



Effecten van een organische bodemverbeteraar op de bodemkwaliteit en uitspoeling van nutriënten

Resultaten van demoproeven op drie zandgronden in de Achterhoek in 2020-2022 als onderdeel van het PPS-project BIOVALOR

Inge Regelink, Anna Adriana



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Effecten van een organische bodemverbeteraar op de bodemkwaliteit en uitspoeling van nutriënten

Resultaten van demoproeven op drie zandgronden in de Achterhoek in 2020-2022 als onderdeel van het PPS-project BIOVALOR

Inge Regelink, Anna Adriana

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research en gefinancierd vanuit het TKI-project BIOVALOR (valorisatie van biomassastromen) onder nummer LWV20.119 onder TKI Agri&Food.

Wageningen Environmental Research
Wageningen, oktober 2023

Gereviewd door:
Hendrik Holwerda, PhD onderzoeker (WUR/WENR)

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

Rapport 3287
ISSN 1566-7197

Regelink, I.C., Adriana, A., 2023. *Effecten van een organische bodemverbeteraar op de bodemkwaliteit en uitspoeling van nutriënten; Resultaten van demoproeven op drie zandgronden in de Achterhoek in 2020-2022 als onderdeel van het PPS-project BIOVALOR*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3287. 52 blz.; ? fig.; ? tab.; ?? ref.

Dit rapport beschrijft de resultaten van een driejarige veldproef op zandgronden in de Achterhoek waarin het effect van een organische bodemverbeteraar op de bodemkwaliteit en uitspoeling van nutriënten is onderzocht. De resultaten wijzen uit dat de extra aanvoer van organische stof geen effect had op het organischestofgehalte, het stikstofgehalte of de nitraatuitspoeling.

This report describes the results of a three-year field trial on sandy soil in the Achterhoek region in the Netherlands, testing the effects of an organic soil improver on soil quality and leaching of nutrients. Results show that yearly application of additional organic matter had no effect on soil organic matter content, nitrate leaching or nitrogen content of the soil.

Trefwoorden: meststoffen, nitraatuitspoeling, fosfaat, organische stof, mestverwerking, bodem

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/637428> 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.

© 2023 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 3287 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Arjan Prinsen

Inhoud

Verantwoording	5
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 Aanleiding	13
1.2 Hypotheses	13
1.3 Toelichtingen per hypothese	13
1.4 Wet- en regelgeving	14
1.5 Aanpak	15
2 Materiaal en Methoden	16
2.1 Groene effectieve bodemverbeteraar	16
2.1.1 Productie van de GEB	16
2.1.2 Samenstelling GEB	16
2.2 Opzet demoproeven en uitvoering	17
2.2.1 Proefveldlocaties	17
2.2.2 Proefopzet en bemesting	18
2.2.3 Uitvoering	18
2.2.4 Bemonstering en analyses	20
2.2.5 Bijzonderheden/logboek	21
2.3 Weersomstandigheden	23
2.3.1 2020	23
2.3.2 2021	24
2.3.3 2022	24
3 Resultaten	25
3.1 Profielmetingen (0-90 cm)	25
3.1.1 Nitraat	25
3.1.2 Fosfaat	29
3.1.3 Zwavel (sulfaat)	31
3.2 Standaard bodemonderzoek (bouwvoor)	33
3.2.1 Resultaten bodemonderzoek	33
3.2.2 Organische stof	34
3.2.3 Stikstof	36
3.2.4 Fosfaat	37
3.2.5 Zwavel (sulfaat)	37
3.2.6 Bodem-biologische parameters	37
4 Discussie	39
4.1 Effect op nitraatuitspoeling	39
4.2 Stikstofbodemvoorraad	40
4.3 Organische stof	41
4.4 Zwavel (sulfaat)	42
4.5 Fosfaat	43
4.6 Gebruiksnormen	43
4.7 Toekomstperspectief	46
5 Conclusies en perspectief	47
Literatuur	48
Bijlage 1	49



Verantwoording

Rapport: 3287

Projectnummer: LWV20.119

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: PhD onderzoeker (WUR/WENR)

naam: Hendrik Holwerda

datum: 16 oktober 2023

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Gert Jan Reinds

datum: 16 oktober 2023

Woord vooraf

In het kader van de circulaire economie bestaat er behoefte aan nieuwe verdienmodellen waarbij organische reststromen en dierlijke mest opgewerkt worden tot hoogwaardige meststoffen en andere producten. Binnen deze context vindt reeds enkele jaren praktijkgericht onderzoek plaats bij en in samenwerking met Groot Zevert Vergisting (GZV) in Beltrum (Gelderland). GZV exploiteert een covergistingsinstallatie met een capaciteit van circa 130 kton per jaar en heeft zichzelf tot doel gesteld om meer waarde te creëren uit het digestaat. Hiertoe is geïnvesteerd in installaties om nutriënten en organische stof in separate producten terug te winnen. De stikstof- en kaliumrijke stromen worden opgewerkt tot mineralenconcentraat en de organischestof-rijke dikke fractie wordt gespoeld met water en zuur om het fosfaat te scheiden van de organische stof. De ontwikkeling en monitoring van de digestaatverwerking waren onderwerp van een eerder PPS-project (Meerwaarde Mest en Mineralen) en een eerder EU-project (SYSTEMIC); de resultaten daarvan zijn beschikbaar (Regelink et al., 2021).

De organische stof met het verlaagde fosfaatgehalte is onderwerp van onderhavige studie. Dit product wordt door GZV verkocht onder de naam 'groene effectieve bodemverbeteraar', afgekort GEB. Knelpunten bij het gebruik van GEB als bodemverbeterend middel zijn de fosfaatgebruiksnorm en de gebruiksnorm dierlijke mest (170 kg N/ha). Voor compost gelden deze belemmeringen niet of minder, omdat fosfaat in compost voor 50% is vrijgesteld van de fosfaatgebruiksnorm (vanwege het hoge aandeel grond in compost) en omdat compost niet meetelt voor de gebruiksnorm dierlijke mest. Om de marktontwikkeling te stimuleren, heeft Groot Zevert Vergisting een tijdelijke ontheffing verkregen via het Ministerie van LNV. Met deze ontheffing mag GEB tijdelijk en op een beperkt aantal bedrijven ingerekend worden conform de regels voor compost. Op deze praktijkpercelen wordt vanuit de stichting HOEDuurzaam een onderzoek uitgevoerd naar de effecten op bodem en grondwater (elders gerapporteerd). Er bleek eveneens behoefte aan een onderzoek naar de effecten van het gebruik van GEB op de milieukundige verliezen en bodemkwaliteit en daartoe zijn in de periode 2020 t/m 2022 veldproeven uitgevoerd.

Dit rapport doet verslag van veldproeven op drie locaties waarin stroken bemest met GEB zijn vergeleken met stroken met een controlebemesting. De veldproeven zijn opgezet in samenwerking met Stichting Biomassa met als doel om de effecten van GEB op de uitspoeling van nutriënten en de opbouw van organische stof te toetsen. Het aantonen van effecten van bemesting met GEB blijkt in de praktijk moeilijk. De monitoringsdata leveren daarentegen wel inzicht in de hoogte van het stikstofoverschot in de bodem in relatie tot landgebruik en weerscondities. Deze inzichten zijn waardevol voor de bewustwording.

De veldproeven werden gefinancierd vanuit het EU-project SYSTEMIC (1^{ste} jaar) en het TKI-project BIOVALOR (2^{de} en 3^{de} jaar, BO-55-001-011). De auteurs bedanken Arjan Prinsen (GZV) en Hayo Canter Cremer (Stichting Biomassa) voor hun bijdrage aan het project. Bovenal willen we ook de eigenaren van de proefveldlocaties hartelijk danken voor het beschikbaar stellen van de locaties.

Samenvatting

GEB (Groene Effectieve Bodemverbeteraar) is een dikke fractie met een verlaagd fosfaatgehalte, geproduceerd door Groot Zevert Vergisting (GZV) te Beltrum. De dikke fractie, uit covergiste varkensmest, wordt met water en zwavelzuur gespoeld om het fosfaatgehalte te verlagen. GZV heeft als doel om de GEB in de regio af te zetten om zo bij te dragen aan verbetering van de zandgronden en om transportkosten voor afzet van mest te besparen.

Door het verlaagde fosfaatgehalte kan meer dikke fractie worden toegepast binnen de fosfaatgebruiksnorm. Echter, om te kunnen concurreren met de afzet van compost zou een gedeeltelijke vrijstelling van de fosfaatgebruiksnorm wenselijk zijn. Tevens vormt de gebruiksnorm dierlijke mest, voor totaal-N, een knelpunt bij het gebruik van GEB. Om een eventuele vrijstelling te kunnen onderbouwen, heeft GZV opdracht gegeven om in het veld onderzoek te doen naar de effecten van GEB op de risico's op uitspoeling van fosfaat en nitraat en op de opbouw van bodemorganische stof.

Doel van het onderzoek is om in het veld vast te stellen of een meerjarig gebruik van GEB effecten heeft op de bodemkwaliteit en risico van uitspoeling met een focus op nitraat, fosfaat en zwavel.

Proefopzet

Er zijn drie proefvelden geselecteerd in de nabijheid van GZV en het drinkwatergebied Haarlo-Eibergen. Alle velden liggen op lichtzure dekzandgronden en kenmerken zich door lage lutumgehalten (<3%) en hoge fosfaattoestanden (P-AL getal 80-95 mg P₂O₅/100g).

De proef kende twee behandelingen (controle, GEB), uitgevoerd in drie herhalingen. De proefveldjes waren onderdeel van reguliere landbouwpercelen en liepen qua bemesting, zaaien en oogsten mee met de handelingen op het gehele perceel. De reguliere bemesting bestond uit drijfmest en KAS (controleveldjes). Op de GEB-veldjes werd aanvullend een dosering van 10, 20 of 40 ton GEB per hectare opgebracht (GEB-veldjes); de totale gift aan nutriënten is daardoor hoger op de GEB-veldjes t.o.v. de controleveldjes.

Er zijn vrij hoge giften aan GEB gegeven om de effecten op de bodem en nitraatuitspoeling sterker en sneller waar te kunnen nemen. Verwacht mag worden dat een grondeigenaar in de praktijk lagere GEB-doseringen zal aanhouden vanwege beperkingen door gebruiksnormen en de wens om ook drijfmest te gebruiken.

Monitoring

In het najaar en voorjaar werden grondmonsters gestoken op 0-30, 30-60 en 60-90 cm diepte en hierin werd de voorraad nitraat alsmede andere nutriënten bepaald met de Eurofins CHECK-methode (0.01 M CaCl₂-extractie op veldvochtige grond). De nitraatvoorraad gemeten na 1 november wordt aangeduid als het nitraatresidu, omdat dit nitraat niet meer beschikbaar is voor gewasopname gedurende het betreffende seizoen. Wel kan een deel van de stikstof uit de bovenste 60 cm nog worden opgenomen door vanggewas. Deze meting wordt herhaald in het voorjaar en het verschil tussen beide meetmomenten geeft een indicatie van de hoeveelheid stikstof die verloren is gegaan door uitspoeling of door denitrificatie naar stikstofgas (N₂).

Grondonderzoek werd een- of tweemaal per jaar uitgevoerd door de bovenlaag (0-10 op grasland en 0-30 op bouwland) te bemonsteren. Grondmonsters werden geanalyseerd op organische stof, totaal-stikstof, P-Al-getal, P-CaCl₂-getal en een aantal aanvullende parameters.

Weer

Het weer was van invloed op de resultaten. Het jaar 2020 kenmerkte zich door droogte die reeds zeer vroeg in het voorjaar begon, waardoor gewassen slecht opkwamen. Het jaar 2021 was eveneens uitzonderlijk droog, maar dit groeiseizoen ging van start met een nat voorjaar waardoor de gewassen wel een goede start hadden. Het groeiseizoen van 2022 kenmerkte zich wederom door een normaal voorjaar, gevolgd door langdurige droogte in juli en augustus.

Nitraatuitspoeling

Er is geen effect van de bodemverbeteraar op het nitraatresidu gevonden. De extra aanvoer van stikstof met GEB resulteerde niet in een hoger nitraatresidu.

In algemene zin: het hoogste nitraatresidu, 160 kg N/ha, werd gevonden in 2021 na de teelt van aardappel. Opvallend is dat ook op grasland hoge nitraatresiduen werden gevonden, wat wellicht deels te wijten is aan de zeer droge zomers. Het laagste nitraatresidu, 26 kg N/ha, werd gemeten op grasland na een jaar waarin géén N-kunstmest was toegediend.

De veldproeven tonen aan dat er grote jaar-op-jaar verschillen zijn in de hoogte van het nitraatresidu. De droge zomers tijdens de proefperiode hebben hier waarschijnlijk een rol bij gespeeld. In november bevond 22-55% van het nitraat zich reeds op 30-90 cm diepte en is daarmee niet meer beschikbaar voor opname door het veldgewas. Dat deel zal uitspoelen naar het grondwater. Immers, in het voorjaar werd ten hoogste 20 kg N/ha aan minerale stikstof teruggevonden in de 0-60cm-bodemlaag.

Een deel van het nitraatresidu zou via denitrificatie kunnen worden omgezet naar stikstofgas. Dit proces vindt alleen plaats onder zuurstofloze i.e. anaerobe condities. Uit de metingen, waarbij de ijzerconcentratie is gebruikt als indicator voor zuurstofloosheid, blijkt dat slechts in enkele jaren voldoende zuurstofloos is voor denitrificatie én dat deze conditie zich niet voordoet in het najaar, maar pas bij de meting in het voorjaar. De mate waarmee nitraatuitspoeling door denitrificatie wordt voorkomen, is daarmee zeer onzeker en varieert per jaar. De toediening van extra organische stof op de GEB-veldjes had geen effect op de mate van zuurstofloosheid en denitrificatie.

Stikstofbodemvoorraad

Op de GEB-veldjes was de aanvoer van stikstof circa 100 kg N/ha hoger ten opzichte van de controleveldjes, omdat de GEB-bemesting boven op de reguliere mestgift is gegeven. Toch leidde deze hogere GEB-gift niet in een meetbaar hoger nitraatresidu. De stikstof in GEB is voor 75% aanwezig in organische vorm. Eerdere incubatieproeven tonen aan dat GEB een zeer hoge humificatiecoëfficiënt en een zeer lage N-mineralisatiecoëfficiënt kent. Dit duidt erop dat er weinig tot geen mineraal stikstof vrijkomt uit de GEB verklaart waarom meerjarig gebruik van GEB niet leidt tot een verhoging in het nitraatresidu.

De overige 25% van de stikstof in GEB is aanwezig als ammonium waarvan een onbekend deel vervluchtigt als ammoniak na aanwending. Het risico op ammoniakemissies is hoog bij het gebruik van vaste meststoffen, omdat deze oppervlakkig worden aangewend en alleen op bouwland licht worden ondergewerkt.

Toch blijft het lot van de extra aangevoerde stikstof nog deels onduidelijk. Verwacht mag worden dat de organische stikstof accumuleert in de bouwvoor, maar in de metingen van totaal-stikstof in de bodem zijn nog geen verschillen aangetoond tussen de GEB- en controleveldjes.

Organische stof

Gedurende drie proefjaren kon geen significant verschil in organischestofgehalte tussen de GEB- en controleveldjes worden vastgesteld. In drie jaar tijd werd 12,5 tot 17,5 ton organische stof/ha aangevoerd op de GEB-veldjes. Hoewel dit in termen van bemesting grote hoeveelheden zijn, kon er nog geen significante verhoging van het OS-gehalte in de bodem worden vastgesteld. Op de twee bouwlandgronden kan dit verklaard worden door het feit dat organische bodemverbeteraar vermengd wordt door de 0-30cm-bodemlaag en deze laag reeds 200 ton OS/ha bevat. Op grasland werd wel een aantoonbare verhoging in de 0-10cm-bodemlaag verwacht, maar niet gevonden. Hierbij speelt ook mee dat er sprake is van een behoorlijk grote temporele en ruimtelijke variatie in de meting van het organischestofgehalte (gloeiverlies) en organische koolstofgehalte (TOC) zonder dat hier een verklaring voor werd gevonden. Opbouwen van organische stof in de bodem is een proces van de lange adem.

Zwavel

GEB bevat zwavel in de vorm van sulfaat. Zwavel is een macronutriënt, maar de gewasbehoefte is relatief laag en extra zwavelbemesting is normaliter niet nodig. De monitoring toont aan dat het overschot aan sulfaat binnen één winterseizoen uitspoelt naar het grondwater. Gedurende de drie jaren was er een grote variatie in zwavelgehalte van de GEB. Het beheersen en verlagen van het zwavelgehalte is een

aandachtspunt. Hoge zwavelgiften in de vorm van sulfaat vormen ook een risico bij gebruik van andere meststoffen uit mestverwerkingsprocedures waarbij zwavelzuur wordt gebruikt, waaronder ammoniumsulfaat en mineralenconcentraat. Verhoogde sulfaatconcentraties betekenen eveneens een hogere alkaliniteit van het grondwater en dit is nadelig voor de drinkwaterproductie.

Fosfaat

In deze proef is GEB bemest boven op de reguliere drijfmestgift waardoor de GEB-veldjes een hogere fosfaatgift kregen. Op de GEB-veldjes was het P-CaCl₂-getal gemiddeld hoger dan op de controleveldjes. Dat wil zeggen dat het fosfaat uit GEB toch grotendeels makkelijk oplosbaar is, terwijl het tegenovergestelde bij aanvang werd verwacht. Hierbij moet worden opgemerkt dat er een aantal jaren GEB is bemest met daarin nog 6 kg P₂O₅/ton product, terwijl GZV eerder heeft aangetoond het fosfaatgehalte tot 2 kg P₂O₅ te kunnen verlagen.

Adviezen t.a.v. gebruiksnormen

Het gebruik van GEB wordt beperkt door de fosfaatgebruiksnorm, de gebruiksnorm dierlijke mest en de stikstofgebruiksnorm. Op basis van de samenstelling is opname van GEB op de lijst van 'organischestof-rijke producten' waarvoor een hogere fosfaatgebruiksnorm geldt op gronden met een hoge fosfaattoestand goed verdedigbaar. Een fosfaatvrije voet zoals geldt voor compost is minder goed verdedigbaar, omdat de grondslag verschilt; bij compost bevindt circa 50% van het fosfaat zich in de grondfractie, terwijl GEB geen grond bevat. Voor stikstof kan gesteld worden dat een lagere stikstofwerkingscoëfficiënt van 10% verdedigbaar is voor GEB. Een ontheffing van de gebruiksnorm dierlijke mest lijkt onwaarschijnlijk, aangezien GEB een product is uit mest.

Toekomstperspectief

Ten tijde van de start van deze demoproef was er in Nederland sprake van een fosfaatoverschot uit dierlijke mest en kon nog gebruikgemaakt worden van de graslandderogatie. GZV had als doel om fosfaat en organische stof van elkaar te scheiden teneinde het fosfaat over lange afstand te kunnen exporteren.

Anno 2023 is bekend dat de graslandderogatie komt te vervallen, waardoor het mestoverschot in termen van stikstof fors zal stijgen. Gelijktijdig is er sprake van een steeds grotere mate van onderbenutting van de fosfaatgebruiksruimte en daarmee ontstaan nieuwe kansen voor de afzet van fosfaatrijke meststoffen uit dierlijke mest, mits dit een laag stikstofgehalte kent (de gebruiksnorm dierlijke mest beperkt). Met het aflopen van de derogatie vervalt bovendien het verbod op het gebruik van varkensmest op derogatiebedrijven, waarmee een nieuwe afzetmarkt ontstaat. Voor GZV betekent dit dat een fosfaatrijke dikke fractie wellicht in de toekomst afzetbaar is in Nederland en dat daarmee de drijfveer voor de productie van GEB wegvalt.

Een andere ontwikkeling is dat er in de potgrondsector in toenemende mate belangstelling is voor duurzame alternatieven voor veen als grondstof voor potgrond. Dat zou een reden kunnen vormen om de productie van GEB juist verder te ontwikkelen. In die route zou dan ook aandacht moeten zijn voor de productie van een fosfaatmeststof met een laag stikstofgehalte, zodat deze binnen Nederland afzetbaar is.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In het kader van de circulaire economie is behoefte aan nieuwe verdienmodellen waarbij organische reststromen en dierlijke mest opgewerkt worden tot hoogwaardige meststoffen en andere producten. Hiertoe is bij Groot Zevert Vergisting in Beltrum een grootschalige installatie gebouwd voor de verwerking van digestaat vanuit de covergistinginstallatie. De stikstof- en kaliumrijke stromen worden opgewerkt tot mineralenconcentraat en de organischestof-rijke dikke fractie wordt gespoeld met water en zuur om het fosfaat te scheiden van de organische stof (Regelink et al., 2021).

De organische stof met het verlaagde fosfaatgehalte is onderwerp van onderhavige studie. Dit product wordt door GZV verkocht onder naam 'groene effectieve bodemverbeteraar', afgekort GEB. Knelpunten bij het gebruik van GEB als bodemverbeterend middel zijn de fosfaatgebruiksnorm en de gebruiksnorm dierlijke mest (170 kg N/ha). Voor compost gelden deze belemmeringen niet of minder, omdat fosfaat in compost voor 50% is vrijgesteld van de fosfaatgebruiksnorm (vanwege het hoge aandeel grond in compost) en omdat compost niet meetelt voor de gebruiksnorm dierlijke mest.

