



KWR | Maart 2017

TKI Watertechnologie

Toepassing van
drinkwaterslib op
fosfaatrijke gronden
t.b.v.
natuurontwikkeling
Website versie

Toepassing van drinkwaterslib op fosfaatrijke gronden t.b.v. natuurontwikkeling

TKI Watertechnologie

KWR 2017.042 | Maart 2017



Opdrachtnummer

401000

Projectmanager

Luc Palmen

Projectpartners

Brabant Water, Vitens, Waterbedrijf Groningen, AquaMinerals (voorheen Reststoffenunie)

Natuurmonumenten, Stichting Het Drentse landschap, Stichting Het Utrechts Landschap

Stichting Het Noordbrabants Landschap, Stichting Het Groninger Landschap

Groot Zevert Loon- en grondverzetbedrijf BV., Wolterink Technisch Centrum B.V.

Alterra, B-WARE

Kwaliteitsborgers

Han Runhaar (i.o.v. Flip Witte)

Auteurs

Edu Dorland, Yuki Fujita (KWR),

Wim Chardon (Wageningen Environmental Research),

Aalke Lida de Jong (AquaMinerals)

Verzonden aan

Consortiumpartners

Deze activiteit is mede gefinancierd uit de Toeslag voor Topconsortia voor
Kennis en Innovatie (TKI's) van het ministerie van Economische Zaken.

Jaar van publicatie

2017

Meer informatie

Dr. Edu Dorland

T 030-6069532

E edu.dorland@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR Watercycle
Research
Institute

KWR 2017.042 | Maart 2017 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd,
opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand,
of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze,
hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën,
opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande
schriftelijke toestemming van de uitgever.

Samenvatting

Ontwikkel een machine waarmee drinkwaterslib op een effectieve manier ingebracht kan worden op fosfaatrijke gronden om zo de fosfaat-beschikbaarheid te verminderen en natuurontwikkeling te stimuleren.

Dat was de technologische doelstelling die we onszelf als TKI-consortium (een samenwerking van drinkwaterbedrijven, natuurorganisaties, kennisinstellingen en bedrijven) hadden opgelegd. Om dit te bereiken dienden verschillende onderzoeksvragen te worden beantwoord. Enerzijds wilden we meer ervaring op doen met het mengen van drinkwaterslib met verschillende bodemtypen, en de effecten die dit zou hebben op bodemchemie en vegetatie. Anderzijds beoogden we de toepassing van deze behandeling technisch mogelijk te maken, liefst ongeacht bodemtype.

Waarom überhaupt deze maatregel?

Het toedienen van ijzerrijk drinkwaterslib op fosfaatrijke (voormalige landbouw)gronden was in Nederland nog niet eerder toegepast. Hierbij wordt onder drinkwaterslib verstaan: ijzerslib en ijzerkalkslib (waar naast ijzer ook calcium in aanwezig is). Laboratoriumexperimenten hadden al wel aangetoond dat het ijzer in dit slib goed in staat is om fosfaat (P) te binden, en zo niet langer beschikbaar te laten zijn voor opname door plantenwortels. In theorie een beheermaatregel die verschrallend zou kunnen werken, en daardoor natuurontwikkeling op deze P-rijke gronden mogelijk zou maken zonder de P-rijke toplaag te hoeven afgraven. Natuurlijk, afgraven is de meest effectieve manier om P-beschikbaarheid van de bodem te verlagen, maar dit kan een kostbare maatregel zijn. Zeker als P door jarenlange bemesting een grote diepte heeft bereikt. Ook zijn er situaties waarbij afgraven niet gewenst of mogelijk is. Bijvoorbeeld wanneer archeologische waarden aanwezig zijn, of een maaiveld verlaging onwenselijk is omdat de bodem dan te nat zou worden. In die situaties kan de toepassing van ijzerrijk drinkwaterslib een goed alternatief zijn, en op kortere termijn tot de gewenste resultaten leiden dan door (zeer) langjarige verschraling middels uitmijnen kan worden bereikt.

Toepassing alleen op droge zandgrond zonder problemen uitvoerbaar

Op basis van onze ervaringen, opgedaan in een aan dit project voorafgaande pilot, hebben we drie nieuwe, kleinschalige veldexperimenten uitgevoerd. Eén locatie betrof een veenbodem (Onnerpolder nabij Groningen), de tweede locatie was zand met klei (Bloemkampen nabij Harderwijk), en de derde locatie betrof een lemige zandbodem (De Scheeken nabij Liempde). Deze verschillen in bodemtypen, en dan met name verschillen in vochtigheid en organischstofgehalte, leidde direct tot belangrijke aanwijzingen voor de toepassing. Op P-rijke, (zeer) organische bodems, zoals veengronden, is vanwege het lage soortelijk gewicht van de bodem een relatief hoge dosis drinkwaterslib nodig. Gecombineerd met de hoge weerstand van de bodem vanwege het hoge vochtgehalte, zorgde ervoor dat het grote volume slib maar zeer langzaam de bodem introk, en pas weken later met de grond vermengd kon worden. Dezelfde ervaring hadden wij bij Bloemkampen waar het hoge kleigehalte van de bodem er ook voor zorgde dat het drinkwaterslib slechts langzaam infiltreerde, overigens wel aanzienlijk sneller dan op veengrond. Alleen op de droge zandgrond in De Scheeken kon het ijzerslib, mede vanwege de relatief lage dosis die daar

nodig was, direct na opbrengen middels frezen met de bovenste 20 cm van de bodem worden gemengd. Dit leidt tot onze aanbeveling om drinkwaterslib vooral op droge zandgronden toe te passen.

Verlagend effect op P-beschikbaarheid, effecten op vegetatie blijven (nog?) uit

De drie experimentele veldproeven lieten zien, net als in de pilot en de laboratorium experimenten, dat het ijzerrijke drinkwaterslib de P-beschikbaarheid van de bovenste bodemlaag verlaagde. Wel bleek het moeilijk om vooraf de juiste dosis te berekenen die zou moeten worden toegediend om de P-beschikbaarheid tot op (of beneden) de streefwaarde voor schrale natuur te verlagen. Dit had meerdere oorzaken: variaties in drogestofgehaltes van het drinkwaterslib van dezelfde productielocatie in de tijd, grote ruimtelijke variatie in betreffend perceel, en temporele variatie wat leiden tot verschillen tijdens de voorselectie en moment van werkelijke uitvoering. Het is daarom belangrijk om vooraf zo goed mogelijk beeld te hebben van de P-beschikbaarheid en diepte van het P-front, en het drogestofgehalte van het slib direct voorafgaand aan de toepassing te meten om ter plekke de toe te dienen hoeveelheid nog te kunnen aanpassen. Daarbij moet geaccepteerd worden dat ruimtelijke verschillen zullen blijven voorkomen.

Ondanks de snelle verlaging van de P-beschikbaarheid waren er beperkt effecten op de vegetatie waarneembaar. De belangrijkste reden hiervoor is de korte looptijd (één groeiseizoen) van het experiment, maar ook het feit dat niet overal de P-beschikbaarheid tot de streefwaarde werd verlaagd door bovengenoemde factoren. Het uitleggen van soortenrijk maaisel in met ijzerslib behandelde proefvlakken in De Scheeken liet echter wel zien dat doelsoorten konden kiemen en zich vestigen op deze behandelde gronden.

