting	%	< 0,1	< 1,0	[Bar chart: <1,0]				

Pagina: 1
Totaal aantal pagina's: 6
Rapportidentificatie:
784615/005256210, 11-12-2020



Dit rapport is vrijgegeven onder verantwoordelijkheid van Drs. Ing. J. van Benthum, Business Unit Manager. Op al onze vormen van dienstverlening zijn onze Algemene Voorwaarden van toepassing. Op verzoek worden deze en/of de specificaties van de analysemethoden toegezonden. Eurofins Agro Testing Wageningen BV stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens ons verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Eurofins Agro Testing Wageningen BV is ingeschreven in het RVA-register voor testlaboratoria zoals nader omschreven in de erkenning onder nr. L122 voor uitsluitend de monsternemings- en/of de analysemethoden.

BemestingsWijzer
Akker-/tuinbouw
Greb 4

Eurofins Agro
Postbus 170
NL - 6700 AD Wageningen

T monstername: Alie Hissink: 0652561834
T klantenservice: 088 876 1010
E klantenservice.agro@eurofins.com
I www.eurofins-agro.com

Uw klantnummer: 8974179

Wageningen Environmental Research
Rima Porre
Postbus 47
6700 AA WAGENINGEN

Onderzoek	Onderzoek-/ordernr:	Datum monstername:	Datum verslag:						
	784607/005256210	01-12-2020	11-12-2020						
Resultaat	Eenheid	Resultaat	Streeftraject	laag	vrij laag	goed	vrij hoog	hoog	
Chemisch	N-totale bodemvoorraad	kg N/ha	6060	3740 - 5450	████████████████████				
	C/N-ratio		9	13 - 17	██████████				
	N-leverend vermogen	kg N/ha	120	95 - 145	████████████████				
	S-plantbeschikbaar	kg S/ha	30	20 - 30	████████████████				
	S-totale bodemvoorraad	kg S/ha	555	675 - 945	████████████████				
	C/S-ratio		102	50 - 75	████████████████████				
	S-leverend vermogen	kg S/ha	5	20 - 30	████				
	P-plantbeschikbaar	kg P/ha	2,0	6,1 - 10,1	████				
	P-bodemvoorraad	kg P/ha	500	440 - 675	████████████████				
	K-plantbeschikbaar	kg K/ha	315	235 - 370	████████████████				
	K-bodemvoorraad	kg K/ha	735	585 - 775	████████████████				
	Ca-plantbeschikbaar	kg Ca/ha	325	245 - 565	████████████████				
	Ca-bodemvoorraad	kg Ca/ha	13120	9190 - 13780	████████████████				
	Mg-plantbeschikbaar	kg Mg/ha	515	170 - 285	████████████████████				
	Mg-bodemvoorraad	kg Mg/ha	1015	445 - 800	████████████████				
	Na-plantbeschikbaar	kg Na/ha	45	120 - 170	██████				
	Na-bodemvoorraad	kg Na/ha	95	75 - 115	████████████				
	Fysisch	Si-plantbeschikbaar	g Si/ha	99870	20200 - 87550	████████████████			
Fe-plantbeschikbaar		g Fe/ha	10910	8420 - 15150	████████████████				
Zn-plantbeschikbaar		g Zn/ha	470	1680 - 2530	██████				
Mn-plantbeschikbaar		g Mn/ha	4780	3370 - 4380	████████████████				
Cu-plantbeschikbaar		g Cu/ha	280	135 - 220	████████████████				
Co-plantbeschikbaar		g Co/ha	10	15 - 25	██████				
B-plantbeschikbaar		g B/ha	685	540 - 740	████████████				
Mo-plantbeschikbaar		g Mo/ha	30	340 - 16840	████				
Se-plantbeschikbaar		g Se/ha	34	12 - 15	████████████████████				
Zuurgraad (pH)			7,1	5,6 - 6,1	████████████████				
C-organisch		%	1,7						
Organische stof		%	3,5						
C/OS-ratio			0,49	0,45 - 0,55	████████████				
Koolzure kalk		%	2,5	2,0 - 3,0	████████████				
Klei (<2 µm)		%	29						
Silt (2-50 µm)		%	54						
Zand (>50 µm)		%	11						
Klei-humus (CEC)		mmol+/kg	226	> 132	████████████				
CEC-bezetting	%	100	> 95	████████████					
Ca-bezetting	%	86	75 - 85	████████████					
Mg-bezetting	%	11	6,0 - 10	████████████					
K-bezetting	%	2,5	2,0 - 5,0	████████████					
Na-bezetting	%	0,5	1,0 - 1,5	████████████					
H-bezetting	%	< 0,1	< 1,0	████					
Al-bezetting	%	< 0,1	< 1,0	████					

Pagina: 1
Totaal aantal pagina's: 6
Rapportidentificatie:
784607/005256210, 11-12-2020



Dit rapport is vrijgegeven onder verantwoording van Drs. Ing. J. van Benthum, Business Unit Manager. Op al onze vormen van dienstverlening zijn onze Algemene Voorwaarden van toepassing. Op verzoek worden deze en/of de specificaties van de analysemethoden toegezonden. Eurofins Agro Testing Wageningen BV stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens ons verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Eurofins Agro Testing Wageningen BV is ingeschreven in het RvA-register voor testlaboratoria zoals nader omschreven in de erkenning onder nr. L122 voor uitsluitend de monsternemings- en/of de analysemethoden.






Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3191
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers 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.



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

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3191
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers 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.