De samenstelling van GEB wijkt af van de reguliere dikke fractie van mest, omdat de makkelijk oplosbare nutriënten in het spoelproces verwijderd worden. De opdrachtgever wil GEB in de markt zetten als bodemverbeterend product en aanbieden als alternatief voor compost. Om GEB op deze wijze te kunnen gebruiken, is echter een ontheffing van de gebruiksnorm dierlijke mest en de fosfaatgebruiksnorm nodig. Zonder deze ontheffingen is het voor akkerbouwers niet interessant om GEB aan te kopen, omdat de gebruiksruijme voor dierlijke mest en fosfaat in de regel reeds wordt op gevuld met dierlijke mest.

Dekzandgronden in het oostelijke zandgebied zijn gevoelig voor uitspoeling van nitraat. Volgens de EU-nitraatrichtlijn mag de nitraatconcentratie (NO_3) in het grondwater niet hoger zijn dan 50 mg NO_3/l . Het onderzoeksgebied is daarnaast gelegen in een drinkwaterwinningsgebied, waardoor nitraatuitspoeling extra aandacht krijgt. Het oostelijke zandgebied kenmerkt zich eveneens door hoge fosfaatgehalten in de bodem en droogtegevoeligheid. Er is zodoende behoefte aan onderzoek naar het effect van GEB op de mate van nitraatuitspoeling, de opbouw van het OS-gehalte in de bodem en het risico op fosfaatuitspoeling.

1.2 Hypotheses

1. De nitraatuitspoeling neemt af bij aanwending van GEB door een verhoogde denitrificatie als gevolg van een hogere concentratie afbreekbare organische stof.
2. De nitraatuitspoeling neemt na aanwending van GEB af door een tijdelijke immobilisatie van mineraal stikstof in bacteriële biomassa als gevolg van de hoge C/N-ratio van GEB. Op een later moment komt de vastgelegde stikstof vrij.
3. Op de langere termijn neemt de nitraatuitspoeling bij gebruik van GEB toe door het toenemende gehalte aan organisch stikstof in de bodem.
4. Herhaaldelijk gebruik van GEB leidt tot een toename van het OS-gehalte in de bodem.
5. De invoering van een fosfaatvrije voet van 50% voor GEB geeft geen risico op een verhoogde fosfaatuitspoeling.

1.3 Toelichtingen per hypothese

1. Denitrificatie van nitraat naar stikstofgas is een biologisch proces dat plaatsvindt onder zuurstofarme condities en in aanwezigheid van afbreekbare organische stof. Hoewel dit principe in labproeven is

aangetoond, blijkt het in de praktijk lastig om effecten van organische stof op de nitraatuitspoeling vast te stellen. Uit een analyse van gegevens uit het landelijk meetnet mestbeleid (LMM) blijkt dat gemiddeld genomen de nitraatconcentratie in bodemvocht lager is bij een hoger OS-gehalte van de grond (Van der Wal et al., 2019), al zijn de verschillen beperkt en kan deze relatie ook verklaard worden door de hogere stikstofbenutting op grasland versus bouwland. In een andere recente studie met uitgebreid veldonderzoek in het gebied Eibergen-Haarlo werd geen relatie gevonden tussen de denitrificatiepotentiaal van de bodem en het organischestofgehalte in de bodem (Rietra et al., 2022). Om bij te dragen aan denitrificatie dient GEB makkelijk afbreekbare organische stof te leveren.

2. Bij afbraak van meststoffen met een C/N-ratio van 25 hoger treedt eerst N-immobilisatie op waarbij mineraal stikstof uit de bodem tijdelijk (1 à 2 maanden) wordt onttrokken en wordt vastgelegd in bacteriebiomassa. Voor GEB is dit proces aangetoond in incubatieproeven (Regelink et al., 2019).
3. GEB bevat stikstof in organische vorm. Omdat alleen de werkzame stikstof meetelt voor de stikstofgebruiksnorm leidt het gebruik van organische bodemverbeteraars zoals compost tot een opbouw van het organische stikstofgehalte in de bodem. Stikstofmineralisatie buiten het groeiseizoen (warm voorjaar/najaar) kan leiden tot een verhoogde nitraatuitspoeling. Voor compost wordt uit modelstudies verwacht dat na langdurige toepassing de nitraatuitspoeling zal stijgen. Voor GEB kan een vergelijkbaar effect verwacht worden indien het gebruik van GEB niet beperkt wordt door de gebruiksnorm dierlijke mest.
4. Er is veel aandacht voor de aanvoer van organische stof naar bouwland en de relatie tot bodemkwaliteit en bodemfysische eigenschappen. Omdat GEB in incubatieproeven een relatief hoge humificatiecoëfficiënt liet zien van circa 75-80%, mag verwacht worden dat een deel van organische stof in stabiele vorm in de bodem accumuleert. De effecten van een hogere OS-aanvoer op het bodemorganische stofgehalte kunnen echter beperkt zijn, omdat de aanvoer per hectare laag is ten opzichte van de reeds aanwezige organischestofvoorraad in de bouwvoor.
5. Voor compost geldt een fosfaatvrije voet van 50%, omdat compost voor circa 70% bestaat uit grond met daaraan gebonden fosfaat (Ehlert et al., 2005). Hoewel dit argument niet van toepassing is voor GEB, kan evenwel een lager uitspoelingsrisico verwacht worden bij gebruik van GEB t.o.v. onbewerkte dierlijke mest of kunstmest, omdat de behandeling met water en zuur ertoe leidt dat het direct oplosbare fosfaat reeds verwijderd is. Wat resteert in GEB is het slecht oplosbare en/of organische fosfaat.

1.4 Wet- en regelgeving

De bodemverbeteraar uit co-vergiste varkensmest valt onder de definitie van dierlijke mest. Bij het gebruik van dit product als meststof gelden daarbij de volgende gebruiksnormen:

- De gebruiksnorm dierlijke mest (170 kg N/ha)
- De stikstofgebruiksnorm (gedifferentieerd naar gewas en grondsoort)
- De fosfaatgebruiksnorm (gedifferentieerd naar fosfaattoestand van de bodem)

Voor de stikstofgebruiksnorm wordt de 'werkzame' stikstof gerekend. Indien de bodemverbeteraar beschouwd wordt als een dikke fractie uit varkensmest, dan geldt hiervoor een stikstofwerkingscoëfficiënt van 55%.

Indien GEB volgens bovenstaande gebruiksnormen ingerekend dient te worden, beperkt dit de mogelijkheden om GEB als bodemverbeteraar te gebruiken. GEB dient dan immers te concurreren met andere organische bodemverbeterende producten die geen meststatus kennen en, in het geval van compost, het fosfaatgehalte niet volledig hoeven in te rekenen. Dit is geïllustreerd in figuur 1.1 en 1.2, waarin de fosfaatgift en totaal stikstofgift is uitgezet voor een aantal organische meststoffen en bodemverbeteraars bij een vaste organischestof-aanvoer van 1000 kg organische stof per hectare. Bij deze dosering wordt met GEB circa 17 kg P₂O₅/ha aangevoerd, wat laag is ten opzichte van onbewerkte dikke fracties mest en vergelijkbaar is met de aanvoer bij gebruik van compost, champost of digestaat van suikerbietenresten. Voor compost geldt echter een fosfaatvrije voet van 50% (tot een P₂O₅-gehalte van 3.5 g/kg DW) waardoor hiermee meer organische stof per kg fosfaat kan worden aangevoerd.

De fosfaatvrije voet voor compost is ingevoerd, omdat compost voor een aanzienlijk deel bestaat uit grond. Op basis van de droge stof bevatten gft en groencompost respectievelijk 42 en 27% organische stof. Dit is aanzienlijk lager dan het organischestofgehalte van dikke fracties runder- of varkensmest, die op basis van het drooggewicht voor circa 75% uit organische stof bestaat. Met het gebruik van compost wordt dus grond verplaatst. Omdat grond ook fosfaat bevat, is hiervoor een correctie gerechtvaardigd. Het aanvoeren van grond met daaraan gebonden fosfaat leidt immers niet tot een verhoging van het fosfaatgehalte in de ontvangende grond. Dit is de zogenaamde 'basisvruchtbenadering' (Ehlert, 2005). Deze verrekening is vormgegeven door invoering van een korting van 50% op het fosfaatgehalte waarbij een maximale korting geldt van 3.5 g P₂O₅/kg droge stof. Deze korting is niet van toepassing op overige organische meststoffen waaronder champost of dikke fracties uit digestaat van organische reststromen (zonder dierlijke mest).

Op percelen met een hoge fosfaattoestand mag aanvullend 5 kg P₂O₅ extra aangewend worden in de vorm van organischestof-rijke meststoffen, mits deze meststof in een hoeveelheid van minimaal 20 kg P₂O₅/ha wordt aangevoerd. Deze uitzondering geldt voor compost, champost, storrijke mest en dikke fractie van rundveemest. Voor de organische meststoffen met een status 'dierlijke mest' biedt dit in de praktijk echter geen mogelijkheden, omdat de aanvoer van stikstof in relatie tot de gebruiksnorm dierlijke mest veelal de beperkende factor is.

Stikstof uit dierlijke mest wordt ingerekend onder de 'gebruiksnorm dierlijke mest'. Hiervoor telt het totaal stikstofgehalte in de meststof en een gebruiksnorm van 170 kg N/ha. Bij een dosering van 1000 kg organische stof in de vorm van GEB dient 25 kg N ingerekend te worden onder de gebruiksnorm dierlijke mest. Het inrekenen van de stikstof onder de gebruiksnorm dierlijke mest vormt een grote belemmering voor de afzet van GEB als bodemverbeterend product, omdat de gebruiksnorm dierlijke mest in de regel al volledig wordt opgevuld met drijfmest. Drijfmest heeft een hoge stikstofwerking en wordt gebruikt om te voorzien in de stikstofbehoefte van het gewas. De stikstof uit overige organische meststoffen en compost telt niet mee voor de gebruiksnorm dierlijke mest, maar wel voor de stikstofgebruiksnorm.

De stikstofgebruiksnorm geldt voor alle meststoffen, ongeacht herkomst. De stikstofgebruiksnorm is een gewas- en grondsoort-specifieke norm en geldt zowel voor kunstmest als stikstof uit organische mest. Voor stikstof uit organische mest wordt gerekend met een werkingscoëfficiënt, die een benadering geeft van de hoeveelheid stikstof die gedurende het groeiseizoen beschikbaar komt voor gewasopname. De werkingscoëfficiënten voor compost, champost en overige organische meststoffen zijn vastgesteld op respectievelijk 10, 25 en 50% van de totale stikstof.¹ De GEB valt onder vaste mest van varkens en daarvoor geldt een werkingscoëfficiënt van 50% van de totale stikstof.

Het inrekenen van GEB onder de huidige wet- en regelgeving vormt daarmee een belemmering voor het gebruik van GEB door akkerbouwers en tevens – voor stikstof – een ongelijke uitgangspositie ten opzichte van andere bodemverbeterende producten niet-zijnde mest. In de veldproef zijn hogere doseringen van GEB op proefstroken opgebracht teneinde een hoger effect te kunnen waarnemen. In de discussie wordt ook ingegaan op de te verwachten effecten indien de GEB-dosering wordt ingerekend in het bemestingsplan conform de gebruiksnormen.

1.5 Aanpak

Er is een driejarige veldproef (2020-2023) uitgevoerd op drie praktijkpercelen gelegen in het gebied Haarlo/Beltrum op uitspoelingsgevoelige dekzandgronden. Twee percelen waren in gebruik als bouwland (aardappel, mais) en één perceel was in gebruik als grasland. GZV leverde de GEB en paste deze toe in de stroken van het proefveld. De veldproef is drie seizoenen gecontinueerd en bestaat uit een behandeling met GEB (boven op de reguliere bemesting) en een controle (reguliere bemesting). De praktische uitvoering van de veldproef lag in handen van Stichting Biomassa (Hayo Canter Cremer) en Groot Zevent Vergisting (Arjan Prinsen). De monitoring en de rapportage zijn uitgevoerd door Wageningen Environmental Research.

¹ RVO – Tabel werkingscoëfficiënt 2019-2021 <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/01/Tabel-3-Werkingscoefficient-2019-2021.pdf>

2 Materiaal en Methoden

2.1 Groene effectieve bodemverbeteraar

2.1.1 Productie van de GEB

De te toetsen meststof wordt verhandeld onder de merknaam 'Groene Effectieve Bodemverbeteraar' (GEB). Deze vaste organische meststof wordt geproduceerd door Groot Zevert Vergisting, Beltrum. Hier wordt varkensdrijfmest met coproducten van de agro-food industrie (o.a. melkpoeder, aardappelschillen, graanresten, koffiedik etc.) vergist bij 30 dagen verblijftijd. Het digestaat wordt daarna gescheiden middels een decanteercentrifuge zonder gebruik van polymeer. Dit geeft een rulle organische meststof met een hoog fosfaatgehalte.

Deze dikke fractie wordt vervolgens behandeld in een nieuwe installatie volgens het RePeat-principe. Het werkingsprincipe en de massabalansen zijn gerapporteerd in Regelink et al. (2021). De dikke fractie wordt gespoeld met een oplossing van water en zwavelzuur bij een pH van 5,0, waardoor fosfaat in oplossing gaat. Door dit mengsel wederom te scheiden met een schroefpers ontstaat de GEB met een laag fosfaatgehalte. Dit proces van spoelen en scheiden wordt tweemaal herhaald en daarmee is het mogelijk om het fosfaatgehalte met circa 80% te verlagen. In de praktijk worden echter lagere fosfaatverwijderingsrendementen gerealiseerd, omdat de zuurdosering lager wordt afgesteld vanuit kostenoverwegingen en om het zwavelgehalte in de bodemverbeteraar te beheersen.

2.1.2 Samenstelling GEB

De onbehandelde dikke fractie heeft een fosfaatgehalte van 19 g P₂O₅/kg. Het fosfaatgehalte in GEB varieert echter sterk tussen de verschillende partijen. Wanneer de installatie goed draait, heeft GEB een fosfaatgehalte van 1 tot 2 g P₂O₅/kg. Echter, in 2021 is de bemesting uitgevoerd met een GEB met een aanzienlijk hoger fosfaatgehalte, van 5 tot 9 g P₂O₅/kg. De analyseresultaten zijn pas beschikbaar gekomen na het uitrijden van GEB. Hierdoor zijn met name in 2021 aanzienlijk hogere fosfaatgiften gegeven dan was voorzien. De range in fosfaatgehalten laat zien dat de techniek in potentie in staat is om zeer lage fosfaatgehalten te bereiken, maar dat dit in de praktijk niet altijd gerealiseerd wordt. Hogere fosfaatgehalten zijn gerelateerd aan testen met een lagere zuurdosering teneinde het zwavelgehalte in het product te beheersen.

Het stikstofgehalte in GEB bedroeg gemiddeld 6,6 g/kg. Mineraal stikstof (ammonium) is alleen gemeten in 2022 en bedroeg 0,8 g N-NH₄/kg. Het overgrote deel van de stikstof is dus aanwezig in organische vorm (N_{org}). Het OS-gehalte is in twee batches bepaald. De vaste stof bestaat voor circa 90% uit organische stof. Dit aandeel is hoger ten opzichte van onbewerkte dikke fracties doordat minerale stoffen in het proces zijn uitgespoeld. De C/N_{org}-ratio is hoog.

Ter vergelijking is tevens de gemiddelde samenstelling opgenomen ten tijde van de monitoring van de installatie in kader van het PPS project Meerwaarde Mest en Mineralen en het EU-project SYSTEMIC.

In eerdere incubatieproeven met GEB had het product een C/N-ratio van 29 kg C/kg N. Het is bekend dat stikstoffimmobilisatie optreedt bij een C/N-ratio van 25 of hoger. In incubatieproeven is ook aangetoond dat stikstoffimmobilisatie optreedt (Regelink et al., 2021; Egene 2020).

Tabel 2.1 Droge stof, organische stof- (OS), fosfaat- (P_2O_5), stikstof- (N), ammonium- ($N-NH_4$) en zwavelgehalte (S) van de bodemverbeteraar gemeten in de batches die zijn uitgereden op de proefveldjes.¹

Datum	Veldproeflocatie	DS (g/kg)	OS (g/kg)	P_2O_5 (g/kg)	N (g/kg)	$N-NH_4$ (g/kg)	S (g/kg)	C/ N_{org} (-)
24-09-20	Lintveldseweg	282	254 (90%)	0,9	9,3	1,9	6,4	17
24-09-20	Molenweg	286	n.m.	1,2	5,7	n.m.	6,6	
01-04-21	Veldweg	265	n.m.	5,2	5,7	n.m.	n.m.	
01-04-21	Veldweg	269	n.m.	5,4	6,1	n.m.	n.m.	
15-04-21	Lintveldseweg	339	n.m.	9,0	7,4	n.m.	n.m.	
15-04-21	Molenweg	328	n.m.	9,1	7,6	n.m.	n.m.	
15-02-22	Alle locaties	333	305 (91%)	3,7	4,1	0,8	3,8	46
	Gemiddelde veldproef	300	280	4,9	6,6	1,4	5,6	
Monitoring ²	2020-2021 project MMM	295	265	3,8	5,7	1,7	2,4	33

¹ DS: Droge stof, OS: organische stof (gloeiverlies) en tussen haakjes als % van DS. C/ N_{org} : Berekend als $0.50 \cdot OS / (N - N-NH_4)$.

² Regelink et al., 2021. Gemiddelde van acht bemonsteringen in 2020 en 2021.

2.2 Opzet demoproeven en uitvoering

2.2.1 Proefveldlocaties

Om het effect van GEB op stikstofuitspoeling en organische stof te meten, werd een veldproef opgezet op drie percelen in de Achterhoek. Eén perceel betrof blijvend grasland, de andere twee bouwland in rotatie. Op elk perceel is een proefvak aangelegd, bestaande uit zes veldjes die om en om een behandeling of controle toegewezen krijgen. De veldjes zijn 50 bij 10 meter. Er is een tussenruimte van 2 tot 5 meter tussen de veldjes.

De drie proefveldlocaties zijn gelegen in de Achterhoek in de nabijheid van de vergistingsinstallatie van GZV in Beltrum. Grondonderzoek (zie paragraaf 3.2.3) laat zien dat alle drie percelen een hoge fosfaattoestand kennen. Hier was niet bewust op geselecteerd. Verder passen de bodemeigenschappen bij hetgeen verwacht mag worden op dekzandgronden: een lichtzure pH, afwezigheid van kalk en een organischestofgehalte variërend tussen 3.3 en 4.7%. Het proefveld aan de Molenweg (bouwland) heeft een hoger organischestofgehalte t.o.v. de twee andere locaties.

Tabel 2.2 Karakterisering bodem bij aanvang van de proef (gemiddelde van zes veldjes per locaties, n:6). Analyses Eurofins Agro, Wageningen, klassieke bepalingen.

	Molenweg	Lintveldseweg	Veldweg
Plaats	Eibergen	Eibergen	Haarlo
Landgebruik	Bouwland (rotatie)	Bouwland (rotatie)	Grasland
Bemonsteringsdiepte (cm)	0-30	0-30	0-10
Organische stof (%)	4.7	3.7	3.3
Organisch koolstof (%)	2.3	1.8	1.6
Kalk (%)	<0.1	0.4	<0.1
pH (-)	5.4	5.6	5.3
P-AL-getal (mg P_2O_5 /100 g)	78	94	86
P-CaCl ₂ -getal (mg P/kg)	2.5	5.0	5.7
Fosfaattoestand (-)	Hoog	Hoog	Hoog
N-tot (mg N/kg)	1883	1265	1308
S-tot (mg S/kg)	333	213	242
Klei (<2 μ m) (%)	3.2	1.0	<0.1
Zand (>50 μ m) (%)	83	89	90
S-CaCl ₂ (mg/kg)	6.3	14.1	5.9
K-CaCl ₂ (mg/kg)	67.3	83.2	98.8
Mg-CaCl ₂ (mg/kg)	78.0	113.2	120.7
Na-CaCl ₂ (mg/kg)	6.0	14.8	8.0

2.2.2 Proefopzet en bemesting

De proef bestaat uit twee behandelingen (GEB en Controle), uitgevoerd in drievoud en op drie locaties.

De behandelingen kennen de volgende bemestingen:

- Controle: Reguliere bemesting met drijfmest en kunstmest conform landbouwpraktijk en gelijktijdig uitgevoerd met het omliggende perceel.
- GEB: Bemesting met 10, 20 of 40 ton GEB/ha boven op de reguliere bemesting.

Aanvankelijk was het doel om de bemesting van stikstof en fosfaat gelijk te stellen in de controle- en de GEB-behandelingen. In de praktijk bleek dit echter niet haalbaar, omdat de proefvelden toch bemest werden met drijfmest en kunstmest. Dit betekent dat de GEB-behandelingen een hogere fosfaat- en stikstofbemesting kennen t.o.v. de controles.

De behandelingen zijn drie seizoenen gecontinueerd: 2020, 2021 en 2022. De laatste bemonstering was in voorjaar 2023. Op bouwland werd een gewasrotatie van aardappel en mais uitgevoerd. Na afloop van de oogst werd er een vanggewas gezaaid.

Tabel 3.4 toont de jaarlijkse dosering aan GEB en de bijbehorende dosering aan macronutriënten en organische stof. De samenstelling van de GEB kende een grote fluctuatie met uitschieters naar boven. Hierdoor varieerde de fosfaataanvoer met GEB per jaar en was hoger dan vooraf voorzien.