Ontwikkeling van een alternatieve “zodebemester” gerealiseerd

Het mengen van het drinkwaterslib middels frezen verstoort de bodemstructuur in grote mate. Dit is niet altijd wenselijk en dit was voor ons een extra aanleiding om een machine te ontwikkelen die drinkwaterslib in één bewerkingsgang kon inbrengen onder de zode en toch voor een goede menging kon zorgen. Uitgangspunt hierbij was een zodebemester die uitgerust werd met “ganzenvoeten”. Deze doorsnijden de zode en tillen de zode licht op, zodat het slib vanuit injecteurs achter de ganzenvoeten in de zo ontstane ruimte kan lopen. Deze toepassingswijze bleek in de praktijk goed te werken. Wel is het nodig om op percelen die sterk doorworteld zijn, extra scherpe messen in te zetten die de zode goed kunnen doorsnijden. Metingen aan de bodemchemie lieten ook hier de gewenste verlagende effecten op de P-beschikbaarheid zien. Wel kan het ijzerslib minder goed met de bodem gemengd worden dan middels frezen. Een herhalingsbehandeling is daarom wellicht aan te raden. Dit aspect hebben wij verder niet onderzocht.

Aanbod van geschikte slibben inzichtelijk gemaakt

Niet elk drinkwaterslib is geschikt voor deze toepassing. De belangrijkste factoren die bepalen of slib van een bepaalde productielocatie geschikt is, zijn:

- de verhouding tussen ijzer plus aluminium, en fosfaat. Deze verhouding moet hoger zijn dan 0.1 om het mogelijk te maken de streefwaarde in het veld te bereiken.
- het gehalte aan andere zware metalen. Deze dienen dermate laag te zijn dat na het mengen van het slib met de bodem achtergrondwaarden van concentraties van deze zware metalen niet wordt verhoogd.

- een drogestofgehalte tussen 8 en 20% om vloeibare toepassing mogelijk te maken.

Juridische kant van de zaak

Bij de voorbereiding van de veldexperimenten bleek dat de bevoegde gezagen zich nog niet goed raad weten met deze innovatieve toepassing van ijzerrijk drinkwaterslib. Zij weten niet goed hoe deze stof moet worden beoordeeld en welke wettelijke kaders van toepassing zijn?

Ons onderzoek poogde ook op dit aspect meer duidelijkheid te geven. Ijzerrijk drinkwaterslib heeft de status van bijproduct. Voor het toedienen ervan als fosfaatbindingsproduct aan bodems van natuurgebieden gelden de Wet Natuurbescherming en de zorgplicht bodem. Dit laatste wil zeggen dat het gebruik geen bedreiging vormt voor de bodem. Het bevoegd gezag voor deze afweging is de gemeente of het waterschap. Ook de beheerder van het natuurgebied moet uiteraard betrokken worden en eventueel vergunning verlenen voor het toepassen van drinkwaterslib in een natuurgebied.

Ons onderzoek heeft aangetoond dat de toepassing van drinkwaterslib geen nadelige effecten heeft op de bodem. Door bij de selectie van geschikte drinkwaterslibben de concentraties aan zware metalen als één van de selectiecriteria mee te nemen, wordt voorkomen dat de natuurlijke achtergrondwaarden voor deze metalen worden overschreden. Daarnaast bindt het ijzer in het drinkwaterslib, behalve fosfaat, ook in de bodem aanwezige metalen, en verlaagt zo de beschikbare concentratie ervan.

Ook economische interessante maatregel

Afgraven is het meest effectief om P-rijke gronden te verwijderen. Aan deze maatregel zijn echter hoge kosten verbonden. Op P-rijke percelen waar afgraven te duur of onwenselijk is, en natuurontwikkeling middels uitmijnen te lang zou gaan duren, kan de toediening van drinkwaterslib een betaalbaar alternatief zijn.

De kosten van deze toepassing zijn sterk afhankelijk van de keuze van het slib (ijzerslib of ijzerkalkslib), al dan niet gebruik van een tussenopslag en de noodzaak van zode verwijdering. In de meeste gevallen zal levering via een opslag noodzakelijk zijn om de benodigde hoeveelheid en gewenste specificatie te kunnen leveren.

Voor de toepassing van ijzerkalkslib, waar momenteel (anders dan voor ijzerslib), nog geen goede alternatieve afzetmarkt voor is, is ook vanuit economisch perspectief interessant. De kosten van deze maatregel (zonder zode verwijdering) zijn op zandgrond lager dan de kosten van afgraven en van dezelfde orde grootte als uitmijnen.

Beslissing ontwikkeld

Zoals hierboven al is beschreven, is het toedienen van drinkwaterslib slechts één van de potentiële maatregelen die een natuurbeheerder tot beschikking heeft om op P-rijke gronden natuur te ontwikkelen. Welke maatregel de beste keus is, zal van geval tot geval verschillen en is afhankelijk van verschillende factoren. In ons project hebben we middels een overzichtelijk stappenplan deze keuzes op een rij gezet en geven we advies wat te doen in welke situatie.

Inhoud

1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding en achtergrond	7
1.2	Doel	7
1.3	Samenwerkingsverband	8
1.4	Leeswijzer	8
2	Onderzoek naar (meerjarige) effecten van drinkwaterslib op verschillende bodemtypen- Deel 1. Voortzetting pilot	9
2.1	Doel en onderzoeksvragen	9
2.2	Aanpak	9
2.3	Resultaten	13
2.4	Samenvatting	23
3	Onderzoek naar (meerjarige) effecten van drinkwaterslib op verschillende bodemtypen- Deel 2. Nieuwe proeflocaties	24
3.1	Doel en onderzoeksvragen	24
3.2	Selectie van proefgebieden	24
3.3	Resultaten	32
3.4	Samenvatting	39
4	Onderzoek naar techniek van opbrengen drinkwaterslib	42
4.1	Doel en onderzoeksvragen	42
4.2	Aanpak	42
4.3	Resultaten	45
4.4	Samenvatting	48
5	Effecten op bodemorganismen	49
5.1	Introductie	49
5.2	Achtergrondinformatie springstaarten	49
5.3	Methode	50
5.4	Resultaten	51
5.5	Discussie	62
6	Juridische aspecten toepassing	65
6.1	Aanleiding	65
6.2	Wettelijke kaders	65
6.3	Conclusies	67
7	Aanbod en selectie geschikt slib	68
7.1	Selectie geschikt slib	68
7.2	Selectiecriteria samenstelling	68
7.3	Aanbod geschikte slibben	68
7.4	Selectie geschikte slibben	69

7.5	Conclusies	70
8	Kosten en logistiek toepassing drinkwaterslib	71
8.1	Leveringsketen	71
8.2	Tussenopslag	72
8.3	Kosten	72
8.4	Vergelijking kosten alternatieven	73
8.5	Conclusie	74
9	Beantwoording onderzoeksvragen en stappenplan	75
9.1	Beantwoording onderzoeksvragen	75
9.2	Stappenplan toepassing drinkwaterslib	77
9.3	Aanbevelingen	82
10	Literatuurlijst	83
11	Bijlagen	85

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en achtergrond

Fosfaat(P)-rijke bodems zijn een belemmering voor de ontwikkeling van waardevolle natuur. Dit geldt niet alleen voor bestaande natuurgebieden, maar ook voor landbouwgronden die een natuurbestemming krijgen. Het afgraven van deze P-rijke grond (ontgronden) is niet alleen een dure maatregel, maar is soms ook niet mogelijk vanwege aanwezige cultuurhistorische en/of archeologische waarden, of vanwege negatieve gevolgen voor de lokale waterhuishouding. Uit onderzoek in Nederland (Koopmans et al., 2010), maar ook uit buitenlandse toepassingen (o.a. Agyin-Birikorang et al., 2013), blijkt het mengen van drinkwaterslib met deze P-rijke bodems een effectieve maatregel om P aan de bodem te binden en zo de P-beschikbaarheid voor planten te verkleinen.

Dit P-bindend vermogen van ijzeroxides werd al begin jaren tachtig onderkend (Borggaard, 1983) en de totale hoeveelheid P die aan de bodem kan worden gebonden is onder andere gerelateerd aan de hoeveelheid amorf ijzer (Fe_{ox}) en aluminium (Al_{ox}) in de bodem (Freese et al., 1992). De effectiviteit en stabiliteit van P-binding door de bodem is afhankelijk van de bodem-pH, de ionensamenstelling van het bodemvocht, de aanwezigheid van organisch materiaal (Weng, 2012), de aanwezigheid van andere elementen die P binden (zoals Ca, en Al), en de redoxconditie van de bodem. Data over de stabiliteit van deze P-binding in bodems zijn schaars, maar laboratorium experimenten toonden aan dat zelfs na 139 dagen inundatie, wat leidde tot reducerende omstandigheden in de bodem, slechts 1% van gebonden P vrijkwam (Sherwood & Qualis, 2001). De P-binding door de bodem kan op lange termijn stabiel zijn (Makris et al., 2005), maar gezien het grote aantal factoren dat van invloed is op deze binding, is meer onderzoek naar dit onderwerp gewenst.

Drinkwaterslib ontstaat op locaties waar grondwater wordt gezuiverd tot drinkwater. Afhankelijk van de zuiveringsprocessen bestaat het gevormde drinkwaterslib uit vrijwel volledig ijzerslib of uit kalkslib, of een mengvorm van beide. De voorlopige resultaten van een eerste, kleinschalige veldproef op zand zijn veelbelovend (Dorland et al., 2016), maar maken ook duidelijk dat meer onderzoek nodig is naar de effecten van verschillende typen drinkwaterslib op uiteenlopende bodemtypen in Nederland en naar de meest geschikte wijze van toepassing.

1.2 Doel

Het doel van dit TKI-project is tweeledig:

- 1) Het opbouwen van (meerjarige) ervaring met de toepassing van drinkwaterslib van verschillende samenstellingen (ijzerslib of ijzerkalkslib) op een aantal verschillende bodemtypen en vochtcondities (gradiënt van droog naar nat) in Nederland om zo P te immobiliseren.
- 2) Het ontwikkelen van een machine (inclusief formuleren van specificaties) die met minimale bodemdruk, goede menging en constante dosering drinkwaterslib kan opbrengen ongeacht de consistentie van het slib en bodemtype.

Deze doelen zijn vertaald naar twee verschillende onderzoekslijnen:

Onderzoekslijn 1: Onderzoek naar (meerjarige) effecten van drinkwaterslib op verschillende bodemtypen;

Onderzoekslijn 2: Onderzoek naar techniek van opbrengen drinkwaterslib.

1.3 Samenwerkingsverband

Het onderzoeksconsortium bestaat uit een groot aantal organisaties die tezamen een breed spectrum beslaan: drinkwaterbedrijven, marketing van reststoffen, terreinbeheerders, kennisinstituten, provinciale overheden en MKB (Tabel 1-1).

TABEL 1-1. OVERZICHT VAN DEELNEMENDE PARTNERS

Partner	Rol in project
KWR	Consortiumpartner/projectleider/penvoerder
Brabant Water	Consortiumpartner
Vitens	Consortiumpartner
Waterbedrijf Groningen	Consortiumpartner
AquaMinerals (voorheen Reststoffenunie)	Consortiumpartner
Loonbedrijf Groot Zevert	Consortiumpartner
Natuurmonumenten	Consortiumpartner
Stichting Het Drentse Landschap	Consortiumpartner
Stichting Het Utrechts Landschap	Consortiumpartner
Stichting Het Noordbrabants Landschap	Consortiumpartner
Stichting Het Groninger Landschap	Project-partner
Wolterink Technisch Centrum B.V.	Project-partner
Wageningen Environmental Research (voorheen Alterra)	Project-partner
Onderzoekscentrum B-WARE	Project-partner

1.4 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de resultaten van vier jaar onderzoek naar de toepassing van ijzerrijk drinkwaterslib op fosfaatrijke gronden. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op het pilotonderzoek dat in 2013 in één terrein is gestart (onderdeel van onderzoekslijn 1). Dit experiment, dat oorspronkelijk was opgezet vanuit het Bedrijfstakonderzoek van KWR, heeft in 2015 binnen dit TKI-project een vervolg gekregen in de vorm van een aanvullende monitoringsronde. Hoofdstuk 3 presenteert het onderzoek dat, gebaseerd op de bevindingen uit de pilot, in een drietal nieuwe proeflocaties is uitgevoerd (onderzoekslijn 1). In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de technologische kant van dit onderzoek: de ontwikkeling en toepassing van een speciaal ontwikkelde machine voor de toediening van het drinkwaterslib (onderzoekslijn 2). Hoofdstuk 5 gaat in op een apart onderdeel van ons onderzoek: de mogelijke effecten van ijzerslib op het bodemleven, toegespitst op springstaarten. Behalve deze experimentele onderzoekskanten, kent de toepassing van drinkwaterslib ook een juridische en logistieke kant. In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de wetgeving die op het gebruik van drinkwaterslib in natuurgebieden van toepassing is. Hoofdstuk 7 geeft de resultaten van onze analyse van het aanbod van potentieel geschikte drinkwaterslibben. In hoofdstuk 8 wordt een indicatie gegeven van de kosten die met deze toepassing gemoeid zijn. Tenslotte worden in hoofdstuk 9 alle bevindingen samengevat en wordt een stappenplan gepresenteerd voor de afwegingen bij de toepassing van drinkwaterslib.