De dosering van 10 tot 40 ton GEB per hectare per jaar zijn gekozen vanuit het doel om binnen enkele jaren een effect te zien op het bodemorganische stofgehalte en/of een verhoogde denitrificatie. De doseringen zijn – in combinatie met de basisbemesting van drijfmest – fors hoger dan wat in de praktijk mogelijk is onder de gebruiksnormen voor stikstof en fosfaat. Indien de gebruiksnorm dierlijke mest (170 kg N/ha) en de fosfaatgebruiksnorm voor deze gronden (40 kg P₂O₅ voor bouwland en 75 kg P₂O₅ voor grasland) gerespecteerd worden, dan is een dosering van 20 ton GEB alleen inpasbaar zónder basisgift aan drijfmest. In de praktijk zal een agrariër niet de volledige gift aan drijfmest verruilen voor GEB, omdat met drijfmest meer mineraal stikstof wordt aangevoerd dan met GEB.

2.2.3 Uitvoering

De proefvelden zijn uitgezet door Hayo Canter Cremer (Stichting Biomassa). Het contact met de grondeigenaren inzake bemesting en dergelijke verliep ook via Stichting Biomassa. Het uitrijden van de GEB is uitgevoerd door GZV onder aansturing van Arjan Prinsen.

De GEB is breedwerpig uitgestrooid met een meststrooier. Op bouwland werd de aanwending van GEB gevolgd door een oppervlakkige grondbewerking om de GEB in te werken. De ruimte tussen de stroken was voldoende breed om verspreiding van GEB naar de controlebehandelingen te voorkomen.

Op grasland is GEB uitgestrooid kort na het maaien en is de dosering van 20 ton/ha verdeeld over twee porties om te voorkomen dat de GEB op het gras blijft liggen. Bij een dosering van 10 ton/ha ligt de GEB tussen de grasstengels op de bodem.

Het uitrijden van drijfmest en kunstmest werd gedaan door de grondeigenaar. Giften aan drijfmest en kunstmest waren gelijk aan de rest van het reguliere perceel en conform gebruiksnormen. De verdere verzorging van het gewas en oogst werd eveneens gedaan door de grondeigenaar. Er zijn geen opbrengstbepalingen gedaan.

Tabel 2.3 Totale GEB-toepassing per gewas per jaar en bijhorende extra aanvoer van organische stof en macro-elementen. De GEB-dosering is toegepast boven op de reguliere bemesting met drijfmest en stikstofkunstmest. De aanvoer van stikstof en fosfaat vanuit de drijfmest en kunstmest is deels onbekend en daarom niet opgenomen in de tabel.

Gewas	Jaar	Gewas	Datum aanwending	GEB (ton/ha)	DS (ton/ha)	OS (ton/ha)	N (kg/ha)	NH ₄ (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	S (kg/ha)	K (kg/ha)
Molenweg	2020	Aardappel	Sept	20	5.7	5.1	150	38	47	132	38
	2021	Aardappel	April	10	3.3	2.9	76	14	91	56	29
	2022	Mais	April	20	6.6	6.1	82	17	74	76	22
	Totaal 3 jaren			50	15	14	308	69	213	260	88
Lindveldseweg	2020	Mais	April, sept	40	11.3	10.2	300	76	94	262	76
	2021	Mais	April	10	3.4	19.3	74	14	90	56	28
	2022	Aardappel	April	20	6.6	6.1	82	17	74	76	22
	Totaal 3 jaren			50	21.3	16.2	456	108	258	388	126
Veldweg	2020	Gras	April, nov	20	5.6	5.1	150	38	47	128	38
	2021	Gras	April, juni	20	5.3	5.1	118	14	105	(112)	55
	2022	Gras	April, juni	20	6.6	6.1	82	17	74	76	22
	Totaal 3 jaren			60	17.6	15.9	349	69	228	316	115

a Indien er twee data staan, is de totale gift evenredig verdeeld over twee doseringen.

b De dosering aan nutriënten is berekend op basis van de samenstelling zoals gemeten in de batch van toediening (Tabel 3.1). Er is een grote variatie in samenstelling waardoor de stikstof- en fosfaataanvoer per jaar varieert.

2.2.4 Bemonstering en analyses

2.2.4.1 Bemonstering bodem t.b.v. grondonderzoek

Grondmonsters zijn gestoken conform de richtlijnen voor bemonstering van landbouwgronden. Op bouwland is de 0-30cm-bodemlaag bemonsterd en op grasland de 0-10cm-bodemlaag. Er zijn 40 steken per proefvak genomen. Monsters zijn dezelfde dag afgeleverd bij Eurofins Agro in Wageningen voor grondonderzoek.

Tijdstip van bemonstering voor grondonderzoek:

- 2020-09 (nulmeting vóór aanbrengen GEB)
- 2021-02-23 (alle locaties)
- 2021-11-21 (alle locaties)
- 2022-02-22 (alle locaties) *
- 2022-11-09 (alle locaties)
- 2023-03-02 (alle locaties)

Het grondonderzoek bestond uit de volgende parameters:

- Organische stof (gloeiverlies)
- Organisch koolstof (eigen methode Eurofins, C-totaal CNE3)
- pH-CaCl₂
- P-AL-getal
- P-CaCl₂-getal
- Beschikbaarheid macronutriënten (K, Mg, S) bepaald na extractie in 0.01 M CaCl₂

Ter karakterisering van de gronden zijn tevens de bodemtextuur (klei/silt/zand) en het kalkgehalte bepaald. Kalk was in alle gevallen afwezig. De bodems bevatten <5% klei en >85% zand.

Bij de laatste bemonstering in 2023 is tevens het pakket microbiologische parameters van Eurofins aangevraagd met metingen van microbiële biomassa, schimmel biomassa e.d. Dit betreft een analyse op basis van Near-Infrared-Spectroscopy (NIRS), een in-huis-methode van Eurofins Agro, Wageningen.

2.2.4.2 Bemonstering bodem t.b.v. nitraatmetingen

De bemonstering van de proefvelden is uitgevoerd door Unifarm, onderdeel van Wageningen UR.

De monsters voor het nitraatonderzoek zijn gestoken met een mechanische boor. Hierbij zijn grondmonsters gestoken van de 0-30, 30-60 en 60-90cm-bodemlaag. Ieder proefvak is apart bemonsterd met 12 steken per vak. Alleen bij de voorjaarsbemonstering in 2022 is afgeweken van deze werkwijze en zijn de monsters omwille van kostenbesparing handmatig gestoken uit de 0-30- en 30-60-laag. De 60-90-laag ontbreekt dus voor voorjaar 2022.

De najaarsmonsters (nitraatresidu) zijn jaarlijks gestoken tussen 1 november en 22 november. Hierbij is aangenomen dat het gewas na 1 november geen nitraat meer opneemt en de hoeveelheid nitraat aanwezig in de bodem gezien kan worden als het nitraatresidu. Een onbekend deel van het nitraat kan nog wel door het vanggewas benut worden. De voorjaarsmonsters zijn jaarlijks in februari gestoken en dienen om te bepalen hoeveel minerale stikstof beschikbaar is voor het nieuwe groeiseizoen.

De bemonstering is uitgevoerd in 2020, 2021 en 2022 op de volgende data:

- 2020-09 (nulmeting vóór aanbrengen GEB)
- 2020-11-20 (alle locaties) *
- 2021-02-23 (alle locaties)
- 2021-11-21 (alle locaties)
- 2022-02-22 (alle locaties) *
- 2022-11-09 (alle locaties)
- 2023-03-02 (alle locaties)

De bemonstering van de diepe grondmonsters voor nitraatbepalingen zijn altijd gelijktijdig uitgevoerd met de bemonstering van de grondmonsters t.b.v. het reguliere grondonderzoek, met uitzondering van de

nulmetingen in 2020. Op de tijdstippen met een * zijn alleen monsters voor nitraatmeting genomen en is geen regulier grondonderzoek uitgevoerd.



Figuur 2.1 Bemonstering van de proefvelden met de mechanische boor waarbij grondmonsters van de lagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm gestoken worden. Per proefvak worden 12 steken genomen. De ondergrond is verhard door een hoog ijzergehalte en zodoende is handmatige bemonstering tot 90 cm niet mogelijk.

De verse grondmonsters zijn op de dag van steken afgeleverd bij Eurofins Agro (Wageningen) en binnen één of enkele dagen geanalyseerd volgens het analysepakket CHECK. De CHECK-methode is een 1:2 v/v extractiemethode op veldvochtige grond. Er wordt gewerkt met vochtige grond, omdat het drogen van grond het gehalte aan mineraal N sterk verhoogt.

Aan 100 mL 10 mM CaCl_2 -oplossing wordt veldvochtige grond toegevoegd tot een totaalvolume van 150 mL. De monsters worden 1 uur geschud (165-195 slagen/min) en gefiltreerd (papierfilter MN680, geparafineerd). In het extract wordt totaal N, NO_3 en NH_4 colorimetrisch bepaald. Daarnaast zijn de extracten ook geanalyseerd op EC, pH, P- PO_4 (colorimetrisch), K, S, P, Mg, Fe, Zn, Mn, B, Mo (ICP). Voor de ICP-analyses is een extra centrifugestap uitgevoerd. Molybdeen (Mo) was in alle monsters onder de aantoonbaarheidsgrens van 0.5 $\mu\text{g/l}$. Resultaten voor mangaan, kalium en magnesium zijn niet besproken, maar wel opgenomen in Bijlage 1.

De resultaten worden uitgedrukt in mg per liter extractievloeistof. Dit wordt omgerekend naar kg/ha.

2.2.5 Bijzonderheden/logboek

2.2.5.1 Lintveldseweg:

- In 2019, het jaar voor het begin van deze proef, was de mais niet geschikt voor oogst vanwege extreem droogte. De mais van 2019 is gehakseld en ondergewerkt.
- 09.04.2020: grondbemonstering nulmeting (mengmonster).
- April 2020: er is 40 m³ drijfmest uitgereden. En nadien ook 20 ton GEB.
- In 2020 werd mais geteeld. NP kunstmest (Physiostart) in de rij bij het zaaien van de mais (5.6 kg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ha}$). Opvallend is dat ondanks de zeer hoge fosfaattoestand van de bodem de eigenaar toch kiest voor een extra startgift bij de mais.
- 24.09.2020: na de oogst werd nogmaals 20 ton GEB/ha opgebracht om effect van N-immobilisatie op NO_3 waar te kunnen nemen.

- 17.09.2020 en 23.02.2021: bemonstering grond.
- April 2021: drijfmest uitgereden op hele perceel en nadien 10 ton GEB/ha op de GEB-veldjes.
- In 2021 werd mais geteeld.
- Vanggewas.
- 22.11.2021: bemonstering grond.
- 22.02.2022: bemonstering grond.
- April 2022: 20 ton GEB/ha uitgereden.
- 2022: gewas mais.
- 19-11.2022: bodembemonstering.
- Mei 2023: uitrijden GEB en inzaai gras.

2.2.5.2 Veldweg (grasland)

2020

- 24 mrt 2020: bemesting met 25 kuub runderdrijfmest.
- 30 mrt 2020: oppervlakkige grondbewerking en her-inzaai van het gras i.v.m. slechte graszode.
- 1^{ste} dosering GEB op 3 april 2020, 10 ton/ha.
- Door droogte was de her-inzaai niet succesvol en is het perceel in mei 2020 opnieuw ingezaaid.
- De verdere bemesting bestond in 2020 uit kunstmest (40 kg N en 30 kg N) en 20 ton drijfmest.
- Door droogte bleef de grasopbrengst achter. Er zijn drie sneden gemaaid. De geschatte opbrengst.
- bedroeg 5000 ton droge stof/ha.
- 2^{de} dosering GEB op 23 november 2020, 10 ton/ha.
- Bemonstering van grond t.b.v. bodemonderzoek en nitraatonderzoek op 17 september 2020. Voor grondonderzoek zijn monsters van de 0-10cm-laag gestoken. Voor nitraatonderzoek zijn mechanisch monsters gestoken van de 0-30, 30-60 en 60-90cm-laag.

2021

- Voorjaarsbemonstering grondonderzoek en nitraatonderzoek.
- Voor de eerste snede is 23 ton drijfmest uitgereden met daarin 70 kg N en 28 kg P₂O₅ per ha.
- Er is het hele groeiseizoen géén stikstofkunstmest uitgereden! Hier was namelijk verwarring over bij de eigenaar omdat binnen hetzelfde perceel een proefvak ligt voor testen van mineralenconcentraat als kunstmestvervanger waar dus geen kunstmest gebruikt mocht worden. Dit heeft tot gevolg dat stikstof beperkend was voor de gewasgroei. Omdat met de GEB extra stikstof wordt opgebracht, hadden deze veldjes een hogere grasopbrengst t.o.v. de controle.
- 1^{ste} dosering GEB op 5 april 2021, 10 ton/ha, voor de eerste snede.
- 2^{de} dosering GEB op 2 juni 2021, 10 ton/ha, na de eerste snede.
- Bemonstering grond op 17 sept 2021 (grondanalyses) en 10 nov 2021 (nitraatanalyses, CHECK-methode).

2022

- Bemonstering grond voor nitraatanalyse op 22 februari 2022 (0-30 en 30-60, handmatig gestoken).
- 1^{ste} dosering GEB, 10 ton/ha, voor de eerste snede.
- 2^{de} dosering GEB, 10 ton/ha, na de eerste snede.
- 19.11.2022: bodembemonstering.

2.2.5.3 Molenweg

- Gewas voorafgaand aan start proef onbekend.
- In 2020 werden aardappelen geteeld.
- 10.09.2020: na afloop van de oogst werden monsters genomen voor de nulmeting.
- 20.09.2020: eerste keer dosering GEB, 20 ton/ha. Dag erna is de grondbewerking uitgevoerd om de GEB onder te werken en is het vanggewas gezaaid.
- 10.11.2020 en 23.02.2021: bemonstering grond voor nitraatbepaling en grondanalyse.
- April 2021: aanwending 10 ton GEB/ha. Verdere bemesting drijfmest en kunstmest (doseringen niet bekend).
- 2021: gewas aardappel.
- 22.11.2021: bemonstering grond.
- 22.02.2022: bemonstering grond.

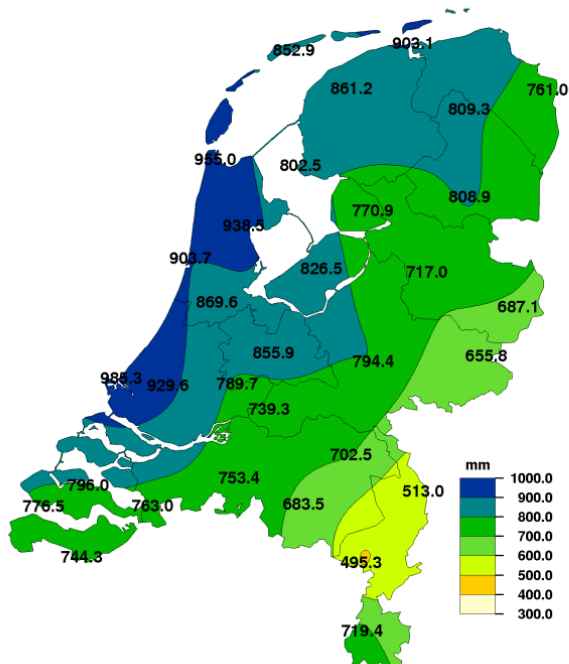
- April 2022: 20 ton GEB/ha uitgereden.
- 2022: gewas mais.
- 19.11.2022: bodembemonstering.
- 2023: vroeg ras zomergerst gezaaid. Oogst verwacht in juli.

2.3 Weersomstandigheden

2.3.1 2020

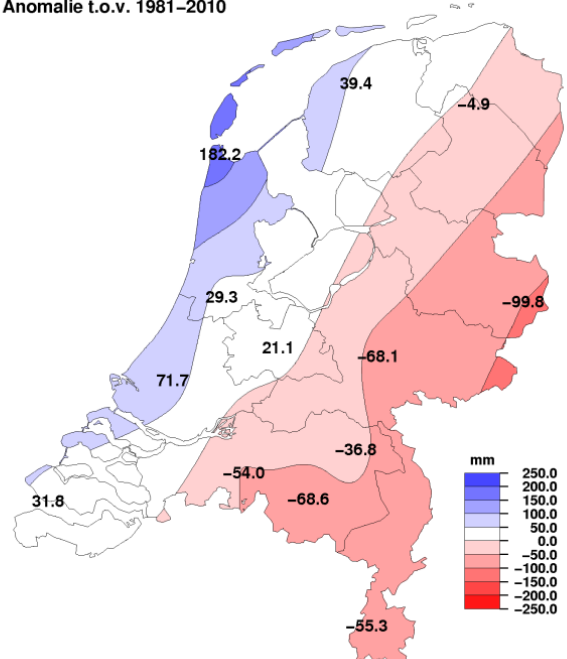
Het jaar 2020 was voor het oostelijke deel droger dan gemiddeld. De droogte had een groot effect op de landbouw, omdat deze al vroeg in het voorjaar begon. In de maand april en mei viel praktisch geen neerslag en dat leverde een zeer slechte start van het groeiseizoen. (Data: KNMI-jaarverslagen.)

Jaarsom neerslag 2020



Jaarsom neerslag 2020

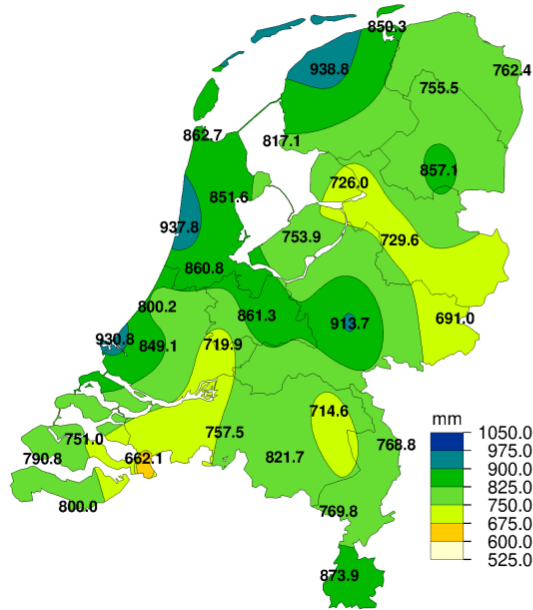
Anomalie t.o.v. 1981-2010



2.3.2 2021

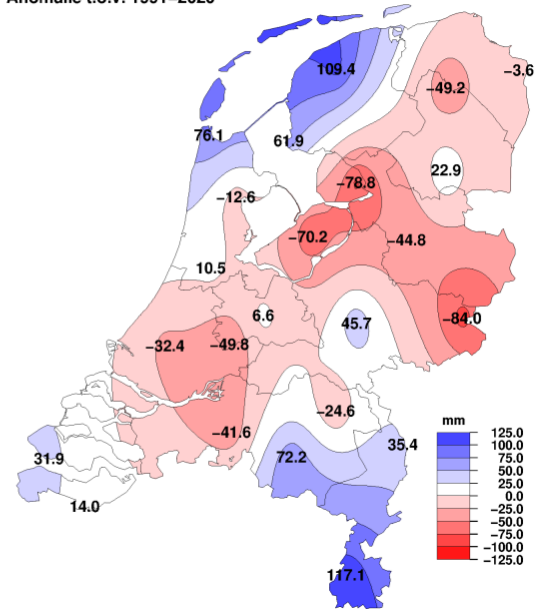
Het jaar 2021 was eveneens droger dan gemiddeld. De zomer kenmerkte zich door een langdurige periode zonder neerslag. Het voorjaar (mei/juni) was daarentegen juist natter dan normaal.

Jaarsom neerslag 2021



Jaarsom neerslag 2021

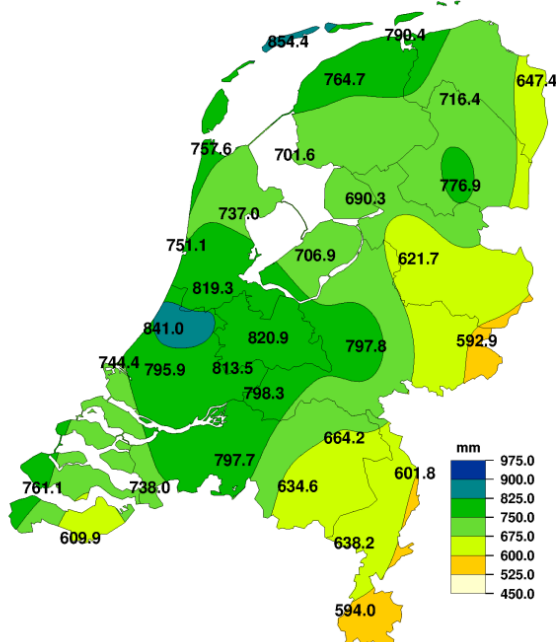
Anomalie t.o.v. 1991-2020



2.3.3 2022

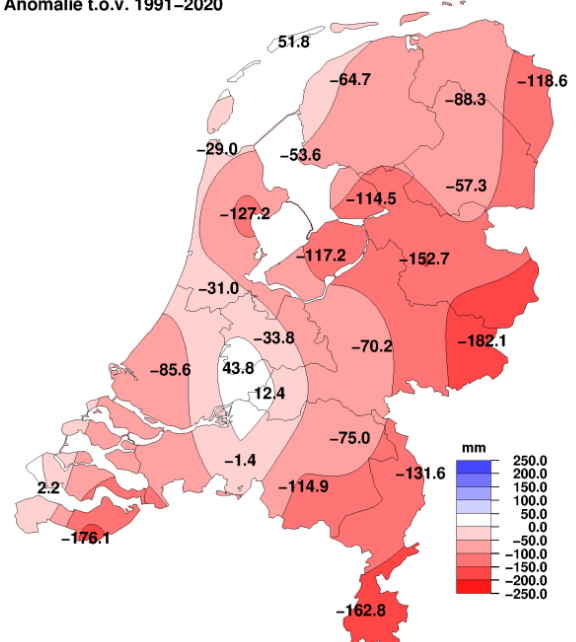
Het jaar 2022 was wederom een zeer droog jaar voor het oostelijke zandgrondgebied, met 180 mm minder neerslag dan gemiddeld. De neerslag in het voorjaar was normaal, maar in juli en augustus bleef het langdurig droog. September was vervolgens een natte maand.