2 Onderzoek naar (meerjarige) effecten van drinkwaterslib op verschillende bodemtypen- Deel 1. Voortzetting pilot

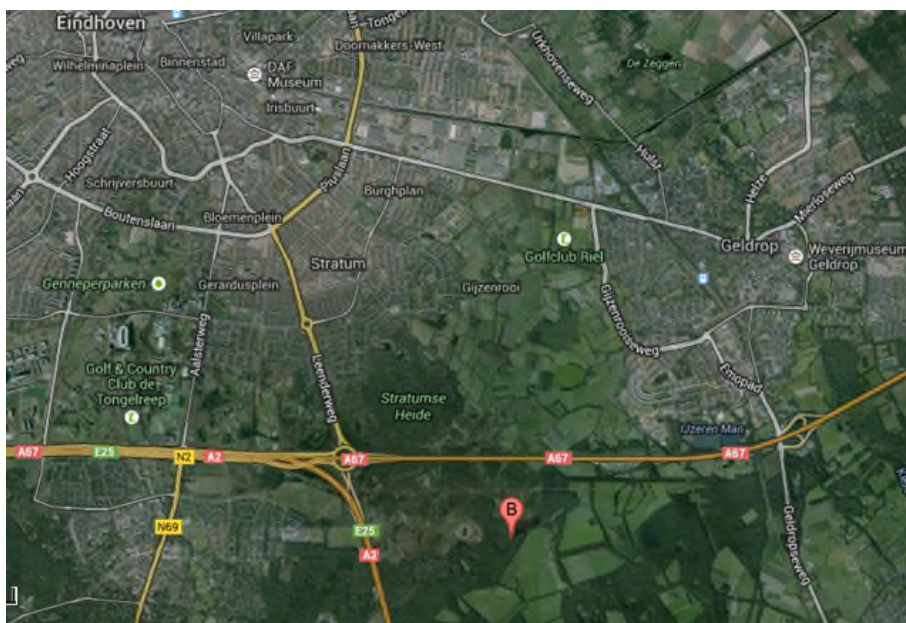
2.1 Doel en onderzoeksvragen

Kennis van de duur van effecten van drinkwaterslib op bodemchemie en vegetatie zijn schaars. Het doel van dit onderzoek is om meerjarige veldresultaten te verkrijgen van de toepassing van ijzerslib door de veldproef, die in 2013 in het kader van Bedrijfstakonderzoek van KWR is gestart, met één jaar monitoring te verlengen. De onderzoeksvragen die hier centraal staan, zijn:

- Leidt toepassing van ijzerslib tot een meerjarige verlaging van de fosfaatbeschikbaarheid op zandgrond?
- Heeft de toepassing van ijzerslib een positief effect op de vegetatie ontwikkeling, zoals een toename van soorten die kenmerkend zijn voor schrale graslanden?

2.2 Aanpak

In 2013 is door KWR een veldproef ingericht in het gebied Groote Heide nabij Heeze (Figuur 2-1). Dit 1.100 ha grote gebied is grotendeels in bezit van Brabant Water, Stichting het Noordbrabants Landschap en de gemeente Heeze-Leende. Tot 1900 bestond het gebied uit open heidelandschap met (zeer) grote en kleine vennen. Het was destijds onderdeel van een 5.000 ha groot heidegebied dat zich uitstreckte van Eindhoven tot aan de Belgische grens. Het perceel waar dit experiment is ingericht bleek uit vooronderzoek de hoogste P-beschikbaarheid te hebben (zie Dorland et al. (2015) voor een uitgebreidere beschrijving van deze selectie). Vervolgens is op basis van de chemische samenstelling van de bodem en ijzerslib van winning Vessem (PSI = 0.014, Fe-gehalte = 40%, drogestofgehalte van 23 %) de hoeveelheid op te brengen dosis slib berekend. Middels een incubatieproef werd aangetoond dat deze berekende dosis daadwerkelijk leidde tot de gewenste verlaging van het gehalte aan beschikbaar P.

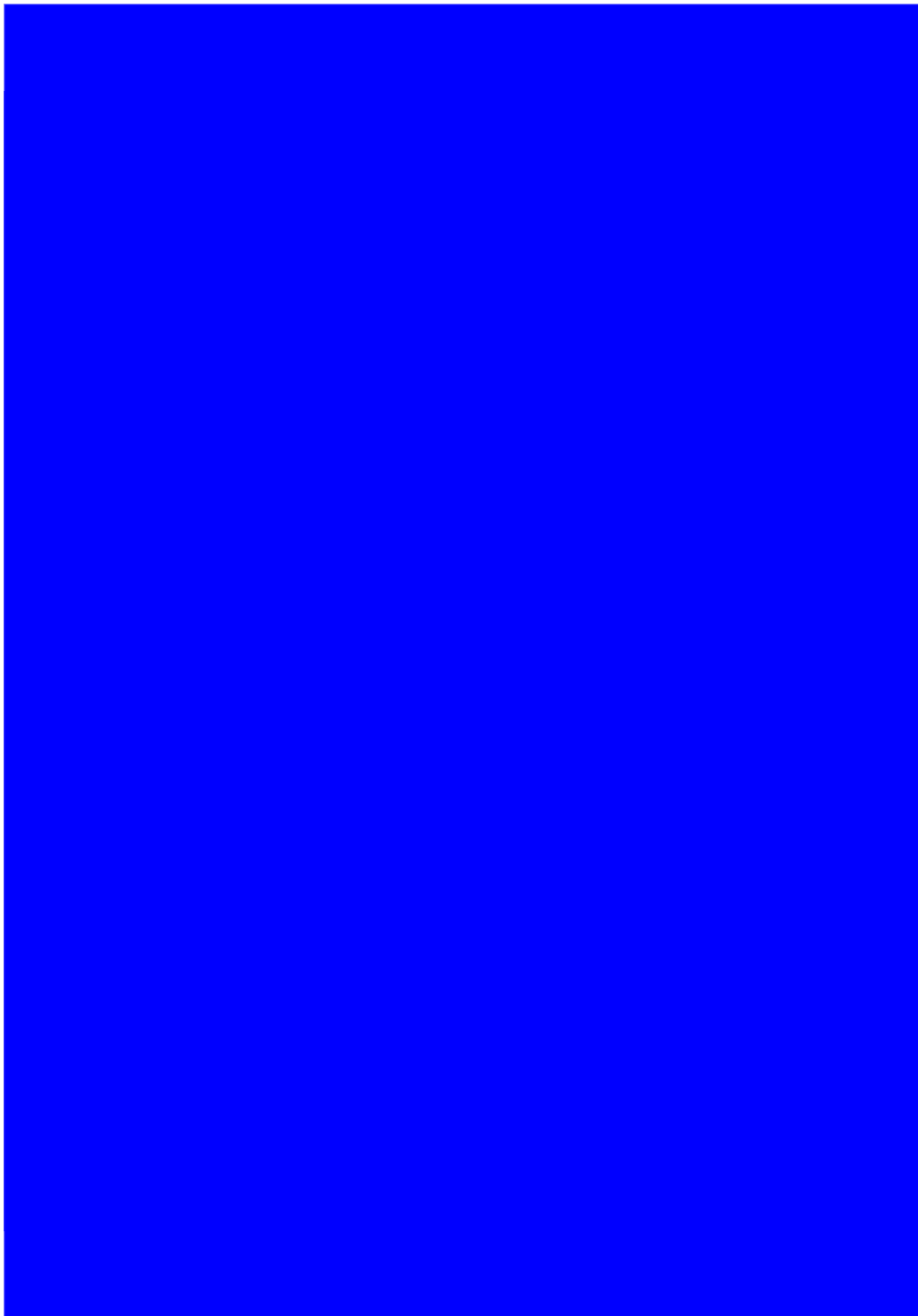


FIGUUR 2-1. LIGGING GROOTE HEIDE (B) TEN OPZICHTE VAN EINDHOVEN EN SNELWEGEN A2 EN A57.