Jaarsom neerslag 2022



Jaarsom neerslag 2022

Anomalie t.o.v. 1991-2020



3 Resultaten

3.1 Profielmetingen (0-90 cm)

3.1.1 Nitraat

Ieder najaar en voorjaar is de voorraad aan mineraal stikstof (NO_3 en NH_4) in het bodemprofiel bepaald. De najaarsmeting werd uitgevoerd na afloop van het groeiseizoen en geeft het nitraatresidu. De voorjaarsmeting geeft aan hoeveel stikstof beschikbaar is voor het nieuwe groeiseizoen, waarbij algemeen wordt aangenomen dat alleen de stikstof in de 0-60cm-bodemlaag nog bereikbaar is voor gewassen.

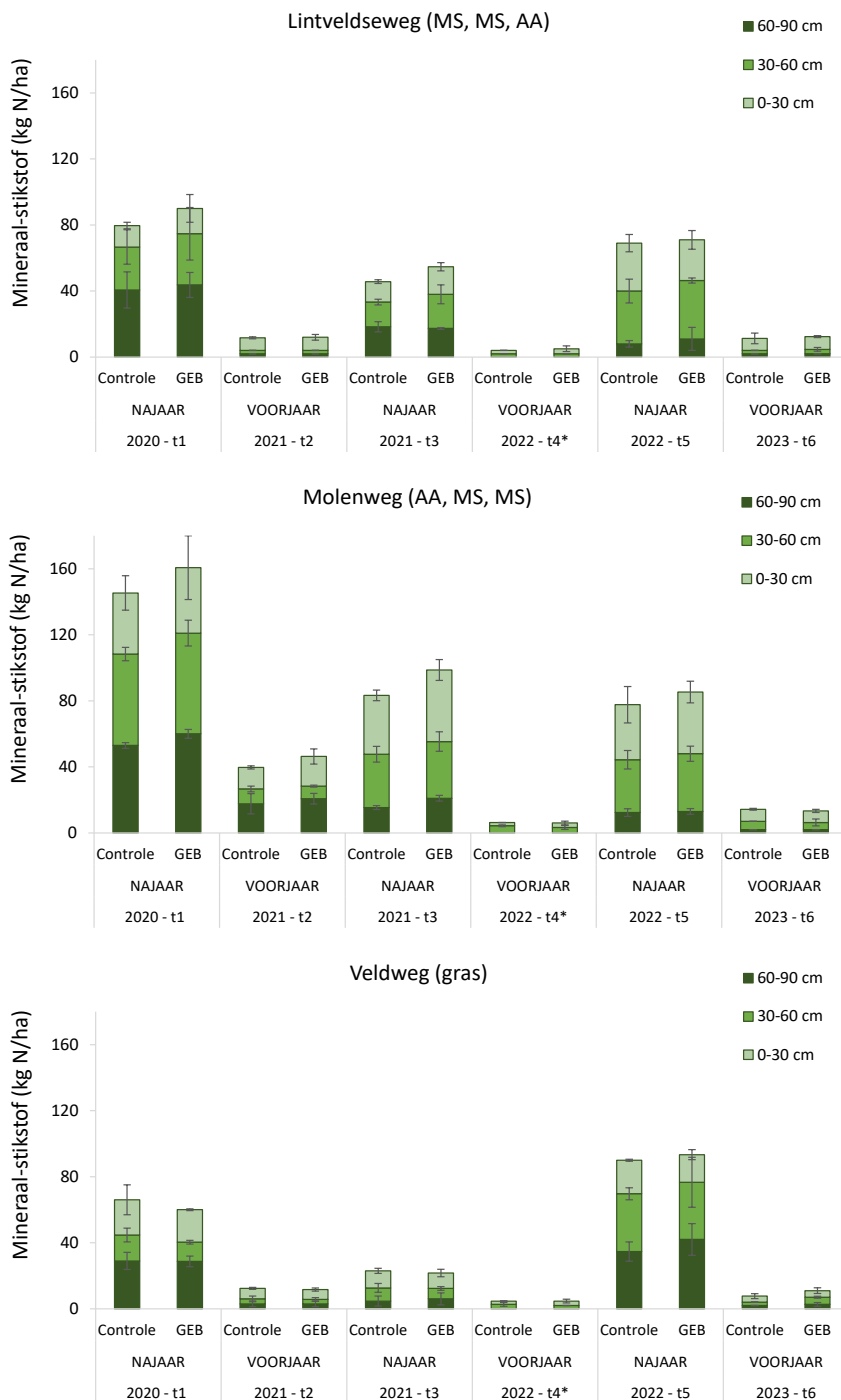
Mineraal stikstof was hoofdzakelijk aanwezig in de vorm van nitraat. De ammoniumconcentratie was in bijna alle monsters onder de aantoonbaarheidsgrens van 0,5 mg/L.

Er zijn grote verschillen in de hoogte van het nitraatresidu tussen de jaren en tussen de verschillende gewassen. Het nitraatresidu varieerde van 28 tot 160 kg N/ha, waarbij de hoogste waarde werd gemeten na de teelt van aardappel en de laagste waarde op grasland na een seizoen waarin geen kunstmest werd bemest. De hoogte van het nitraatresidu wordt in de discussie vergeleken met gemiddelde data vanuit monitoringcampagnes in Vlaanderen, waar de bepaling van het nitraatresidu wettelijk verplicht is.

Het nitraatresidu op grasland was hoog in 2020 en 2022, waarbij droogte en daardoor lagere grasopbrengsten een rol spelen. Het zeer lage nitraatresidu in 2021 is te verklaren door het feit dat in dat jaar geen stikstofkunstmest is uitgereden op het gras i.v.m. een naastgelegen stikstofproef. Dit leidde tot zichtbaar hogere grasopbrengsten in de GEB-veldjes ten opzichte van de referentieveldjes, omdat GEB ook stikstof levert. In de nitraatmetingen komen deze verschillen niet meer tot uiting. In 2020 en 2022 werd stikstofkunstmest gebruikt conform de reguliere bemestingsadviezen.

In het najaar bevond 22 tot 50% van het nitraatresidu zich reeds in de 60-90cm-bodemlaag en is daarmee niet meer beschikbaar voor opname door een groenbemester. In deze monitoring is niet bepaald hoeveel stikstof door het vanggewas is opgenomen. Als vuistregel wordt aangenomen dat een vanggewas ongeveer 40 kg N/ha opneemt, maar de werkelijke opname hangt sterk af van het type vanggewas en de zaaidatum. In het voorjaar is nog ten hoogste 10 kg N/ha beschikbaar in de 0-60cm-laag. Er zijn geen metingen gedaan aan het vanggewas, waardoor onbekend is hoeveel stikstof is vastgelegd in het vanggewas en daarmee op een later moment, na mineralisatie van het vanggewas, weer vrijkomt.

Er zijn geen eenduidige effecten in de hoogte van het nitraatresidu tussen de behandelingen met en zonder GEB. Op het perceel aan de Molenweg gaf het gebruik van GEB een iets hoger nitraatresidu, op de andere locaties is er geen effect van GEB op de hoogte van het nitraatresidu. De behandelingen met GEB ontvingen 10 tot 20 ton GEB/ha/jaar boven op de reguliere bemesting met drijfmest en stikstofkunstmest. De totale stikstofaanvoer op de GEB-veldjes is daardoor 75 tot 150 kg N per jaar hoger ten opzichte van de referentiebehandeling; dit vertaalde zich alleen op de Molenweg in een iets hogere N-uitspoeling.



Figuur 3.1 Voorraad mineraal stikstof ($N\text{-NO}_3$, kg N/ha) in de bodem op 0-30, 30-60 en 60-90 cm diepte en op veldjes met en zonder GEB-bemesting. Gemiddelde en standaarddeviatie van drie herhalingen. $N\text{-NH}_4$ is tevens bepaald, maar was in alle monsters onder de aantoonbaarheidsgrens. De GEB-veldjes zijn bemest met GEB boven op de standaardbemesting met drijfmest en kunstmest, waardoor de totale stikstofaanvoer bij GEB hoger is dan bij de controleveldjes.

*Op t4 is de 60-90cm-bodemlaag niet bemonsterd. ** Najaar 2021 op grasland: dit jaar géén N-kunstmest op grasland en daardoor laag nitraatresidu.

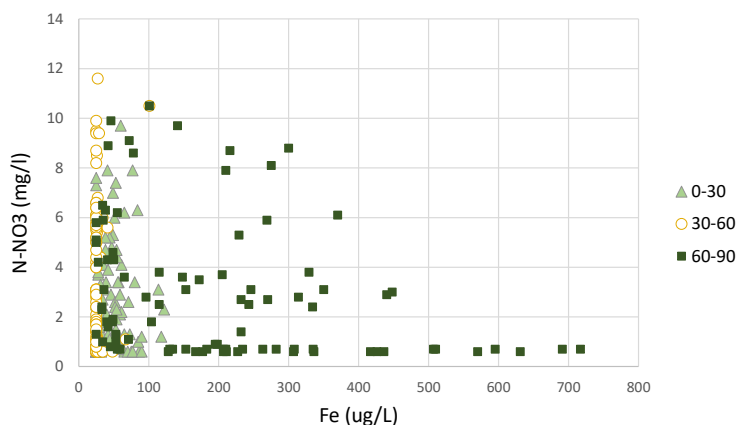
De ijzerconcentraties, gemeten in de 0.01 M CaCl_2 -extracten op verse grond, zijn onder 100 $\mu\text{g/L}$ in de bovenste bodemlagen van 0-30 en 30-60 cm. In de diepere bodemlaag van 60-90 cm worden daarentegen hogere ijzerconcentraties van 50 tot 500 $\mu\text{g/L}$ aangetroffen. De hoogte van de ijzerconcentratie varieert in de tijd en is gemiddeld genomen hoger in het voorjaar dan in het najaar.

De zandgronden op de proefvelden bevatten ijzer in de vorm van ijzeroxiden. Dit is onder de bouwvoor duidelijk zichtbaar door de oranje kleur van de bodem. Wanneer er zuurstof aanwezig is, zoals in de bovengrond, dan is ijzer aanwezig in de geoxideerde vorm, oftewel driewaardig ijzer (Fe^{3+}). Geoxideerd ijzer heeft een zeer lage oplosbaarheid in water en zodoende zijn de ijzerconcentraties in het bodemvocht laag. In de ondergrond (60-90 cm) kan de bodem anaeroob (zuurstofloos) worden, waarbij ijzer reduceert naar tweewaardig Fe, te herkennen aan een grijze kleur. Tweewaardig ijzer heeft een hogere oplosbaarheid en dit verklaart de hogere ijzerconcentratie bij toenemende diepte in het bodemprofiel en onder natte condities (voorjaar).

De absolute concentratie aan Fe en Mn laat zich lastig interpreteren, omdat deze zijn gemeten in een CaCl_2 -extract en daarmee zijn verdund t.o.v. de concentratie in het bodemvocht. Daarnaast speelt mee dat tijdens de extractie colloïden (bodemdeeltjes kleiner dan $0.45 \mu\text{m}$) vrijkomen uit de bodem, waardoor de ijzerconcentratie toeneemt maar geen indicatie geeft van anaerobe condities. Dit is een bekend verschijnsel bij meting van ijzer in bodemvocht verkregen door het centrifugeren van verse grond (Rietra et al., 2022). Rietra et al. (2022) vond bijvoorbeeld ijzerconcentraties van 0 tot 20 mg/L in bodemvochtmonsters op zandgrond in de Achterhoek, maar weet de hoge concentraties aan het vrijkomen van bodemdeeltjes. In dit onderzoek is ijzer gemeten in 0.01 M CaCl_2 als extractiemedium waardoor colloïden weer uitvlokken en naar verwachting maar een beperkte invloed hebben op de meting.

Figuur 3.2 geeft de relatie tussen nitraat en ijzer in de bodemextracten. De hoogste ijzerconcentraties komen voor in de 60-90cm-bodemlaag. Bij een ijzerconcentratie van 500 $\mu\text{g/l}$ of hoger is nitraat in het bodemvocht afwezig, wat wijst op denitrificatie van nitraat. In het overgrote deel van de monsters uit de 60-90cm-bodemlaag is de ijzerconcentratie lager dan 500 $\mu\text{g/L}$ en is gelijktijdig nitraat aanwezig in het bodemextract. De redoxpotentiaal is dan niet laag genoeg en er treedt geen denitrificatie op.

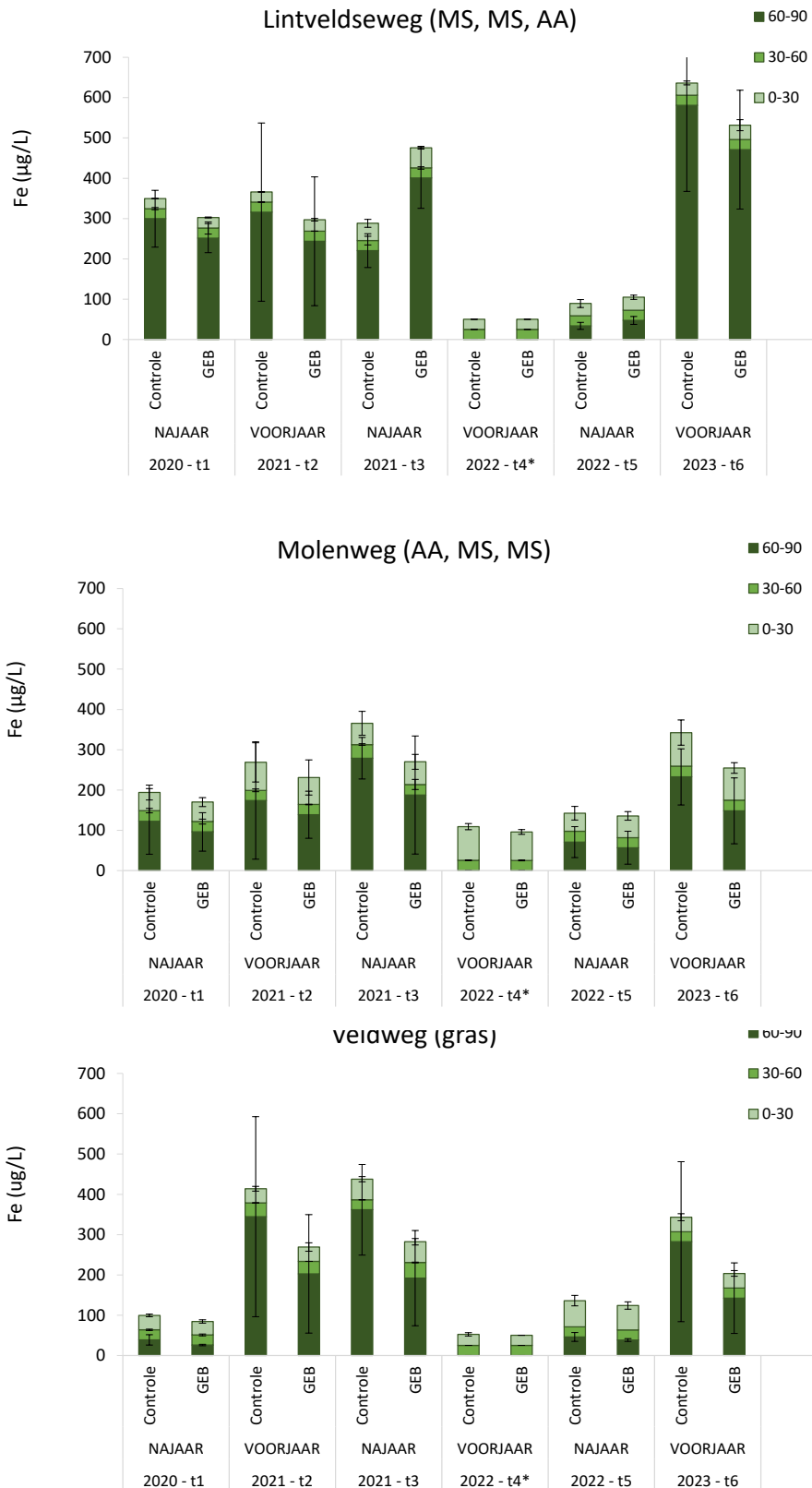
Dat ijzer-reducerende condities gepaard gaan met denitrificatie van nitraat is goed bekend en ook in eerdere veldonderzoeken in de achterhoek onderzocht. Rietra et al. (2022) deden veldonderzoek in het drinkwatergebied van Eibergen/Haarlo en constateerden dat nitraat in grondwater afwezig is zodra de ijzerconcentratie in het grondmonster hoger is dan 1000 $\mu\text{g/L}$. Zij hebben de ijzerconcentraties direct in het grondwater gemeten, waardoor de hoogte van de concentraties niet een-op-een vergelijkbaar is met de concentratie gemeten in de bodemextracten in deze studie. Toch wijzen beide studies erop dat ijzer-reducerende condities en denitrificatie in deze gronden voorkomen.



Figuur 3.2 Nitraat (N-NO_3 , mg/l) versus Fe ($\mu\text{g/l}$) in 10 mM CaCl_2 -extracten van verse grondmonsters, gestoken op 0-30, 30-60 en 60-90 cm diepte (Eurofins CHECK methode). Aantoonbaarheidsgrens: 0,6 mg $\text{N-NO}_3/\text{L}$.

Figuur 3.3 geeft de Fe-concentraties gemeten in de 0-30, 30-60 en 60-90cm-bodemlaag per proefveldlocatie. Op de percelen aan de Veldweg en de Lintveldseweg komen ijzer-reducerende condities ($\text{Fe} > 400$ en $\text{N-NO}_3 < \text{d.l.}$) op enkele momenten gedurende de monitoring voor. Op de Molenweg wordt de Fe-concentratie niet voldoende hoog om te spreken van nitraat-reducerende condities in de 0-90cm-laag.

Er zijn verschillen in de tijd. Met name in najaar 2022 zijn de ijzerconcentraties lager t.o.v. de andere jaren, wat wijst op een invloed van de droogte in dat jaar. Gemiddeld genomen zijn de ijzerconcentraties, en daarmee de denitrificatiepotentiala, hoger in het voorjaar dan in het najaar.



Figuur 3.3 IJzerconcentratie ($\mu\text{g Fe/L}$ extractievloeistof) in de bodem op 0-30, 30-60 en 60-90 cm diepte en op veldjes met en zonder GEB-bemesting. Gemiddelde en standaarddeviatie van drie herhalingen. **Op t4 is de 60-90cm-laag niet bemonsterd.**

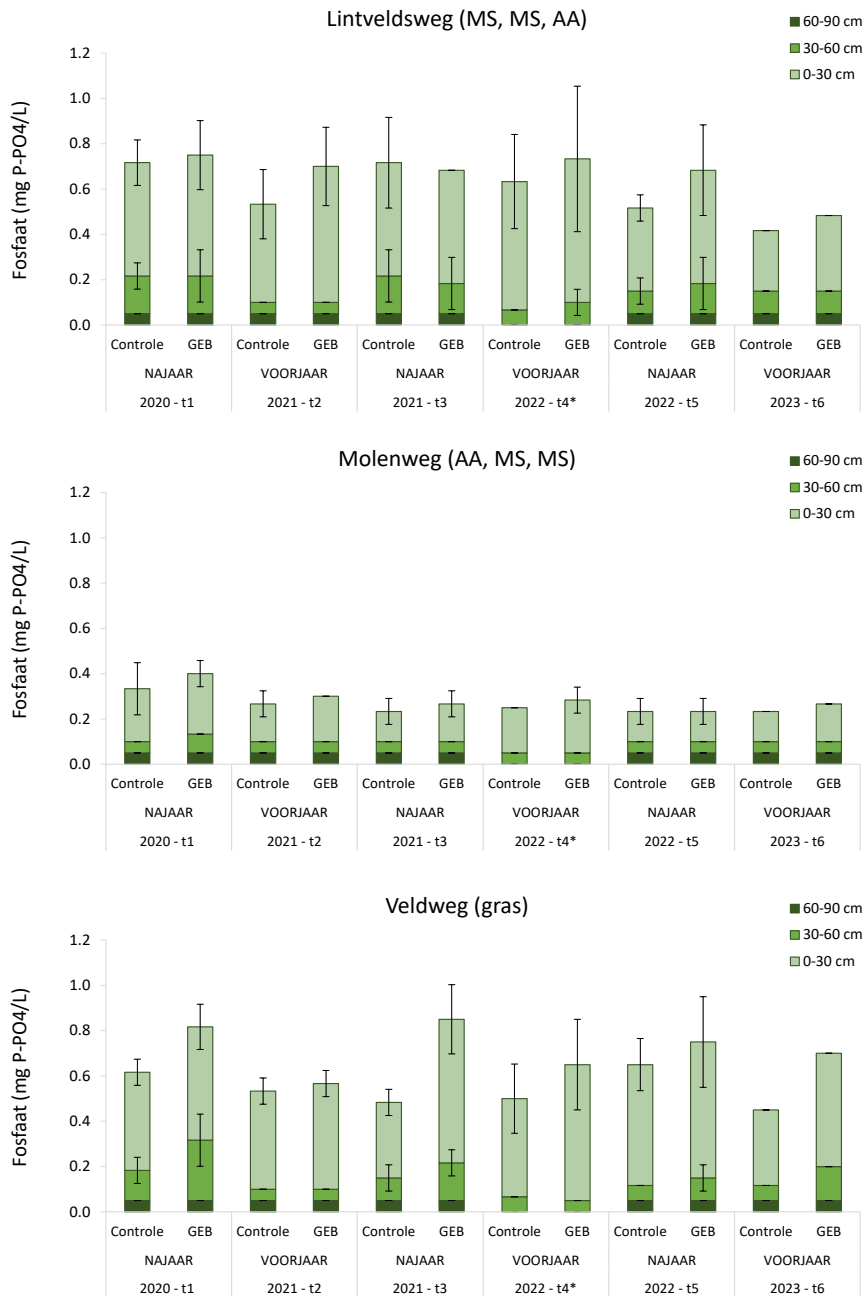
3.1.2 Fosfaat

De proefveldlocaties kenmerken zich door zeer hoge fosfaatconcentraties en een hoge fosfaattoestand.