Ijzerslib is op 25 juni 2013 met een mestinjecteur toegediend in proefvlakken van 6 x 6 m waarvan de zode (de bovenste ca. 5 cm van de bodem) wel of niet was verwijderd (Tabel 2-1). Na toediening is het ijzerslib middels frezen (freesdiepte van 20 cm) gemengd met de bodem. Om de effecten van zode verwijdering en frezen zelf te onderzoeken, zijn deze behandelingen ook zonder combinatie met ijzerslib uitgevoerd. Elke behandeling is in twee- of drievoud uitgevoerd. Figuur 2-2 geeft een schematisch overzicht van alle behandelingen. Een foto impressie van de toepassing en inrichting van de veldproef is weergegeven in Figuur 2-3.

TABEL 2-1. BEHANDELINGEN IN VELDPROEF GROOTE HEIDE.

Behandeling	Code	Zode verwijderd	Ijzerslib	Dikte ijzersliblaag (cm)	Gefreesd	Aantal replica's
Ijzerslib	FFe	Nee	Ja	0.64	Ja	3
Ijzerslib na zode verwijdering	ZFFe	Ja	Ja	0.46	Ja	3
Zode verwijdering	Z	Ja	Nee	0	Nee	2
Zode verwijdering en frezen	ZF	Ja	Nee	0	Ja	3
Frezen	F	Nee	Nee	0	Ja	3
Niets doen (controle)	C	Nee	Nee	0	Nee	2



FIGUUR 2-2. OVERZICHT VAN BEHANDELINGEN. ELKE RIJ IS CA. 8M BREED. PROEFVLAKKEN ZIJN 6 X 6 M MET CA 1.5 M TUSSENRUIMTE.



A. GROOTE HEIDE VOORAFGAAND AAN
BEHANDELINGEN



B. VERWIJDERDE ZODEN VOORSTE DEEL



C. INJECTEREN IJZERSLIB



D. INJECTEREN IJZERSLIB NA ZODE VERWIJDERING



E. FREZEN VAN VLAK ZONDER IJZERSLIB



F. FREZEN VAN VLAK MET IJZERSLIB



G. BEELD NA FREZEN IN VLAK MET ZODE



H. OVERZICHT VAN INGERICHTE PROEFVLAKKEN

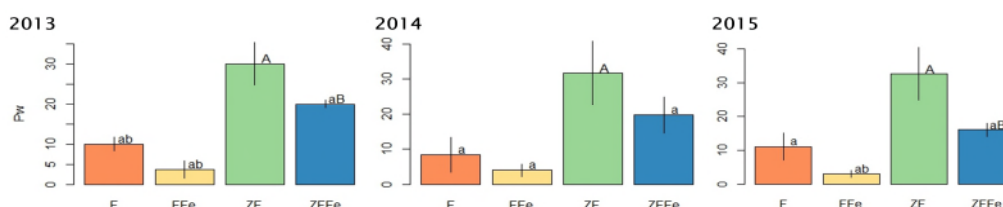
FIGUUR 2-3. OVERZICHT VAN BEHANDELINGEN IN GROOTE HEIDE.

2.3 Resultaten

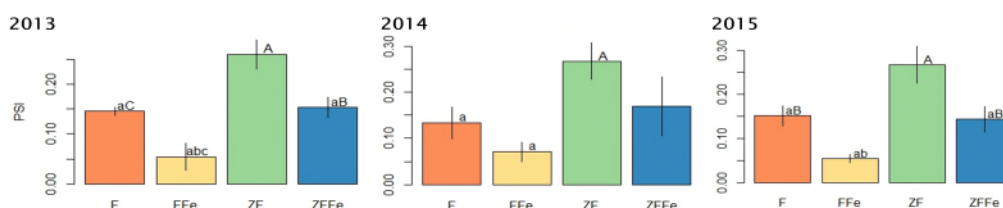
2.3.1 Bodemchemie

2.3.1.1 Effect ijzerslibbehandeling op Pw en PSI

De toediening van ijzerslib heeft geleid tot een duidelijke verlaging van zowel de gemiddelde Pw-waarde als van de PSI (Figuur 2-4 en Figuur 2-5). Deze afname was het grootst in de proefvlakken waar de zode was verwijderd. Echter, in deze proefvlakken was de afname in zowel Pw als PSI onvoldoende om onder de grenswaarden voor deze variabelen uit te komen. Deze grenswaarden geven de maximale waarden aan waarbij de voedselrijkdom (P-beschikbaarheid in dit geval) nog voldoende laag is om de ontwikkeling van schrale natuur mogelijk te maken. In de proefvlakken met zode waren zowel de Pw als de PSI op T0 al aanzienlijk lager dan in de proefvlakken zonder zode, en de toediening van ijzerslib verlaagde deze waarden tot ruim beneden de grenswaarden. Op dit wat onverwachte verschil wordt in de volgende paragraaf ingegaan.



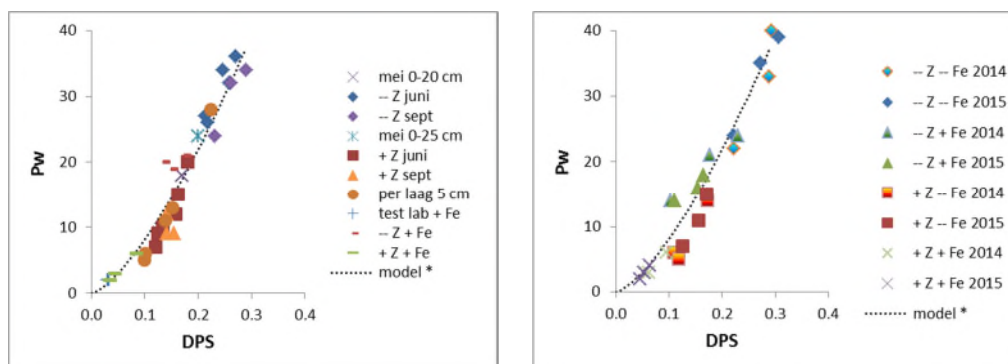
FIGUUR 2-4. GEMIDDELDE PW-WAARDEN (+S.E.) OP T0 (VÓÓR DE BEHANDELING OP 25 JUNI 2013) EN RUIM 1 JAAR LATER (T2, SEP 2014). STREEFWAARDE VOOR EEN GUNSTIGE UITGANGSSITUATIE VOOR NATUURONTWIKKELING IS EEN PW-WAARDE ≤ 10 MG P_2O_5 /L GROND (CHARDON, 2009). DE BEHANDELINGEN MET GROTE EN KLEINE LETTERS ZIJN SIGNIFICANT VERSCHILLENDE ($P < 0.05$ MET MULTIPLE COMPARISON TEST (TURKEY'S HSD)).



FIGUUR 2-5. GEMIDDELDE PSI-WAARDEN (+S.E.) OP T0 (VOOR DE BEHANDELING OP 25 JUNI 2013) EN RUIM 1 JAAR LATER (T2, SEP 2014). STREEFWAARDE VOOR EEN GUNSTIGE UITGANGSSITUATIE VOOR NATUURONTWIKKELING IS EEN PSI-WAARDE ≤ 0.1 (CHARDON, 2009). DE BEHANDELINGEN MET GROTE EN KLEINE LETTERS ZIJN SIGNIFICANT VERSCHILLENDE ($P < 0.05$ MET MULTIPLE COMPARISON TEST (TURKEY'S HSD)).

De relatie tussen de gemeten Pw-waarden en PSI waren in 2013, 2014 en 2015 conform de relatie die uit de literatuur bekend is voor deze parameters (Chardon, 2004; Figuur 2-7). Dit

betekent dat de gemeten waarden, ongeacht de behandeling die de proefvlakken hebben ondergaan, betrouwbaar zijn.

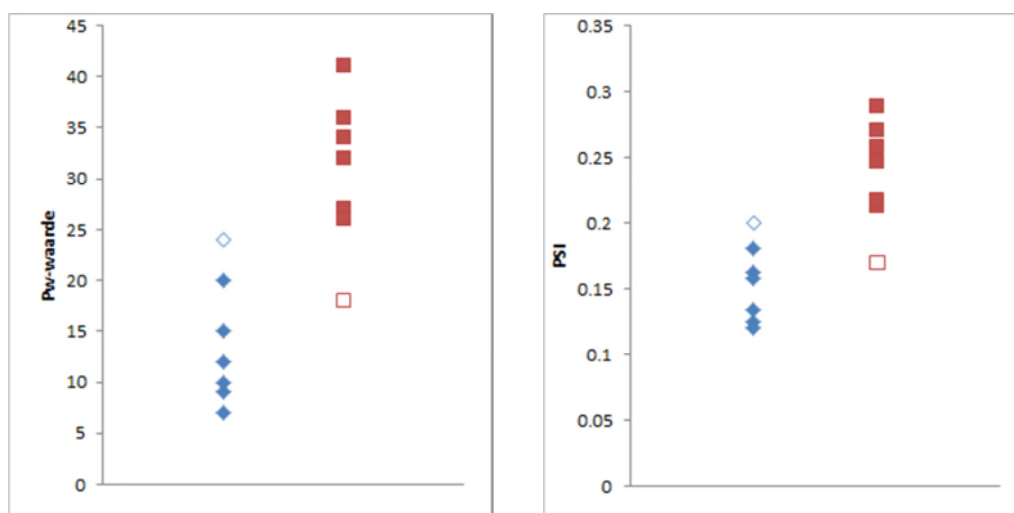


FIGUUR 2-6. VERBAND TUSSEN PW EN PSI (DPS GENOEMD IN DEZE FIGUUR; $= (P/[AL+FE]) - OX$). LINKS VOOR ALLE ANALYSES DIE IN 2013 WERDEN UITGEVOERD, EN RECHTS AAN MONSTERS DIE WERDEN GENOMEN IN 2014 EN 2015. IN BEIDE DATASETS IS DEZELFDE CURVE GETEKEND (CHARDON, 1994.)

2.3.1.2 Bodemcondities op T0 in meer detail

In de voorgaande paragraaf is beschreven dat de verlaging van de P-beschikbaarheid in de proefvlakken waar de zode was verwijderd, minder was dan verwacht op basis van de berekende hoeveelheid op te brengen ijzerslib. Doel was immers om ook hier de P-beschikbaarheid tot onder de grenswaarden te verlagen.

Een belangrijke reden voor het tegenvallende resultaat is het verschil in P-beschikbaarheid bij de start van deze veldproef, na het aanleggen van de proefvlakken, maar vlak voor het opbrengen van ijzerslib (T0, juni 2013) en op het moment van voorselectie van dit perceel in mei 2013. Bij de voorselectie waren de Pw- en PSI-waarden van de verzamelde mengmonsters van de bodemlaag 5-25 cm (zonder zode dus) lager dan de gemiddelde waarden van de proefvlakken op T0 in het deel waar de zode was verwijderd (Figuur 2-7). Voor de situatie met intacte zode (0-25 cm) werd het omgekeerde gemeten, daar waren de Pw- en PSI-waarden op T0 juist lager dan in mei. Aangezien de P-beschikbaarheid op het moment van de voorselectie is gebruikt om de hoeveelheid toe te dienen ijzerslib te berekenen, heeft dit geleid tot een onderschatting van de benodigde hoeveelheid ijzerslib voor de proefvlakken zonder zode. Voor de proefvlakken met zode heeft dit daarentegen geresulteerd in een overschatting van de benodigde hoeveelheid ijzerslib. Het is hierdoor dus niet meer mogelijk om de effectiviteit van ijzerbehandeling op bodems met en bodems zonder zode met elkaar te vergelijken.



FIGUUR 2-7. PW (LINKS) EN PSI (RECHTS) VOOR DE SITUATIE MET ZODE (BLAUW, 0-25 CM) EN ZONDER ZODE (ROOD, 5-25 CM). DE GEMETEN WAARDEN OP T0 BETREFFEN DE GESLOTEN SYMBOLEN. DE OPEN SYMBOLEN GEVEN DE WAARDEN WEER DIE TIJDENS DE VOORSELECTIE ZIJN GEMETEN ALS GEMIDDELDE VOOR HET GEHELE PERCEEL.

Uit Figuur 2-7 blijkt ook een ander belangrijk en onverwacht verschil tussen de metingen van de voorselectie en T0. De P-beschikbaarheid in de mengmonsters die bij de voorselectie werden verzameld was hoger in monsters uit de laag 0-25 cm (met zode) dan in die uit de laag 5-25 cm (zonder zode). Op T0, toen de zode dus daadwerkelijk verwijderd was in dat deel van de proef, werd het tegenovergestelde gemeten: hogere P-beschikbaarheid in de vlakken zonder zode waar monsters uit de laag 0-20 cm werden genomen, dan bij de voorselectie in de monsters voor 0-25 cm was gemeten.

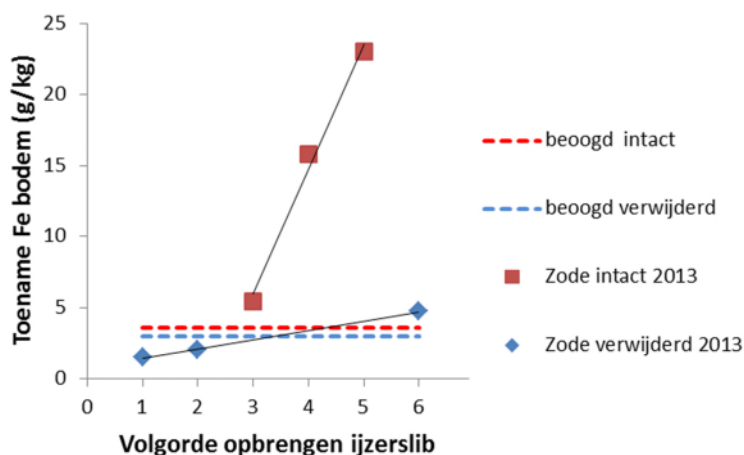
Om dit verschil nader te onderzoeken is op tijdstip T1 (sep. 2013) op een ongestoorde plek buiten de proefvlakken een monster genomen van elke 5 cm tot aan een diepte van 25 cm. Ook van deze monsters werden Pw en PSI bepaald (uitkomsten staan in Tabel 2-2). Uit deze metingen blijkt dat de bovenste bodemlaag (0-5 cm) de hoogste P-beschikbaarheid heeft. De P-beschikbaarheid neemt af met toenemende diepte. Op basis van deze gegevens zou men verwachten dat de gemiddelde P-beschikbaarheid van de bodemlagen 0-25 cm (met zode dus) hoger is dan van de bodemlagen 5-25 cm (zonder zode): de situatie die wel tijdens de voorselectie werd gemeten, maar niet op T0 (Figuur 2-7). Dit kan dus niet de verklaring zijn voor de in Figuur 2-4 weergegeven verschillen. Een andere mogelijke verklaring kan zijn dat de percelen die het dichtst bij de weg liggen in het verleden het meest bemest zijn, waardoor ook de diepere bodemlagen P-rijk zijn. Het verwijderen van de zode in deze voorste delen, leidde daardoor niet tot voldoende afname van de P-beschikbaarheid.