Fosfaatconcentraties in het CaCl_2 -extract zijn het hoogst in de bouwvoor (Figuur 3.4). Op het grasperceel lijkt de GEB-behandeling een hogere fosfaatconcentratie te geven, maar voor de andere locaties zijn er geen verschillen tussen de behandelingen ondanks de hogere fosfaataanvoer op de GEB-veldjes. In de 60-90cm-laag is de fosfaatconcentratie nagenoeg altijd onder de aantoonbaarheidsgrens van 0,1 mg P/L. Ondanks de zeer hoge fosfaattoestanden van deze percelen is er geen sprake van verhoogde fosfaatconcentraties in de ondergrond, mogelijk vanwege de (zichtbare) aanwezigheid van ijzeroer in de ondergrond, waardoor fosfaat dat uitspoelt uit de bouwvoor effectief wordt gebonden in de ondergrond.

De fosfaatconcentratie is in de tijd meer stabiel dan het nitraatgehalte. De fosfaatconcentratie is door adsorptie/desorptie in evenwicht met de fosfaattoestand van de vaste grondfractie en kent zodoende geen typische cyclus zoals bij mineraal stikstof.

Bij de CHECK-methode wordt fosfaat gemeten in een CaCl_2 -extract op veldvochtige grond, bij een 2:1 v/v grond/vloeistof verhouding en uitgedrukt in mg P/L vloeistof. Zodoende kan de getalswaarde niet direct vergeleken worden met het P- CaCl_2 -getal (paragraaf 3.2.1), dat wordt gemeten bij een 1:10 grond/vloeistof-verhouding en is uitgedrukt in mg P/kg grond. Omgerekend naar mg/L vloeistof leveren beide extractiemethoden een vergelijkbaar resultaat op (P- CaCl_2 -getal delen door factor 10). Dat is te verklaren, omdat de P- PO_4 -concentratie in de vloeistof bepaald wordt door het adsorptie-evenwicht. Een andere grond-vloeistofverhouding leidt dan tot een gelijke waarde voor P- PO_4 in de vloeistof.



Figuur 3.4 Fosfaatconcentratie (mg P-PO₄/L extractievloeistof) in de bodem op 0-30, 30-60 en 60-90 cm diepte en op veldjes met en zonder GEB-bemesting. Gemiddelde en standaarddeviatie van drie herhalingen. Op t4 is de 60-90 cm niet bemonsterd. Metingen onder de aantoonbaarheidsgrens van 0,1 mg/L zijn bij berekening van het gemiddelde meegenomen met een waarde van 0,05 mg P/L.

3.1.3 Zwavel (sulfaat)

In de CHECK-methode wordt sulfaat ($S-SO_4$) gemeten in het bodemextract (Figuur 3.5). Sulfaat is een goed oplosbaar element en in de bodem zeer mobiel, waardoor het risico bestaat op uitspoeling van sulfaat. GEB bevat verhoogde gehalten aan sulfaat door het gebruik van zwavelzuur in het spoelproces. Dit leidde in enkele jaren tot sterk verhoogde sulfaatconcentraties in de bodem in het najaar. Door de hoge mobiliteit van sulfaat in de bodem is dit overschot in het voorjaar uit het profiel verdwenen door uitspoeling. In tegenstelling tot nitraat kan sulfaat onder deze condities niet via gasvormige emissies uit de bodem verdwijnen. Een voorbeeld hiervan is najaar 2020 op de Lintveldseweg waar nog 200 kg $S-SO_4$ /ha in het bodemprofiel aanwezig is, verdeeld over de bodemlagen tot 90 cm. In het voorjaar is de S-voorraad verlaagd tot 20 kg $S-SO_4$ /ha. Dit toont aan dat het gehele profiel in één winterseizoen wordt doorgespoeld en daarmee goed oplosbare zouten nagenoeg volledig uitspoelen.

De verhoogde zwavelconcentraties komen niet in alle jaren voor. Dit heeft te maken met de sterk wisselende S-gehalten in GEB.

In 2020 wordt op de Molenweg in de controlebehandeling ook een hoge zwavelvoorraad gemeten. Dit is te relateren aan het gebruik van de zwavelhoudende meststof ammoniumsulfaat (bijvoorbeeld spuiwater), waardoor meer zwavel wordt gegeven dan door het gewas wordt opgenomen.



Figuur 3.5 Zwavelvoorraad (kg S/ha, gemeten als S-SO₄) in de bodem op 0-30, 30-60 en 60-90 cm diepte en op veldjes met en zonder GEB-bemesting. Gemiddelde en standaarddeviatie van drie herhalingen. Op t4 is de 60-90 cm niet bemonsterd. Metingen onder de aantoonbaarheidsgrens van 0,1 mg/L zijn bij berekening van het gemiddelde meegenomen met een waarde van 0,05 mg P/L.

3.2 Standaard bodemonderzoek (bouwvoor)

3.2.1 Resultaten bodemonderzoek

Tabel 3.1 geeft de resultaten weer van het grondonderzoek aan de bodemonsters welke zijn gestoken in de bouwvoor (0-30 bouwland) of in de 0-10cm-laag op grasland. Dit betreft regulier grondonderzoek voor bemestingsadvies en bodemkarakterisering. De data zijn gemiddeld over de drie herhalingen, voor organische stof, stikstof, fosfaat en zwavel. De resultaten worden per element verder besproken.

Tabel 3.1 Resultaten van het grondonderzoek. Gemiddelden van drie herhalingen en standaarddeviatie. Voor standaard bodemanalyses is alleen de laag 0-30 cm (bouwland) of 0-10 cm (grasland) bemonsterd. N.m. staat voor geen meting (no measurement).

	Organische stof (gloeiverlies)		N-totaal (mg N/kg)		P-AL-getal (mg P ₂ O ₅ /100 g)		P-CaCl ₂ -getal (mg P/kg)	
	Controle	GEB	Controle	GEB	Controle	GEB	Controle	GEB
Lintveldseweg (MS, MS, AA)								
t0-2020	3,7 (±0,6)	3,6 (±0,4)	1,3 (±0,2)	1,3 (±0,1)	93 (±5)	95±(6,1)	4,9 ±(1,2)	5,0±(1,4)
t2-2021	4,0 (±0,4)	3,8 (±0,5)	1,3 (±0,2)	1,3 (±0,2)	101 (±17)	93±(12,5)	5,0 ±(1,7)	5,5±(1,2)
t3-2021	4,5 (±0,7)	4,2 (±0,7)	1,6 (±0,2)	1,6 (±0,2)	108 (±13)	103±(11,9)	5,1 ±(1,4)	5,9±(2,3)
t5-2022	4,1 (±1,1)	4,5 (±0,4)	n,m	n,m,	85 (±3,5)	92±(19,8)	4,5 ±(1,6)	3,2±(1,5)
t6-2023	4,4 (±0,4)	4,3 (±0,5)	1,5 (±0,1)	1,4 (±0,1)	n,m	n,m,	n,m	n,m,
Molenweg (AA, AA, MS)								
t0-2020	5,3 (±0,5)	4,8 (±0,4)	1,9 (±0,3)	1,8 (±0,1)	81 (±7)	74±(6,7)	2,5 ±(0,3)	2,6±(0,3)
t2-2021	4,8 (±0,3)	4,6 (±0,4)	1,9 (±0,1)	1,9 (±0,1)	81 (±7)	75±(6,6)	2,3 ±(0,1)	2,7±(0,5)
t3-2021	4,8 (±0,3)	4,8 (±0,4)	1,8 (±0,6)	1,7 (±0,5)	81 (±7)	87±(3,5)	2,0 ±(0,3)	2,8±(0,5)
t5-2022	4,3 (±0,3)	4,4 (±0,1)	n,m	n,m,	79 (±12)	76±(1,4)	2,0 ±(0)	2,3±(0,4)
t6-2023	4,6 (±0,1)	4,4 (±0,3)	1,8 (±0,2)	1,9 (±0)	n,m	n,m,	n,m	n,m,
Veldweg (gras)								
t0-2020	3,3 (±0,2)	3,4 (±0,4)	1,3 (±0,1)	1,3 (±0,1)	87 (±4)	84±(5,5)	5,4 ±(1,1)	5,9±(1,2)
t2-2021	3,9 (±0,7)	3,9 (±0,7)	1,6 (±0,2)	1,6 (±0,2)	86 (±65)	88±(1,7)	5,0 ±(0,9)	6,2±(0,9)
t3-2021	4,1 (±0,5)	4,3 (±0,5)	1,8 (±0,3)	1,9 (±0,2)	87 (±6)	89±(8,5)	4,7 ±(2,1)	7,1±(1,8)
t5-2022	3,7 (±0,6)	3,6 (±0,5)	n,m	n,m,	82 (±9)	84,7±(5,5)	4,8 ±(1,2)	8,0±(1,9)
t6-2023	3,9 (±0,4)	4,0 (±0,3)	1,5 (±0,2)	1,6 (±0,2)	n,m	n,m,	n,m	n,m,

	S-totaal		S-CaCl ₂	
	Controle	GEB	Controle	GEB
Lintveldseweg (MS, MS, AA)				
t0-2020	210 (±26)	216 (±20)	8.4 (±0.1)	19.7 (±3.8)
t2-2021	281 (±63)	278 (±76)	2.9 (±1.3)	3.4 (±1.2)
t3-2021	215 (±30)	255 (±41)	4.0 (±0.7)	3.5 (±1.1)
t5-2022	n.m.	n.m.	3.1 (±0.6)	4.0 (±0.1)
t6-2023	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.
Molenweg (AA, AA, MS)				
t0-2020	368 (±15)	358 (±25)	38.8 (±4)	30.4 (±2.7)
t2-2021	353 (±48)	313 (±33)	6.5 (±0.4)	6.0 (±0.3)
t3-2021	291 (±30)	321 (±21)	5.3 (±0.9)	11.7 (±7.5)
t5-2022	n.m.	n.m.	16.3 (±15)	9.0 (±1.4)
t6-2023	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.
Veldweg (gras)				
t0-2020	250 (±10)	233 (±42)	5.5 (±1.3)	6.3 (±2.6)
t2-2021	281 (±46)	315 (±44.4)	5.9 (±2.4)	5.8 (±2.6)
t3-2021	248 (±37)	265 (±26)	1.8 (±0.7)	2.6 (±0.7)
t5-2022	n.m.	n.m.	1.7 (±0.2)	2.4 (±0.8)
t6-2023	n.m.	n.m.		

3.2.2 Organische stof

Figuur 3.6 toont het verloop in het organischestofgehalte in de bodem over de monitoringsperiode en per behandeling (gemiddelde van drie herhalingen). Figuur 3.7 toont het OS-gehalte in de individuele veldjes om tevens de ruimtelijke en temporele variatie in beeld te brengen.

Over de periode van drie jaar werd 12,5 tot 17,5 ton organische stof per hectare aangevoerd op de GEB-veldjes. Hoewel dit in termen van bemesting grote hoeveelheden zijn, komen de effecten hiervan niet tot uiting in het OS-gehalte van de bodem. Er is op geen van de locaties een consistent verschil in het OS-gehalte in de GEB-veldjes versus de controleveldjes.

Redenen voor de afwezigheid van een meetbare verandering in het OS-gehalte zijn:

- Hoge bodemvoorraad aan organische stof
- Bonthed van het perceel
- Onzekerheid/variatie in de metingen

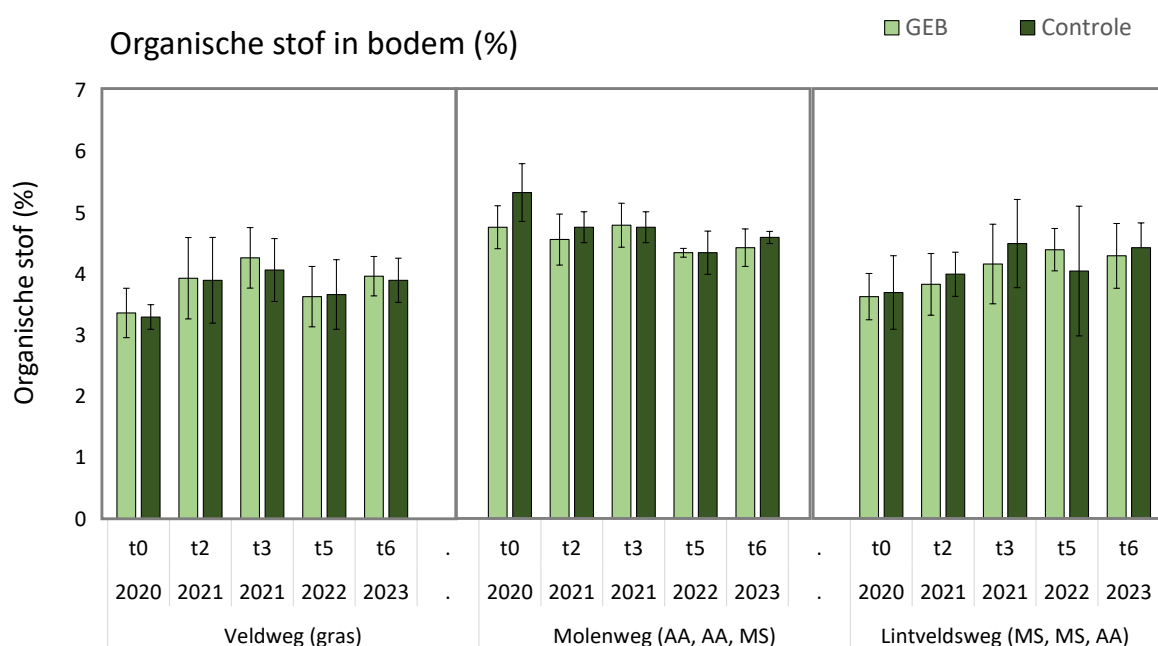
Op het graslandperceel aan de veldweg stijgt het OS-gehalte gedurende de drie meetjaren. De stijging doet zich voor bij de controle- en de GEB-velden en is waarschijnlijk gerelateerd aan een herstel van het OS-gehalte na de her-inzaai van het gras in 2020.

De hoge bodemvoorraad aan organische stof maakt dat langdurige aanwending van OS vereist is om een aantoonbare verhoging in het OS-gehalte te realiseren (Tabel 3.2). De bouwvoor op de bouwlandpercelen bevat circa 200 ton organische stof per hectare. Op grasland bevat de 0-10cm-bodemlaag circa 67 ton organische stof. Na drie jaar gebruik van GEB zou het OS-gehalte op bouwland met maximaal met 5-6% verhoogd zijn en op grasland met maximaal 16%. Bij deze berekening is aangenomen dat de GEB voor 70% bijdraagt aan de bodemorganische stof-voorraad. Een stijging van het OS-gehalte van 5% valt binnen de onzekerheidsmarge en is zodoende niet aantoonbaar. Op grasland zou een effect van extra OS-aanvoer sneller zichtbaar moeten worden, omdat de bemonsterde bodemlaag een dikte kent van 10 cm tegenover een bodemlaag van 30 cm op bouwland. Toch is ook hier geen aantoonbaar verschil in OS-gehalte ontstaan.

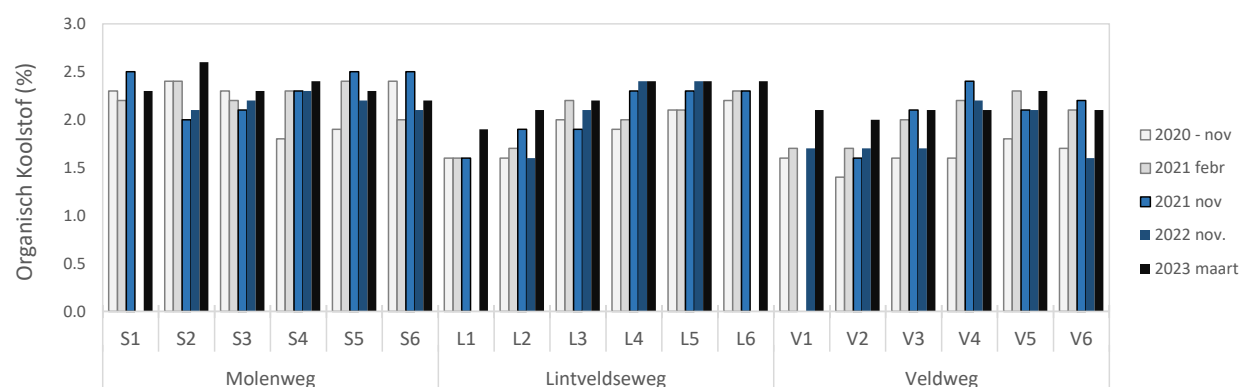
Dat er geen aantoonbare verschillen in OS-gehalte ontstaan, kan daarnaast verklaard worden door de hoge mate van ruimtelijke en temporele variatie in het OS-gehalte. Figuur 3.6 toont de OS-gehalten per strook. Hoewel de percelen homogeen ogen, varieert het OS-gehalte op het perceel aan de Luggenhorst tussen 3,5 en 5,1%. Ook op de andere percelen is sprake van 1 procentpunt verschil in OS-gehalten tussen de stroken. Dit geeft aan dat de variatie tussen de aaneengelegen stroken reeds groter is dan de verwachte verandering in het OS-gehalte als gevolg van GEB.

Ook in de tijd is variatie te zien tussen de metingen. Dit was niet verwacht. De grondmonsters zijn iedere keer op eenzelfde wijze gestoken (40 steken per strook) en door hetzelfde laboratorium geanalyseerd. Op gras neemt het OS-gehalte toe in 2021 en daalt weer in 2022. Mogelijk heeft de her-inzaai in 2020 en heropbouw van OS hierbij een rol gespeeld, echter dit verklaart niet de daling in het OS-gehalte in 2022.

Figuur 3.6 geeft het verloop in het organischestofgehalte weer met de gloeiverliesmethode. Organische stof is tevens bepaald middels een koolstofanalyse (TOC) en deze analyse geeft vergelijkbare trends.



Figuur 3.6 Verloop van organischestofgehalte in de bodem bij jaarlijkse aanwending van GEB (GEB) en bij de controlebehandeling (controle). Ieder datapunt is het gemiddelde van drie herhalingen en de foutbalk geeft de standaarddeviatie. In 2021 is zowel in het voorjaar als najaar gemeten.



Figuur 3.7 Organisch koolstofgehalte per individuele strook gedurende de zes meetmomenten. Iedere staaf is één meting. De velden 1 t/6 liggen naast elkaar in het proefveld. De figuur laat de ruimtelijke en temporele variatie in de meting zien. Veld 1, 3 en 5 zijn behandeld met GEB. Veld 2, 4 en 6 zijn de referentiebehandeling.

Tabel 3.2 Organischestofvoorraad in de landbouwgronden, de organischestof-aanvoer gedurende drie proefjaren door bemesting met GEB en de theoretische verhoging van het bodem-organischestofgehalte.

	Eenheid	Molenweg	Lintveldseweg	Veldweg
Bemonsteringsdiepte	(cm)	30	30	10
Organisch koolstofgehalte bodem	(g C/100 g)	2,2	1,9	1,6
Initieel organischestofgehalte (gloeiverlies)	(%)	5,1	4,7	4,8
Voorraad organische stof in bouwvoor/zode ¹	(ton OS/ha)	214	197	67
Dosering GEB in drie proefjaren	(ton product/ha)	50	70	60
Organisch koolstofgehalte GEB	(kg OS/ton product)	250	250	250
Dosering organische stof in drie proefjaren	(ton OS/ha)	12,5	17,5	15,0
Theoretisch verwachte toename OS-gehalte ²	(%)	4%	6%	16%

¹ Op bouwland in de 0-30cm-laag en op grasland in de 0-10cm-laag.

² Theoretische toename in OS-gehalte in de bodem, ervan uitgaande dat 30% van de GEB afbreekt en 70% accumuleert in de bodem.