TABEL 2-2. FOSFAATBESCHIKBAARHEID (PW) EN VERZADIGINGSINDEX (PSI) VAN BODEMLAGEN PER 5 CM, GEMETEN OP ÉÉN PLEK WAAR DE ZODE NIET VERWIJDERD WAS.

parameter	eenheid	Bodemlaag (cm)				
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-25
Pw	mg P ₂ O ₅ /L grond	28	13	11	5	6
PSI	mol/mol	0.22	0.15	0.14	0.10	0.10

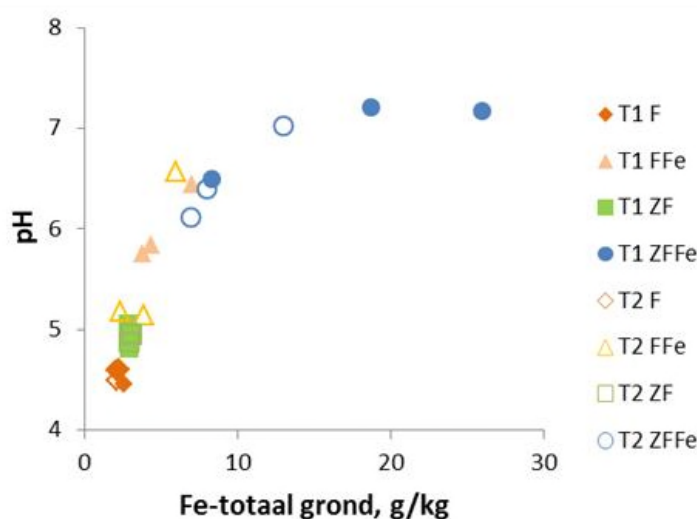
2.3.1.3 Toediening ijzerslib in de tijd

Een ander onverwacht knelpunt in de toediening van ijzerslib was het feit dat de dosis ijzerslib gedurende het uitrijden niet constant is gebleken. Elk van de drie replica's per behandeling had dezelfde dosis ijzerslib moeten krijgen, maar dit bleek niet het geval. Door te bepalen wat de toename in het gehalte aan totaal Fe (gemeten via een destructie met aqua regia) was als gevolg van de ijzerslibbehandeling, blijkt dat deze toename groter was naarmate een plot later tijdens het uitrijden was behandeld, en dat dit effect veel sterker optrad bij de proefvlakken waar de zode niet was verwijderd (Figuur 2-8). Met name bij proefvlakken 4 en 5 was de toename in totaal-Fe vele malen groter dan beoogd.



FIGUUR 2-8. TOENAME VAN TOTAAL-FE T.O.V. GEMIDDELDE VAN 3 ONBEHANDELDE PROEFVLAKKEN, WEERGEGEVEN IN DE VOLGORDE VAN OPBRENGEN VAN HET IJZERSLIB. MET HORIZONTALE LIJNEN IS AANGEGEVEN WAT DE BEOOGDE TOENAME WAS VAN FE.

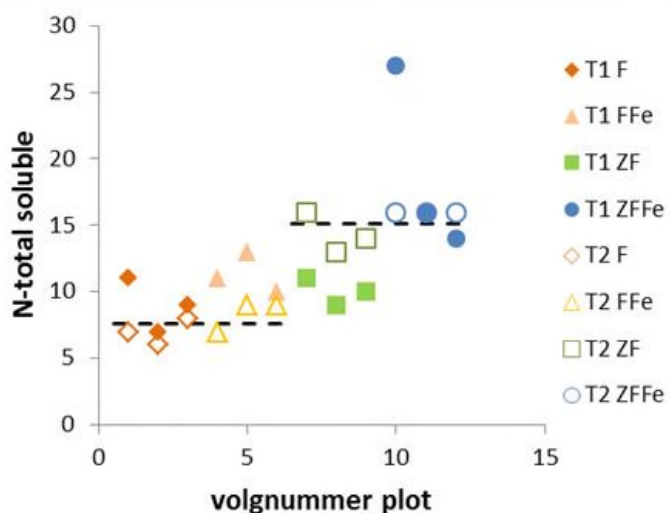
De – onbedoeld – sterk uiteenlopende hoeveelheden ijzerslib die zijn opgebracht hebben behalve tot grote verschillen in gehalte aan Fe, ook geleid tot uiteenlopende waarden van de pH van de bodem (Figuur 2-9). De toename van de pH kan worden toegeschreven aan het feit dat het in deze proef gebruikte ijzerslib, afkomstig van de productielocatie Vessem, een vrij grote hoeveelheid Ca bevat. In eerder onderzoek werd vastgesteld dat dit slib (omgerekend) 20 % CaCO_3 bevat, dat afkomstig is van het filterbed dat op deze locatie bestaat uit marmerkorrels (Koopmans et al., 2010).



FIGUUR 2-9. VERBAND TUSSEN DE PH EN HET TOTAALGEHALTE AAN FE IN DE BODEM.

2.3.1.4 Stikstof

In een extract met 0,01M CaCl_2 werd het totaalgehalte aan (organisch + anorganisch) N gemeten. De gehalten hieraan is voor de 12 proefvlakken voor T1 en T2 weergegeven in Figuur 2-10. Hieruit blijkt dat het gemiddelde gehalte aan N-ts hoger ligt in de proefvlakken met de nog aanwezige, maar gefreesde zode: de gemiddelden voor zowel wel als geen ijzerslib lagen hier op T2 (sept. 2014) op 15.3 mg N/kg, en in de proefvlakken waar de zode was verwijderd was dit 7.7 mg/kg. Het toedienen van ijzerslib had slechts een beperkt effect.

FIGUUR 2-10. GEHALTE AAN TOTAAL OPLOSBAAR N (N-TS), GEMETEN IN EEN EXTRACT MET 0,01M CaCl_2 .

2.3.1.5 Zware metalen

In Bijlage I voor T2 samengevat wat de gehalten waren van een aantal elementen, waaronder zware metalen, op de verschillende proefvlakken. De gehalten werden zowel gemeten in een extract met 0.01 M CaCl_2 , wat een maat geeft voor de gemakkelijk beschikbare fractie, als na

een aqua regia destructie (HNO_3 -HCL); dit geeft een maat voor de totaalgehalten. Voor alle gemiddelde waarden van de drie proefvlakken werd de verhouding berekend voor de gemiddelde gehalten van de +Fe-variant en de -Fe-variant. Een waarde > 1 betekent dan dat het toedienen van Fe-slib een gehalte verhoogt.