3.2.3 Stikstof

De aanvoer van stikstof uit dierlijke mest wordt wettelijk beperkt tot 170 kg N/ha. In de veldproef is de GEB-bemesting aanvullend op de drijfmest gegeven, waardoor de totale aanvoer van stikstof uit dierlijke mest ruim boven de 170 kg N/ha uitkomt. Stikstof in GEB is voor circa 80% aanwezig als organisch gebonden stikstof en de continue aanvoering hiervan kan leiden tot een verhoging van het N-totaalgehalte van de bodem. Op basis van de monitoring wordt echter gedurende de drie jaren geen verschil in N-totaal aangetoond tussen de GEB- en controleveldjes (Tabel 3.1, Figuur 3.8). Op de veldweg (gras) is een stijgende trend in N-totaal waarneembaar in zowel de GEB- als de controleveldjes en dit is mogelijk – evenals de stijging in OS – gerelateerd aan herstel van de bodem na de her-inzaai in 2020.

Tabel 3.3 geeft de massabalans van de stikstofaanvoer gedurende drie jaren door bemesting met GEB (i.e. de aanvoer boven op de basisbemesting met drijfmest) en de daaruit volgende verwachte verhoging van het N-totaalgehalte in de bodem. Verwacht mag worden dat N-totaal ten hoogste 4 tot 9% stijgt op bouwland en 19% op grasland. Op bouwland is de verwachte toename in N-totaal te klein om in een veldproef aan te tonen. Op grasland wordt verwacht dat het N-gehalte met 19% stijgt, omdat hier wordt aangenomen dat de opgebrachte stikstof accumuleert in de 0-10cm-bodemlaag omdat er geen grondbewerking plaatsvindt. Ook hier geeft de monitoring echter geen verschil in N-totaal tussen de behandelingen.

Tabel 3.3 Totaal-stikstof (organisch en mineraal) in de landbouwgronden, de stikstofaanvoer gedurende drie proefjaren door bemesting met GEB en de verwachte stijging in N-totaal als gevolg van het gebruik van GEB.

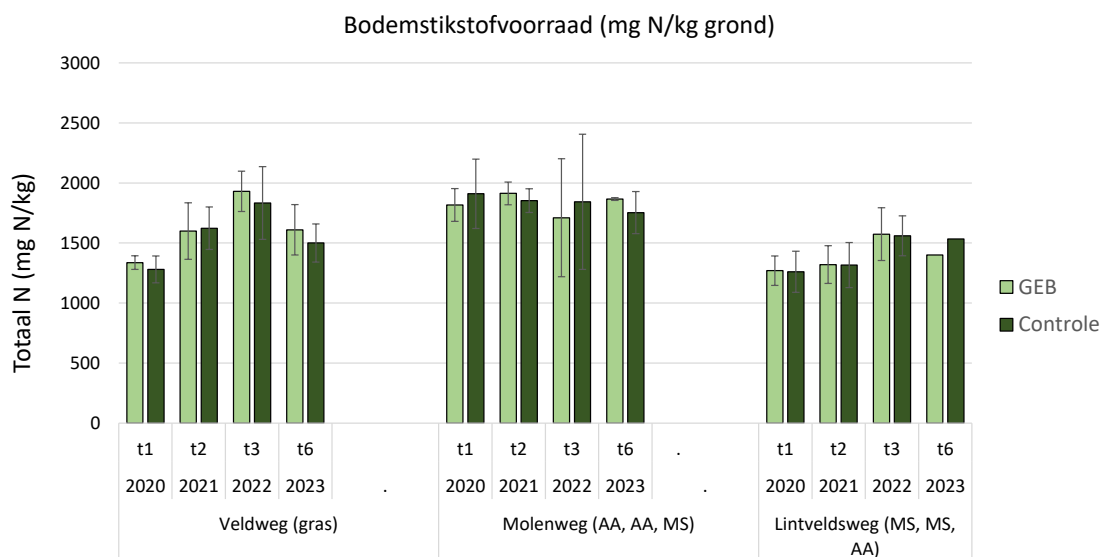
	Eenheid	Molenweg	Lintveldseweg	Veldweg
Bemonsteringsdiepte	(cm)	30	30	10
N-totaalgehalte grond	(g N/kg)	1,9	1,3	1,3
N-totaalvoorraad bouwvoor/graszode	(kg N/ha)	7896	5292	1834
Dosering GEB in drie proefjaren	(ton product/ha)	50	70	60
Stikstofaanvoer GEB (3 jaren) ²	(kg N/ha)	308	456	349
Waarvan mineraal + mineralisatie ³	(kg N/ha)	92,9	142,8	97
Berekende toename N-gehalte grond t.o.v. de controle ⁴	(%)	4%	9%	19%

¹ Op bouwland in de 0-30cm-laag en op grasland in de 0-10cm-laag.

² Zie tabel 2.3.

³ Mineraal N: gemeten als N-NH₃ in GEB plus schatting 10% mineralisatie van organisch N in het eerste jaar na toediening (Regelink et al., 2021).

⁴ Onder de aanname dat organisch N accumuleert in de bouwvoor/zode; het berekende percentage geeft het verwachte **verschil** in N-totaal tussen de GEB- en controleveldjes.



Figuur 3.8 Totaal-stikstof (mg N/kg) in de bodem op veldjes bemest met GEB en controleveldjes. Gemiddelde van drie herhalingen per tijdstap.

3.2.4 Fosfaat

De drie proefvelden kenmerken zich door een zeer hoge fosfaattoestand met P-AL-getallen boven 80 en P-CaCl₂-getallen variërend van 2 tot 6 mg P/kg bij aanvang van de proef (Tabel 3.1). Op deze gronden geldt de laagste fosfaatgebruiksnorm van 40 kg P₂O₅/ha voor bouwland en 75 kgP₂O₅/ha voor grasland, wat ongeveer gelijk is aan de fosfaatafvoer (evenwichtsbemesting).

Gemiddeld genomen is het P-CaCl₂-getal hoger in de GEB bemeste veldjes, terwijl er geen meetbaar verschil is in het P-AL-getal. Bij de interpretatie van de resultaten moet rekening gehouden worden met het feit dat in de proef fors meer fosfaat is bemest dan is toegestaan onder de gebruiksnormen. Dit omdat besloten is om een hogere GEB-gift te geven teneinde effecten sneller waar te kunnen nemen én omdat het in de praktijk niet meer mogelijk is om geen drijfmest uit te rijden op de GEB-vakken. De fosfaatgift met GEB bedroeg 50 tot 100 kg P₂O₅ en deze is extra aangevoerd boven op de bemesting met drijfmest. Gedurende drie proefjaren geeft dit een extra fosfaattoevoer van circa 200 kg P₂O₅/ha. Dit uit zich op de Molenweg en de Veldweg in een significante stijging van het P-CaCl₂-getal. Omdat deze gronden reeds verzadigd zijn met fosfaat, komt een extra fosfaatgift snel tot uiting in het P-CaCl₂-getal.

De bouwvoor van zwaar bemeste gronden bevat tot wel 6000 kg P₂O₅/ha en de bodemvoorraad is daarmee groot ten opzichte van de extra aanvoer van fosfaat. Daarom reageert het P-AL-getal, dat een maat is voor de fosfaatvoorraad in de bodem, nog niet op de extra fosfaataanvoer. Het P-CaCl₂-getal is een maat voor het direct beschikbare fosfaat in de bodem en dit reageert bij fosfaatverzadigde gronden snel op een extra fosfaatgift.

Wanneer de GEB-gift binnen de fosfaatgebruiksnorm wordt uitgevoerd, bestaat er geen risico op een verhoging van het P-CaCl₂-getal omdat de fosfaatgift dan is afgestemd op evenwichtsbemesting.

3.2.5 Zwavel (sulfaat)

GEB bevat zwavel in de vorm van sulfaat door het gebruik van zwavelzuur in het proces. Sulfaat is goed wateroplosbaar. In enkele meetjaren leidde het gebruik van GEB tot een verhoging van het S-CaCl₂-gehalte van de bodem. Het zwavelgehalte in GEB varieerde sterk tussen de batches en zodoende varieert ook het effect daarvan op het S-CaCl₂-gehalte.

De meetdata laten zien dat de keuze van de grondgebruiker voor het type stikstofmeststof ook sterk van invloed is op de beschikbare zwavel in de bodem. In 2020 werd op de Molenweg een sterk verhoogd S-CaCl₂-gehalte (30-38 mg S/kg) gemeten, vermoedelijk door het gebruik van ammoniumsulfaat (spuiwater). Omdat zwavel mobiel is in de bodem, spoelt het overschot aan zwavel uit. Het opvolgende jaar was het S-CaCl₂-getal weer gedaald naar 6,0 mg S/kg.

3.2.6 Bodem-biologische parameters

Bij Eurofins Agro is tevens het pakket bodem-biologische parameters opgevraagd. Dit is een eigen onderzoekspakket van Eurofins Agro, waarin bodem-biologische parameters met NIRS (near-infrared-spectroscopy) worden bepaald.

Dit bestaat uit de volgende analyses: C/N-ratio, microbiële biomassa (mg C/kg), schimmelbiomassa (mg C/kg) en bacteriële biomassa (mg C/kg). Er was geen significant verschil tussen de GEB- en controleveldjes. Opvallend is verder dat de microbiële activiteit onder grasland en bouwland vergelijkbaar is, terwijl vaak een hogere activiteit onder grasland wordt verwacht. Het is onzeker wat de waarde en betrouwbaarheid is van deze metingen op basis van NIRS.

Tabel 3.4 Uitkomsten Eurofins-pakket bodembiologie. Metingen met NIRS, eenheid mg C/kg.

	Microbiële biomassa	Schimmel biomassa	Bacteriële biomassa
Controleveldjes			
Molenweg	306	89	95
Lintveldseweg	183	74	72
Veldweg (gras)	385	148	136
GEB-veldjes (na drie jaar)			
Molenweg	362	104	130
Lintveldseweg	199	75	68
Veldweg (gras)	328	147	130

4 Discussie

4.1 Effect op nitraatuitspoeling

Op grasland was geen sprake van significante verschillen in de hoogte van het nitraatresidu bij gebruik van GEB ten opzichte van de controle. De GEB-percelen ontvingen circa 100 kg N/ha/jaar meer dan de controlepercelen. Voor dit verschil was in de bemesting niet gecorrigeerd.

De proefopzet stelt ons niet in staat om het lot van het nitraatresidu in detail in kaart te brengen. Onder alle gewassen wordt waargenomen dat stikstofresidu in de loop van het winterseizoen grotendeels uit de bodem verdwijnt. Op grasland toont de voorjaarsmeting een minerale N-voorraad van 5 tot 12 kg N/ha, ondanks zeer grote verschillen in het nitraatresidu in het najaar. Ondanks de grote verschillen in de hoogte van het nitraatresidu in de herfst, is de stikstofvoorraad in het voorjaar op de drie locaties vrijwel gelijk en varieert tussen 6 en 12 kg N/ha. Dit is opvallend, omdat het nitraatresidu in de herfst varieerde tussen 23 en 85 kg N/ha. Een uitzondering hierop vormt het perceel op de Molenweg. In het najaar van 2020 was hier na de aardappelteelt een uitzonderlijk hoog nitraatresidu van 150 kg N/ha aanwezig. In het voorjaar van 2021 was op de Molenweg nog 43 kg N/ha over in minerale vorm.

De voorraad mineraal stikstof in de bodem na afloop van het groeiseizoen, het nitraatresidu, geeft een inschatting van het risico op nitraatuitspoeling. Tabel 4.1 geeft het nitraatresidu op de GEB-proefvelden; er was geen significant verschil in de referentie- en GEB-behandelingen.

Het N-residu is een maat voor het nitraatoverschot en kan middels uitspoelfactoren uit het WOG-WOD worden omgerekend naar de verwachte NO₃-concentratie in het grondwater. Het WOG-WOD-model is een empirisch model waarin de uitspoelfactoren zijn afgeleid van gemeten NO₃-concentraties in het Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid (LMM), in combinatie met data over het neerslagoverschot, grondwatertrap en bemesting (Fraters et al., 2012). De uitspoelfractie varieert van 5 tot 90% en hangt samen met de diepte van de grondwaterstand en het landbouwgebruik. Een hogere grondwaterstand geeft een hogere mate van denitrificatie en een lagere uitspoelfactor. Bij een grondwatertrap V bedraagt de uitspoelfractie in het WOG-WOD-model 0,45 op bouwland en 0,22 op grasland. Het langjarige neerslagoverschot in de achterhoek is 260 mm. Dit betekent dat de grenswaarde van 50 mg/l NO₃ wordt overschreden bij een nitraatoverschot van 60 kg N/ha op bouwland en 110 kg N/ha op grasland. Op de proefvelden op bouwland worden deze waarden in de meeste jaren overschreden.

Gedurende de monitoringsperiode varieerde het nitraatresidu van 27 tot 145 kg N/ha, waarbij de hoogste waarde werd gevonden na de teelt van aardappel. De laagste waarde, op grasland in 2021, is verklaarbaar door het feit dat in dat jaar geen stikstofkunstmest werd bemest op het perceel. In 2020 en 2022 was de grasopbrengst door de droogte laag en daardoor is het nitraatresidu verhoogd.

In Nederland wordt de bepaling van het nitraatresidu alleen voor onderzoeksdoeleinden gebruikt. In Vlaanderen is de bepaling van het nitraatresidu na afloop van het groeiseizoen (tussen 1 oktober en 15 november) onderdeel van de jaarlijkse monitoring t.b.v. de evaluatie van het mestbeleid. De uitkomsten worden gerapporteerd in de jaarlijkse mestrappen opgesteld door VLM (VLM 2021) en zijn opgenomen in Tabel 4.2. Het nitraatresidu op de drie Achterhoekse proefvelden is vergelijkbaar met of lager dan de gemiddelde waarden verkregen uit het meetnetwerk in Vlaanderen.

De periode 2018-2020 werd op gronden van proefboerderij Vreedepeel onderzoek gedaan naar nitraatuitspoeling na de teelt van consumptieaardappelen (Van Geel et al., 2023). Dit onderzoek richtte zich op de effectiviteit van vanggewassen. Ook het nitraatresidu werd bepaald. Het nitraatresidu varieerde tussen 33 en 70 kg N/ha en is daarmee lager dan in deze veldproef werd gevonden. Opvallende uitkomst van Van Geel et al., is de zeer slechte relatie tussen de hoogte van het stikstofoverschot en de stikstofgift versus het nitraatresidu na afloop van de teelt. Blijkbaar spelen andere processen zoals N mineralisatie en

gasvormige stikstofverliezen een grote rol in de hoogte van het N residu. De voornaamste uitkomst van Van Geel et al., (2023) is de constatering dat vanggewassen effectief zijn en gemiddeld 40 kg N/ha opnemen uit de bodem in boven- en ondergrondse biomassa.

Andere data van het nitraatresidu zijn beperkt aanwezig. In de achterhoek is in 2017 een monitoring uitgevoerd op 195 percelen maisland, waarbij op dekzand en kleigrond gemiddeld respectievelijk 96 en 72 kg N/ha nitraatresidu na de oogst achterbleef (Plomp en Hilhorst, 2017). De onderzoekers concluderen dat de variatie tussen percelen erg groot is en dat er geen relatie is gevonden met de hoogte van de drijfmestgift. Wel werd aangetoond dat het nitraatresidu hoger is na het scheuren van grasland, temeer omdat de meeste grondgebruikers drijfmest aanwenden na het scheuren van grasland waar dit conform de bemestingsadviezen wordt afgeraden. Scheuren van grasland was geen factor in de GEB-proef.

Tabel 4.1 Nitraatresidu in de 0-90cm-bodemlaag (najaarsmeting) op de proefvelden bij de referentiebehandeling.

	Gewas	N-residue (kg N/ha)
Lintveldseweg		
2020	Aardappel	145
2021	Mais	83
2022	Mais	78
Molenweg		
2020	Mais	79
2021	Mais	44
2022	Aardappel	69
Veldweg		
2020	Gras (her-inzaai)	66
2021	Gras	27
2022	Gras	83

Tabel 4.2 Gemiddeld nitraatresidu per gewasgroep in Vlaanderen in 2020 (VLM, 2021).

	Grasland	Maïs	Bieten	Graan- gewassen	Aardappelen	Groenten	Fruit	Sierteelt en boomkweek	Overige teelten	Totaal
Aantal percelen	7.120	7.136	1.003	2.857	2.123	1.448	281	294	550	22.812
Gemiddelde nitraatresidu	57	97	50	67	132	116	59	101	86	82

4.2 Stikstofbodemvoorraad

Met de dosering van GEB werd tevens stikstof aangevoerd. De totale extra aanvoer aan stikstof – boven op de bemesting met drijfmest en kunstmest – ligt tussen de 308 en 456 kg N/ha over drie proefjaren en bestaat voor 25% uit mineraal-N (NH₄). Het is niet mogelijk om een volledige stikstofbalans op te stellen, omdat er geen gewasmetingen zijn uitgevoerd. We nemen echter aan dat het gewas niet of nauwelijks heeft gereageerd op de extra stikstofgift uit GEB, omdat de reguliere bemesting reeds voldoende stikstof levert. Een uitzondering hierop is proefjaar 2021 op grasland, omdat in dat jaar per abuis géén kunstmeststikstof is uitgereden op het proefperceel. Toen was ook een hogere grasopbrengst zichtbaar op de veldjes met GEB als gevolg van de hogere stikstofbeschikbaarheid.

Indien de stikstofafvoer op de GEB-veldjes gelijk is aan de controleveldjes, zijn er vier mogelijke routes voor verlies/accumulatie van het extra overschot aan stikstof op de GEB-veldjes:

- Vervluchtiging in de vorm van ammoniak direct na aanwending
- Uitspoeling in de vorm van nitraat
- Denitrificatie tot stikstofgas
- Accumulatie in de bodem (N-totaal bodem)

Het overschot aan stikstof in de GEB-veldjes komt niet tot uiting in een hogere uitspoeling van mineraal stikstof.

De gasvormige verliezen zijn in deze proef niet gekwantificeerd. Indien er geen milieukundige verliezen zijn opgetreden, zou het overschot aan stikstof tot uiting moeten komen in de stikstofvoorraad in de bodem. Zonder stikstofverliezen zou het stikstofgehalte in de bodem met respectievelijk 19%, 4% en 9% moeten toenemen op de percelen aan de Veldweg, Molenweg en Lintveldseweg. Deze berekende toename is hoger op grasland, omdat op grasland de 0-10cm-bodemlaag wordt bemonsterd. Op bouwland wordt de laag 0-30 cm bemonsterd waardoor effecten trager tot uiting komen in de bodemparameters. Toch wordt dit verschil niet teruggevonden in de N-totaalvoorraad in de bodem (paragraaf 3.2.3).

Immobilisatie van stikstof treedt op bij bemesting met organische meststoffen met een hoge C/N-coëfficiënt. Als vuistregel geldt dat stikstofimmobilisatie optreedt bij een C/N_{org}-coëfficiënt van 25 of hoger. In labproeven is stikstofimmobilisatie na bemesting met GEB aangetoond, maar dit effect was te zwak om in veldproeven tot uiting te komen. Immers, omdat de organische stof in GEB traag afbreekt – de humificatiecoëfficiënt is vastgesteld op 90% – is tevens de mate van stikstofimmobilisatie in termen van kg N/ha heel beperkt.

Een ander gevolg van de hoge C/N-ratio en de hoge humificatiecoëfficiënt is dat organisch stikstof ook over langere termijn niet mineraliseert, maar vermoedelijk onderdeel blijft van de bodemorganische stof. Verwacht mag worden dat deze stikstof tot uiting komt in de totaal-N-voorraad in de bodem. Door de grote variatie in totaal-N over de tijd was dit echter niet aantoonbaar.

Bij aanwending van dikke fracties mest kan een fors aandeel van het ammonium vervluchtigen. Voor de nationale emissieregistratie wordt gerekend met een emissiefactor van 50% van TAN (Totaal Ammoniaakaal Stikstof) bij bovengronds uitrijden van vaste mest en 22% van TAN indien de vaste mest direct wordt ondergewerkt. Dit laatste is een wettelijke verplichting.

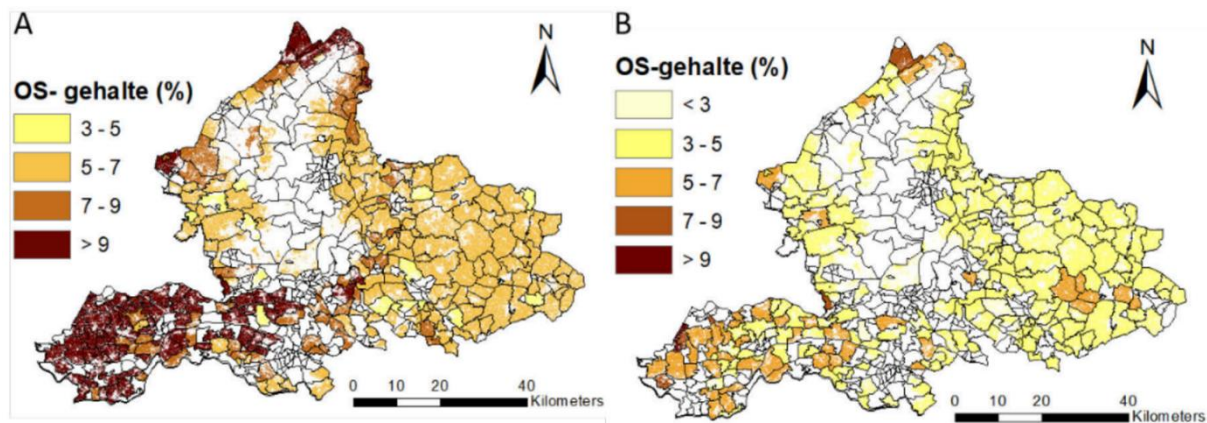
Er is gedurende drie seizoenen geen hogere uitspoeling van nitraat geconstateerd. Op basis van deze proef kan geen uitsluitsel gegeven worden over het lot van het extra stikstofoverschot door het gebruik van GEB. Het was ondanks de vrij hoge N-totaalgiften met GEB niet mogelijk om aantoonbare verschillen in N-accumulatie in de bodem of nitraatuitspoeling vast te stellen.

4.3 Organische stof

Er is veel aandacht voor de aanvoer van organische stof naar bouwland/grasland teneinde het organische stofgehalte in de bodem op peil te houden dan wel te verhogen en daarmee bij te dragen aan de volgende bodemfuncties: (i) koolstofopslag, (ii) verbeteren bodem fysische structuur en waterhoudend vermogen en (iii) verbeteren algehele bodemkwaliteit.

Op de droge zandgronden in de Achterhoek is interesse in mogelijkheden om het waterhoudend vermogen van de bodems te verhogen door de aanvoer van extra organische stof. Het verhogen van het bodemorganische stofgehalte is echter een proces van de lange adem. Effecten op het waterhoudend vermogen van de bodem zijn nauwelijks te verwachten, omdat het waterhoudend vermogen met name is gerelateerd aan textuur van bodem (klei-/silt-/zandfractie). Gronden met een laag kleigehalte hebben een beperkt vermogen om organische stof te stabiliseren. In zandgronden is de afbraak van organische stof daarmee hoger dan op kleigronden.

Op grasland zijn organische stofgehalten gemiddeld hoger dan op bouwland. Organische stofaanvoer vanuit gewas-/wortelresten bedragen circa 10.000 ton OS/ha op grasland en circa 4000 ton OS/ha op bouwland (Lesschen et al., 2021). De extra aanvoer vanuit organische bodemverbeteraars is daarmee relatief beperkt; in deze proef werd circa 4000-5500 ton OS/ha/jaar aangevoerd met GEB, maar in de praktijk zal de dosering lager zijn door beperkingen door de gebruiksnormen. Gewasresten vormen daarmee de hoofdmoot in de organische stofbalans.



Figuur 4.1 Het huidige OS-gehalte in grasland (A) en bouwland (B) op basis van Eurofins-data. Overgenomen uit Lesschen et al. (2022). Voor grasland gemeten in 0-10 cm en bouwland in 0-30 cm.

4.4 Zwavel (sulfaat)

GEB is een zwavelrijke bodemverbeteraar door het gebruik van zwavelzuur in het productieproces. Het zwavelgehalte in de GEB varieerde sterk tussen de batches. Gemiddeld genomen bevat GEB 6 g S/kg. In de veldproeven bedroeg de GEB-dosering 20 ton product per ha, wat overeenkomt met een zwavel dosering van 120 kg S/ha. In de praktijk zal echter een lagere GEB-dosering gangbaar zijn vanwege beperkingen door de fosfaatgebruiksnorm en de gebruiksnorm dierlijke mest. Desalniettemin leidt het gebruik van GEB tot een hoge aanvoer van zwavel.

Zwavel is een macro-nutriënt, echter extra bemesting met zwavel is in de regel niet nodig. De zwavelbehoefte voor aardappelen, suikerbieten en mais varieert tussen 20 en 30 kg S/ha en hierin wordt grotendeels voorzien vanuit de basisbemesting met drijfmest en door het gebruik van andere zwavelhoudende meststoffen zoals kaliumsulfaat of ammoniumsulfaat. Koolgewassen hebben wel een hogere zwavelbehoefte. Op grasland wordt bij de eerste twee sneden een extra zwavelbemesting geadviseerd. Een zwavelgift boven de gewasbehoefte wordt afgeraden, omdat dit leidt tot een te hoog zwavelgehalte in het gras wat een negatief effect heeft op de opname van sporenelementen (koper en zink) door runderen.

Een zwavelgift boven de gewasopname geeft een verhoogd risico op uitspoeling van zwavel. Omdat zwavel in de vorm van sulfaat zeer mobiel is in de bodem, spoelt het overschot binnen één seizoen uit naar grondwater. De metingen bevestigen dat hoeveelheden van 100 tot 200 kg S/ha in één winter uit het bodemprofiel kunnen uitspoelen naar het grondwater. Bij sulfaat treden er, in tegenstelling tot nitraat, geen gasvormige verliezen op waardoor het verdwijnen van sulfaat in het bodemprofiel volledig toegeschreven kan worden aan uitspoeling. Ook wordt sulfaat, in tegenstelling tot fosfaat, niet gebonden aan de bodem.

Met de uitspoeling van sulfaat gaan gelijktijdig ook kationen verloren. Immers, de negatieve lading van het sulfaat dient gecompenseerd te worden door een kation zoals calcium, magnesium of kalium. De uitspoeling van sulfaat leidt daarmee ook tot een verlies aan basische kationen en verarming/verzuring van de bodem. Dit is aangetoond in metingen in bodemvocht in het gebied Haarlo-Eibergen in eerder onderzoek (Rietra et al., 2022). In het onderhavige onderzoek is de samenstelling gemeten na extractie met 0.01 M CaCl_2 , waardoor een verhoging in de Ca-concentratie als gevolg van overmatig zwavel niet meetbaar is.

Uitgaande van een neerslagoverschot van 250 mm per jaar en een zwaveluitspoeling van 200 kg S/ha, mag een S-SO_4 -concentratie van 40 mg $\text{S-SO}_4/\text{L}$ (120 mg SO_4) in het uitspoelende water verwacht worden. Het drinkwater van productielocatie Olde Eibergen bevat 82 mg SO_4/L en de wettelijke maximumwaarde bedraagt 150 mg SO_4/L . In hoeverre een hogere sulfaatconcentratie in het ruwe drinkwater nadelig is voor de productie van drinkwater is bij de auteurs niet bekend. De verhoogde alkaliniteit – door het gelijktijdig uitspoelen van calcium/magnesium – is wel nadelig, omdat Vitens de alkaliniteit van het drinkwater probeert te beheersen.

Andere organische meststoffen bevatten eveneens zwavel, maar hoofdzakelijk in organische vorm en dit komt zodoende niet direct tot uiting in de gewas-beschikbare zwavelvoorraad. In bemestingsadviezen wordt aangenomen dat 20% van het totaal zwavel uit de bemesting met dierlijke mest binnen het eerste jaar door mineralisatie beschikbaar komt. Voor GEB gaat deze vuistregel niet op, omdat zwavel in GEB hoofdzakelijk aanwezig is in de vorm van sulfaat en daarmee direct gewas-beschikbaar is. Het totaal zwavelgehalte van GEB dient zodoende voor 100% te worden meegerekend in het zwavelbemestingsplan. Indien alleen het totaal-zwavelgehalte wordt beschouwd, is GEB niet onderscheidenlijk ten opzichte van andere organische meststoffen zoals compost of champost. De sulfaatconcentratie – geen standaardparameter voor meststoffen – is echter hoog in GEB t.o.v. andere organische meststoffen. Echter, overmatige zwavelbemesting is wel een aandachtspunt bij andere meststoffen van mestverwerking waaronder ammoniumsulfaat en mineralenconcentraat. Beide bevatten hoge gehalten aan zwavel in de vorm van sulfaat door het gebruik van zwavelzuur in het productieproces (Regelink et al., 2021).

4.5 Fosfaat

In deze proef is GEB bemest boven op de reguliere drijfmestgift, waar de GEB-veldjes een hogere fosfaatgift kregen. Op de GEB-veldjes was het P-CaCl₂-getal gemiddeld hoger dan op de controleveldjes. Normaliter wordt niet zo snel een effect van P-bemesting op P-indicatoren gezien, maar deze bodems kennen reeds een hoge fosfaattoestand en zijn fosfaatverzadigd; de bodems zijn niet meer in staat om een extra fosfaatoverschot te binden en zodoende leidt een fosfaatoverschot direct tot een reactie in het P-CaCl₂-getal.

Het feit dat een reactie op P-indicatoren werd aangetoond, betekent dat het fosfaat uit GEB toch grotendeels makkelijk oplosbaar is, terwijl het tegenovergestelde bij aanvang werd verwacht. Hierbij moet worden opgemerkt dat in een aantal jaren van de proef bemest is met GEB met daarin nog 6 kg P₂O₅/ton, terwijl GZV eerder GEB produceerde met minder dan 2 kg P₂O₅. Het hogere fosfaatgehalte in GEB komt voort uit het doel om het zuurverbruik te verlagen.

Uit de profielbemonsteringen blijkt dat deze hoge fosfaatconcentraties zich beperken tot de bouwvoor. Onder de bouwvoor is de fosfaatconcentratie veelal onder de aantoonbaarheidsgrens, vermoedelijk omdat uitspoelend fosfaat wordt gebonden aan ijzer-hydroxiden in de ondergrond. Tijdens de boringen werd waargenomen dat de ondergrond ijzeroer bevat en het is bekend dat ijzer-hydroxiden zeer goed in staat zijn om fosfaat te binden. Op de bewuste proefvelden is er hierdoor geen risico op uitspoeling van fosfaat naar het grondwater. Alleen waar dergelijke gronden zich bevinden nabij watergangen is er alsnog risico op oppervlakkige afspoeling naar oppervlaktewater.

4.6 Gebruiksnormen

Het gebruik van GEB wordt in de praktijk beperkt door de hoogte van de fosfaatgebruiksnorm, de gebruiksnorm dierlijke mest en de stikstofgebruiksnorm.

Fosfaatgebruiksnormen

Dikke fracties uit (co-vergiste) varkensmest zijn van nature rijk aan fosfaat en worden om die reden veelal geëxporteerd naar Duitsland en Frankrijk. Groot Zevert Vergisting produceert een dikke fractie met een verlaagd fosfaatgehalte, waardoor binnen de fosfaatgebruiksruijme meer organische stof kan worden aangewend. Het belang van organische meststoffen voor behoud van de bodemkwaliteit wordt erkend door het Ministerie van LNV. In 2020 is een uitzonderingsregeling ingevoerd teneinde het gebruik van organischestof-rijke meststoffen op gronden met een hoge fosfaattoestand te verruimen.²

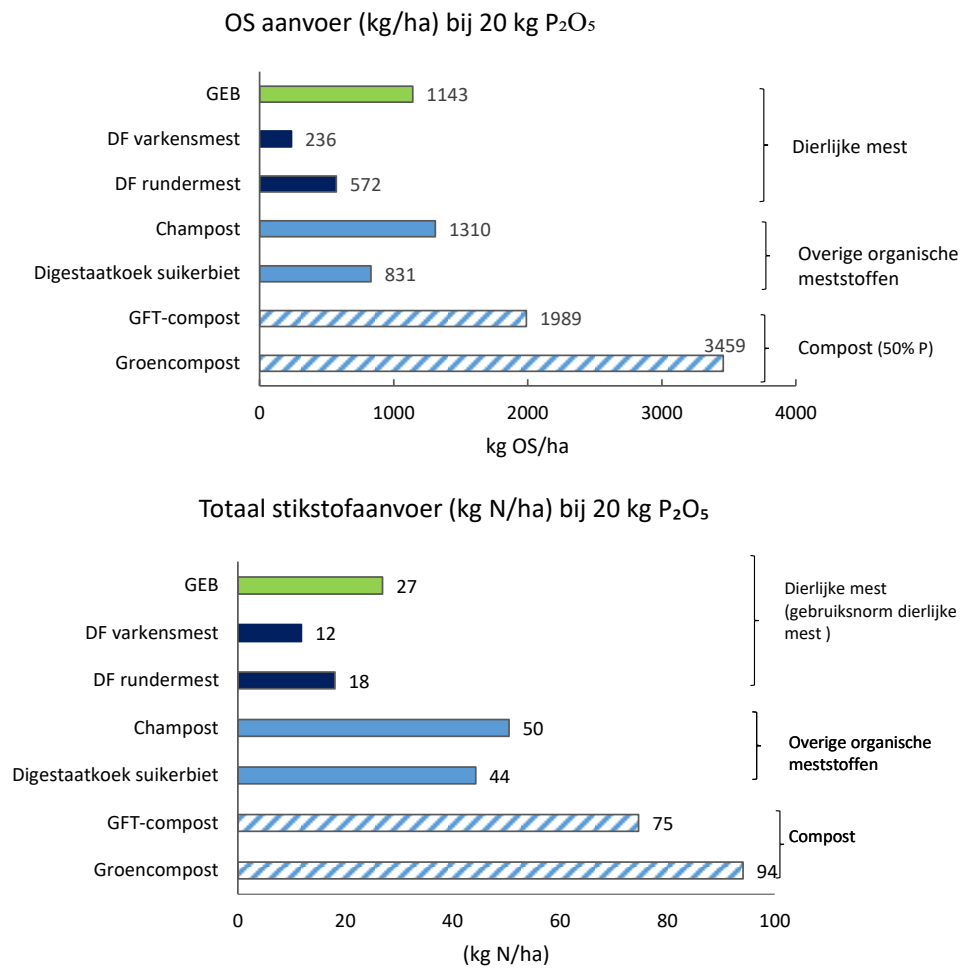
Verruiming fosfaatgebruiksnorm voor organische stofrijke meststoffen

Bij een hoge fosfaattoestand bedraagt de fosfaatgebruiksnorm 40 kg P₂O₅/ha en dit beperkt de mogelijkheden om organische stof en stikstof uit dierlijke mest te benutten. Dit heeft zowel consequenties voor de organischestof-aanvoer als voor de inkomsten, omdat gebruik van dierlijke mest leidt tot besparing

² <https://www.rvo.nl/onderwerpen/mest/gebruiken-en-uitrijden/fosfaat-landbouwgrond/extra-organische-mest>

op kosten voor stikstofkunstmest (Van den Dool et al., 2022). Sinds 2020 bestaat er de mogelijkheid om de fosfaatgebruiksnorm met 5 kg P₂O₅/ha te verruimen, mits het perceel bemest wordt met een van de aangewezen organischestof-rijke meststoffen én mits hiervan ten minste 20 kg P₂O₅/ha wordt aangewend. Aangewezen meststoffen zijn compost, champost, strorrijke mest van rundvee, schapen, geiten en paarden en dikke fractie van mest van rundvee.

Figuur 4.2 toont de aanvoer van organische stof en stikstof bij een dosering van 20 kg P₂O₅/ha voor GEB en een aantal andere organische meststoffen. De OS-aanvoer bij gebruik van GEB is hoger ten opzichte van dikke fracties van varkens- en rundermest en vergelijkbaar met de aanvoer bij gebruik van champost. Op basis van de OS/P- en N/P-ratio's is de opname van GEB op de lijst van aangewezen organischestof-rijke meststoffen te verantwoorden.



Figuur 4.2 Organischestof-aanvoer (kg OS/ha) (boven) en de totale stikstofaanvoer (kg N/ha) (onder) bij gebruik van 20 kg P₂O₅/ha voor diverse organische meststoffen waaronder GEB.

Fosfaatvrije voet

Compost kent een hogere aanvoer van organische stof per kg fosfaat waarbij echter de kanttekening geldt dat fosfaat in compost voor 50% is vrijgesteld, omdat compost voor circa 60 tot 80% uit minerale delen (grond) bestaat. Aanvoer van organische stof met compost betekent aanvoer van grond en de hoogte van de fosfaatvrije voet is gebaseerd op het gemiddelde fosfaatgehalte in de grondfractie van compost (Ehlert et al., 2005).

Organische meststoffen verschillen in de mate waarin fosfaat direct werkzaam is als fosfaatmeststof, omdat een deel van het fosfaat gebonden kan zijn aan minerale bodemdelen of onderdeel kan zijn van de organische stof. In eerder onderzoek (Regelink et al., 2021) zijn de fosfaatvormen in diverse organische meststoffen – waaronder GEB en compost – bepaald middels extracties (Figuur 4.3). Daaruit volgt dat

fosfaat in compost inderdaad grotendeels gebonden is aan de minerale bodemdeeltjes en daardoor niet bijdraagt aan het verhogen van de fosfaattoestand van de bodem. Voor de onbehandelde dikke fractie van GZV geldt juist dat fosfaat voor meer dan 80% aanwezig is als direct beschikbaar fosfaat. De GEB-meststof neemt een tussenpositie in. Door de zuurbehandeling is het aandeel direct beschikbaar fosfaat gedaald tot circa 40% en dit zou een argument kunnen zijn om een deel van het fosfaat vrij te stellen. Een kanttekening hierbij is echter dat het fosfaatverwijderingsrendement en daarmee het fosfaatgehalte van GEB in de praktijk (nog) sterk fluctueert.

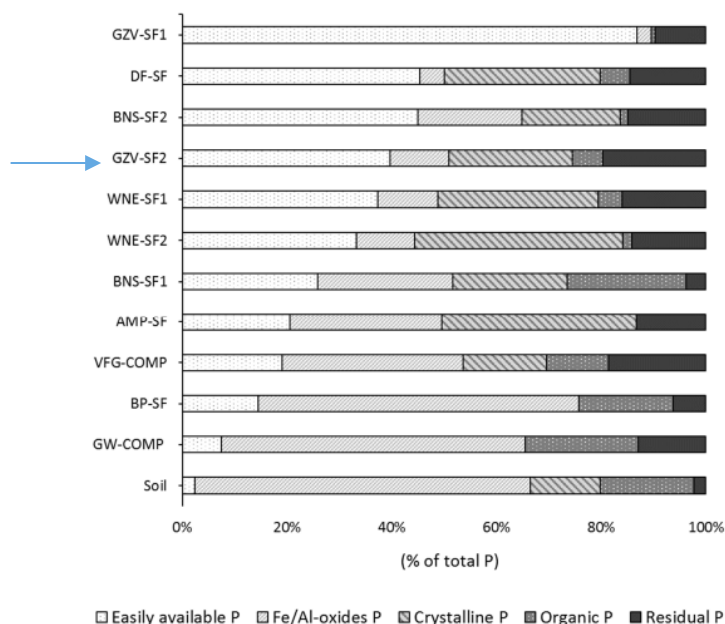


Figure 3. Distribution of phosphorus (P) species (% of total P) in solid fractions (SF) of digestate from different treatment plants, and average P distribution for composted vegetable, fruit and garden waste (VFG-COMP, n:4), composted green waste (GW-COMP, n:2) and sieved soil (Soil, n:3). The organic fertilisers are put in order of increasing percentage of easily available P.

Figuur 4.3 Verdeling van fosfaat over verschillende fosfaatfracties. GZV-SF1: onbehandelde dikke fractie. GZV-SF2: GEB. (Overgenomen uit Regelink et al., 2021.)

Gebruiksnorm dierlijke mest

GEB is afkomstig van dierlijke mest waardoor de stikstof (totaal-N) meetelt voor de gebruiksnorm dierlijke mest van 170 kg N/ha. Bij een dosering van 20 kg P₂O₅/ha wordt 27 kg N/ha aangevoerd. Deze ruimte kan niet meer worden opgevuld met dierlijke mest en dit is vanuit financieel en landbouwkundig oogpunt nadelig voor de afnemer. Compost telt niet mee voor de gebruiksnorm dierlijke mest en kan een reden zijn voor de afnemer om compost te prefereren boven GEB.

Uit de monitoring van de veldproeven volgt dat de extra aanvoer van stikstof met GEB geen extra risico op uitspoeling van nitraat geeft. Dat kan een argument zijn om GEB vrij te stellen van de gebruiksnorm dierlijke mest. Omdat de gebruiksnorm dierlijke mest echter van toepassing is op dierlijke mest én producten daarvan, is een ontheffing hiervoor niet kansrijk. Advies is om te werken aan een GEB met een zo laag mogelijk stikstofgehalte.

Stikstofgebruiksnorm

De gebruiker dient de werkzame stikstof ook in te rekenen voor de stikstofgebruiksnorm. GEB valt onder vaste dierlijke mest en daarvoor geldt een N-werkingscoëfficiënt van 55%. Incubatieproeven laten echter zien dat de N-werking van GEB nagenoeg nul is door het lage aandeel mineraal stikstof i.c.m. de hoge C/N-ratio, waardoor N-immobilisatie optreedt. Over een periode van 120 dagen werd in incubatieproeven geen mineralisatie van stikstof uit GEB vastgesteld (Egene et al., 2022; Schoumans et al., 2023, Annex 3b). Voor compost geldt een wettelijke N-werkingscoëfficiënt van 10%. Zonder aanpassing van de wettelijke

N-werkingscoëfficiënt is het gebruik van GEB voor akkerbouwers nadelig, omdat de stikstofgebruiksnormen als knellend worden ervaren. De stikstofwerkingscoëfficiënt van GEB kan zonder risico worden vastgesteld op 10%, conform de waarde voor o.a. compost. Zowel incubatieproeven als veldproeven tonen aan dat de N-mineralisatie zeer laag is.

Graslandderogatie (hogere N-gebruiksnorm dierlijke mest)

Onder de derogatieregeling was onder voorwaarden een hoger gebruik van stikstof uit graasdierenmest toegestaan. Een ervan was dat er geen stikstof van andere diersoorten op een derogatiebedrijf aangevoerd mocht worden waardoor het gebruik van GEB op bijvoorbeeld maisland van derogatiebedrijven niet was toegestaan.

Met het aflopen van de derogatie vervalt ook deze regel en ontstaat een nieuwe markt voor de afzet van GEB. Omdat met name melkveebedrijven ook hun fosfaattekort op het bedrijf zien oplopen, is het voor afzet niet nodig om het fosfaatgehalte extreem te verlagen. In de nabije jaren zal de markt voor dierlijke mest omslaan van een overschot van fosfaat naar een vraag naar fosfaat, gecombineerd met een overschot aan stikstof uit dierlijke mest.

Gebruiksnormen

Samengevat: op basis van de samenstelling is opname van GEB op de lijst van 'organischestof-rijke producten' waarvoor een hogere fosfaatgebruiksnorm geldt op gronden met een hoge fosfaattoestand goed verdedigbaar. Een fosfaatvrije voet, zoals geldt voor compost, is minder goed verdedigbaar, omdat de grondslag verschilt: bij compost bevindt circa 50% van het fosfaat zich in de grondfractie, terwijl GEB geen grond bevat. Voor stikstof kan gesteld worden dat een lagere stikstofwerkingscoëfficiënt van 10% verdedigbaar is voor GEB. Een ontheffing van de gebruiksnorm dierlijke mest lijkt onwaarschijnlijk, aangezien GEB een product is uit mest.

4.7 Toekomstperspectief

Ten tijde van de start van deze demoproef was er in Nederland sprake van een fosfaatoverschot uit dierlijke mest en kon nog gebruikgemaakt worden van de graslandderogatie. GZV had als doel om fosfaat en organische stof van elkaar te scheiden teneinde het fosfaat over lange afstand te kunnen exporteren. In de afgelopen jaren is het fosfaatoverschot jaarlijks gedaald. Op melkveebedrijven is in circa 50% van de gevallen zelfs sprake van een fosfaattekort, echter indien deze deelnemen aan de graslandderogatie, mag geen fosfaatkunstmest of dierlijke mest van niet-graasdieren worden aangevoerd.

Anno 2023 is bekend dat de graslandderogatie komt te vervallen, waardoor het mestoverschot in termen van stikstof fors zal stijgen. In de nabije jaren zal de markt voor dierlijke mest omslaan van een overschot van fosfaat naar een vraag naar fosfaat, gecombineerd met een overschot aan stikstof uit dierlijke mest. Gelijktijdig is er sprake van een steeds grotere mate van onderbenutting van de fosfaatgebruiksruimte en daarmee ontstaan nieuwe kansen voor de afzet van fosfaatrijke meststoffen uit dierlijke mest, mits deze een laag stikstofgehalte kennen (de gebruiksnorm dierlijke mest beperkt). Met het aflopen van de derogatie vervalt bovendien het verbod op het gebruik van varkensmest op derogatiebedrijven, waarmee een nieuwe afzetmarkt ontstaat. Voor GZV betekent dit dat een fosfaatrijke dikke fractie wellicht in de toekomst afzetbaar is in Nederland en dat daarmee de drijfveer voor de productie van GEB wegvalt.

Een andere ontwikkeling is dat er in de potgrondsector in toenemende mate belangstelling is voor duurzame alternatieven voor veen als grondstof voor potgrond. Dat zou een reden kunnen vormen om de productie van GEB juist verder te ontwikkelen. Binnen die route zou dan ook aandacht moeten zijn voor de productie van een fosfaatmeststof met een laag stikstofgehalte, zodat deze binnen Nederland afzetbaar is.

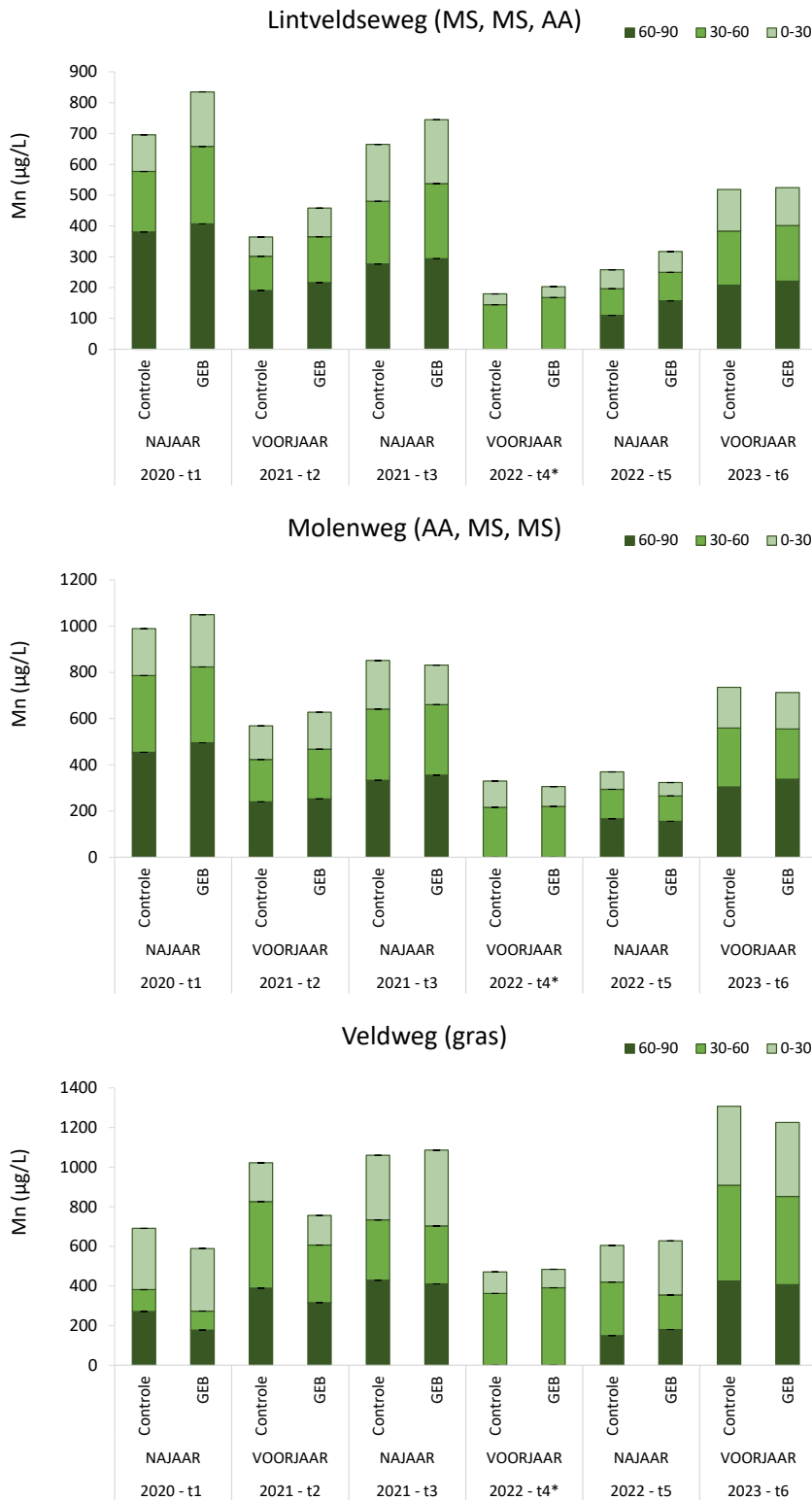
5 Conclusies en perspectief

- In drie jaar proefveldonderzoek werd geen effect van GEB op de uitspoeling van nitraat waargenomen. De extra aanvoer van stikstof – hoofdzakelijk in organische vorm – leidde niet tot een hoger nitraatresidu.
- De hoogte van het nitraatresidu varieerde sterk per jaar en per gewas. Omdat het nitraatresidu zich in het najaar reeds op >30 cm diepte bevindt, mag aangenomen worden dat een groot deel van dit nitraat via uitspoeling het grondwater bereikt. Conditie van zuurstofloosheid, waaronder denitrificatie van nitraat, werden slechts enkele keren aangetoond en dan alleen in het voorjaar.
- Drie jaar toepassing van GEB leidde nog niet tot een meetbaar verschil in de hoogte van het organischestofgehalte van de bodems, omdat de extra bijdrage vanuit GEB laag is t.o.v. de totale voorraad aan organische stof in de bouwvoor.
- Een aandachtspunt bij GEB is het hoge zwavelgehalte door het gebruik van zwavelzuur in het proces. Het overschot aan sulfaat spoelt binnen één seizoen uit naar het grondwater.
- Met GEB werd extra fosfaat aangevoerd, hoewel deze velden reeds een hoge fosfaattoestand kennen. De extra aanvoer van fosfaat leidde tot een stijging in het P-CaCl₂-getal. In de ondergrond is ijzeroer aanwezig waardoor er op deze locaties geen risico is op uitspoeling van fosfaat naar het grondwater.
- Ten aanzien van de gebruiksnormen kan een lagere stikstofwerkingscoëfficiënt van 10% voor GEB goed worden onderbouwd. Een vrijstelling van de gebruiksnorm dierlijke mest lijkt niet haalbaar, omdat het product afkomstig is uit dierlijke mest. Een opname in de lijst van 'organischestof-rijke producten' is wel goed verdedigbaar.
- De markt voor afzet van producten uit dierlijke mest zal de komende jaren sterk veranderen door het wegvallen van de mogelijkheid tot graslandderogatie. De verwachting is dat de vraag naar fosfaatrijke meststoffen uit dierlijke mest zal toenemen, mits deze producten een laag stikstofgehalte kennen (de gebruiksnorm dierlijke mest knelt). Dat opent mogelijkheden om een dikke fractie of bodemverbeteraar met een hoger fosfaatgehalte weer binnen Nederland af te zetten. Emissies van ammoniak zijn daarbij een aandachtspunt, omdat vaste meststoffen niet goed emissiearm zijn aan te wenden.

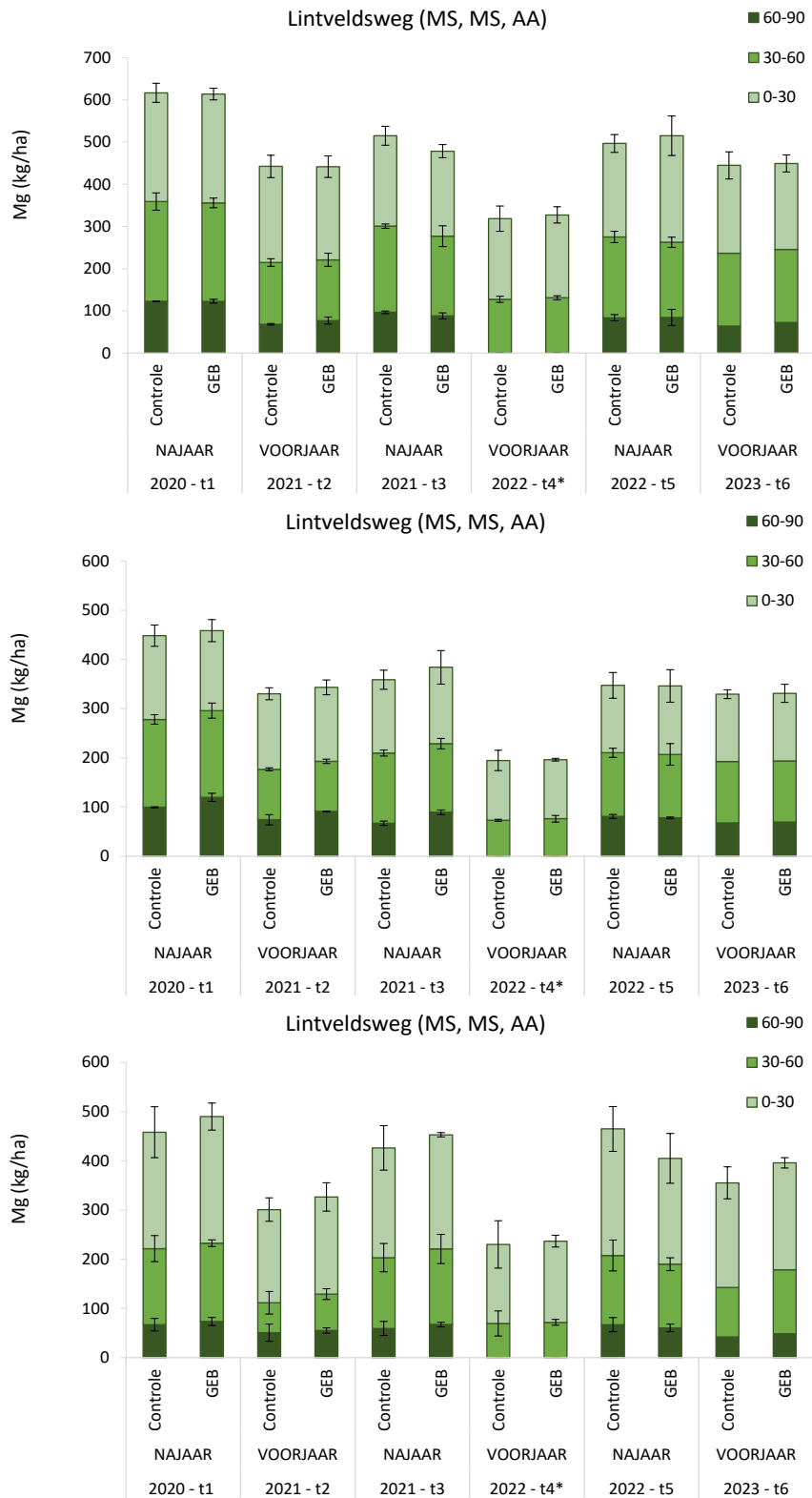
Literatuur

- Egene, C. E., Sigurnjak, I., Regelink, I. C., Schoumans, O. F., Adani, F., Michels, E., Sleutel, S., Tack, F. M. G., & Meers, E. (2020). Solid fraction of separated digestate as soil improver: implications for soil fertility and carbon sequestration. *Journal of Soils and Sediments*. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02792-z>
- Ehlert, P. A. I. (2005). Toepassing van de basisvruchtbenadering op fosfaat van compost : advies. *Rapport Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu*;5.
- Vlaamse landmaatschappij (VLM) 2021. Mestrapport 2021. <https://www.vlaanderen.be/publicaties/mestrapport>
- Van den Dool, K., De Wit, D., De Haan, J., Postma, R. 2022, Effect verlaagde fosfaataanvoer op het organische stofgehalte; consequenties van de nieuwe fosfaatindicator op kleigrond. Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1883.N.22, pp 40. <https://edepot.wur.nl/584280>
- Regelink, I. C., Van Middelkoop, J., Geel, W. van, & Ehlert, P. A. I. (2021). *De eenvoudige versus de gecombineerde indicator voor bepaling van de fosfaattoestand van de bodem*. Wageningen. <https://doi.org/10.18174/557176>
- Porre, R.J., D. Westerik, G. Velthof, J.P. Lesschen. 2022. Effecten van plantaardig digestaat op bodem, emissies en gewasopbrengsten. Resultaten van een literatuurstudie, incubatieproef en potproef. Wageningen Environmental Research Rapport 3191, <https://edepot.wur.nl/575257>
- Lesschen, J., Hendriks, C., Porre, R. 2021. De potentie voor koolstofvastlegging in Gelderse Landbouwbodems. Wageningen WENR-rapport 3097 <https://doi.org/10.18174/549171>
- Plomp, M., G. Hilhorst. 2017. Analyse van N-min in de bodem van maispercelen. Vruchtbare kringloop Achterhoek/Liemers.
- Rietra, R.P.J.J., P.G. Dijk, J.P. van 't Hull, 2022. Bodem als indicator; bodemkenmerken als indicator voor nitraat in grondwater. Wageningen. Wageningen Environmental Research, Rapport 3180. <https://doi.org/10.18174/574940>
- Schoumans (Ed.), P.A.I Ehlert, Lotte Veenemans, W. Vervuurt, W. van den Berg, J. Verhoeven, J. Middelkoop, 2023. Conceptual framework to evaluate organic fertilisers on C and N mineralisation and economic aspects. Wageningen, Wageningen Environmental Research. In concept
- Van Geel, W.C.A., R.P.J.J. Rietra, H.A.G. Verstegen, K. Duan, P. Groenendijk & J.T.W. Verhoeven, 2023. *Stikstofvanggewassen na consumptieaardappel op zandgrond. Verslag van driejarigveldonderzoek op zuidelijk zandgrond te Vredepeel*. Wageningen Research, Rapport WPR-OT 1018. <https://doi.org/10.18174/631358>

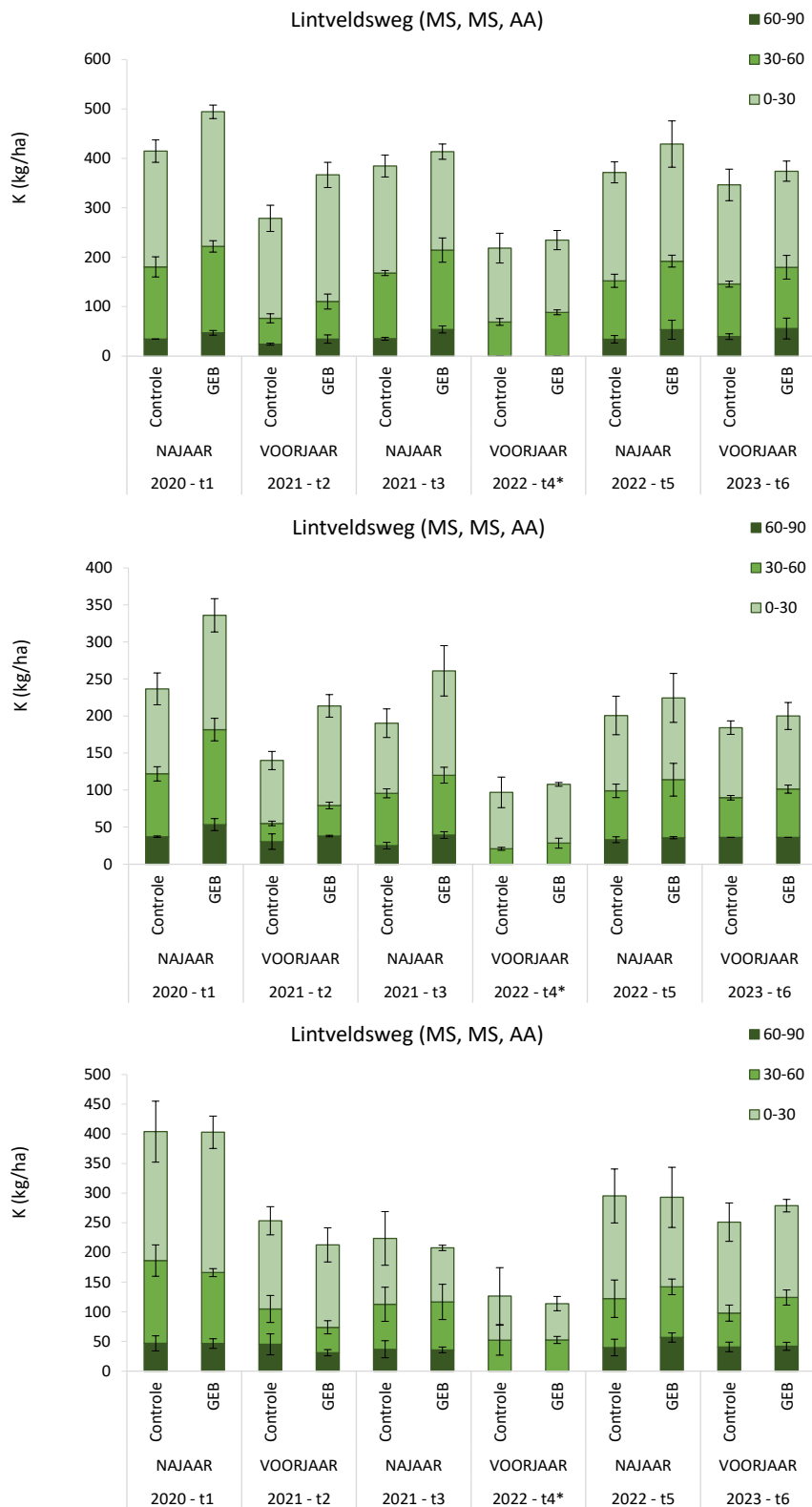
Bijlage 1



Figuur A.1 Mangaanconcentratie in de extractievloeistof in de bodemonsters gestoken op 0-30, 30-60 en 60-90 cm diepte en op veldjes met en zonder GEB-bemesting. Gemiddelde en standaarddeviatie van drie herhalingen. Op t4 is de 60-90 cm niet bemonsterd. Metingen onder de aantoonbaarheidsgrens van 0,1 mg/L zijn bij berekening van het gemiddelde meegenomen met een waarde van 0,05 mg P/L.



Figuur A.2 Magnesiumvoorraad, in kg Mg/ha, op 0-30, 30-60 en 60-90 cm diepte en op veldjes met en zonder GEB-bemesting. Gemiddelde en standaarddeviatie van drie herhalingen. Op t4 is de 60-90 cm niet bemonsterd.



Figuur A.3 Kaliumvoorraad, in kg K/ha, op 0-30, 30-60 en 60-90 cm diepte en op veldjes met en zonder GEB-bemesting. Gemiddelde en standaarddeviatie van drie herhalingen. Op t4 is de 60-90 cm niet bemonsterd.

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

Wageningen Environmental Research
Rapport 3287
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, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 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 3287
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, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 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.