Na destructie was dit voor een aantal elementen het geval, namelijk voor Ca, Fe, Mn, Co, en V. Voor Co en V was dit echter niet significant bij de proefvlakken waar de zode was verwijderd, omdat het verschil tussen de gemiddelde waarden kleiner was dan de som van de standaardafwijkingen van de gemiddelden. Voor V was ook de variant met intacte zode niet significant.

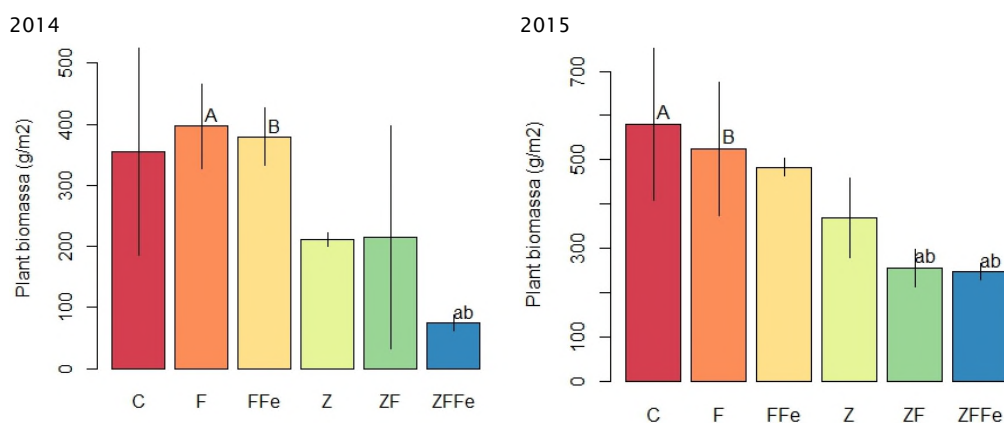
In het CaCl_2 -extract is de waarde vaak <1, wat betekent dat toedienen van ijzerslib leidde tot een verlaging van het direct beschikbaar gehalte, voor: Al, P, As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn. Significant was dit effect voor Al, As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, en Zn. Het gehalte aan direct beschikbaar S wordt significant verhoogd voor de variant met intacte zode.

2.3.2 Vegetatie

2.3.2.1 Biomassaproductie

Uit de metingen na het 2^e groeiseizoen, in 2014, bleek dat de toevoeging van ijzerslib een dalend (maar niet significant) effect had op de biomassaproductie in de gefreesde proefvlakken (FFe in vergelijking tot F) en een dalend (maar niet significant) effect in de proefvlakken waar de zode was verwijderd en gefreesd (ZFFe t.o.v. ZF) (Figuur 2-11 links). Na het 3^e groeiseizoen, in 2015, waren deze effecten van ijzerslib minder duidelijk (Figuur 2-11 rechts).

De biomassa werd lager door de zode verwijdering, zoals in Z in vergelijking tot C, ZF in vergelijking tot F, en ZFFe t.o.v. FFe. Dit verschil was echter alleen significant na het 2^e groeiseizoen in de met ijzerslib behandelde proefvlakken (ZFFe t.o.v. FFe in 2014). De effecten van zode verwijdering waren ook na het 3^e groeiseizoen in 2015 nog zichtbaar, zij het niet significant.



FIGUUR 2-11. BOVENGRONDSE PLANTENBIOMASSA (G DROOGGEWICHT /M²) AAN HET EIND VAN HET 2^e (SEPTEMBER 2014) EN 3^e GROEISEIZOEN (SEPTEMBER 2015). DE WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN (N = 2 VOOR 'C' EN 'Z', N=3 VOOR DE OVERIGE BEHANDELINGEN) EN STANDAARDDEVIATIES. ZIE FIGUUR 2-12 VOOR DE AFKORTINGEN VAN DE BEHANDELINGEN.

2.3.2.2 Nutriëntengehalte

Het nutriëntengehalte in de biomassa van de proefvlakken is op twee manieren onderzocht, namelijk voor de totale biomassa, en apart voor het gras Gestreepte witbol (*Holcus lanatus*), dat in alle proefvlakken voorkwam. Dit laatste werd gedaan om eventuele verschillen in nutriëntengehalte die worden veroorzaakt door verschillen in soortensamenstelling, uit te kunnen sluiten.

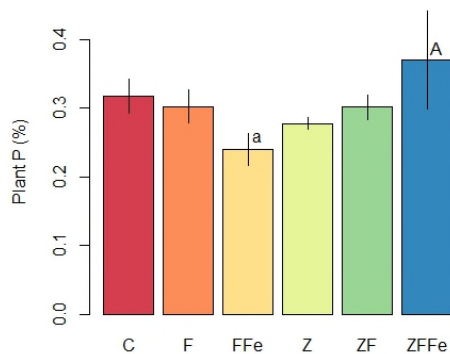
Na het 2^e groeiseizoen was het fosforgehalte van Gestreepte witbol verhoogd (hoewel niet significant) door de toevoeging van ijzerslib (FFe in vergelijking tot F) maar verlaagd in de proefvlakken waar de zode was verwijderd (ZFFe t.o.v. ZF) (Figuur 2-12a links). Na het 3^e groeiseizoen werd het fosforgehalte iets lager (hoewel niet significant) door ijzerslib ongeacht of de zode verwijderd was (Figuur 2-12a rechts).

De N:P ratio was verhoogd (hoewel niet significant) door de toevoeging van ijzerslib aan de proefvlakken (FFe in vergelijking tot F) (Figuur 2-12c). In de proefvlakken waar de zode was verwijderd, was de N:P ratio vrijwel hetzelfde in de proefvlakken met en zonder ijzerslib gift (ZFFe in vergelijking tot ZF) (Figuur 2-12c).

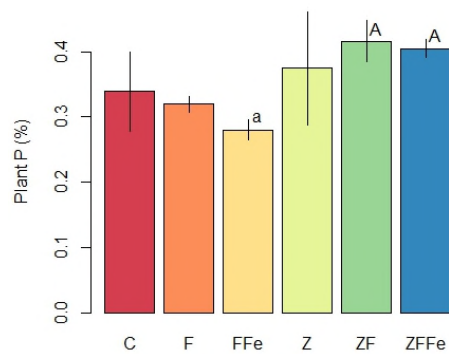
De trends in het nutriëntengehalte van de totale biomassa waren vergelijkbaar met die van Gestreepte witbol (Figuur 2-13 a-c).

a) Fosfor (%) in Gestreepte witbol

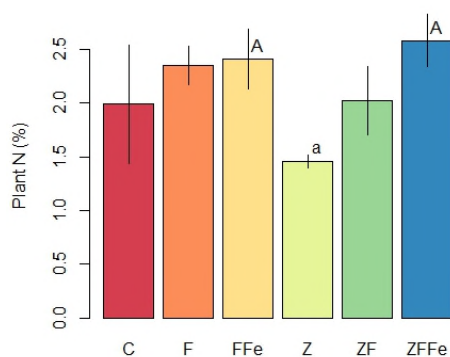
2014



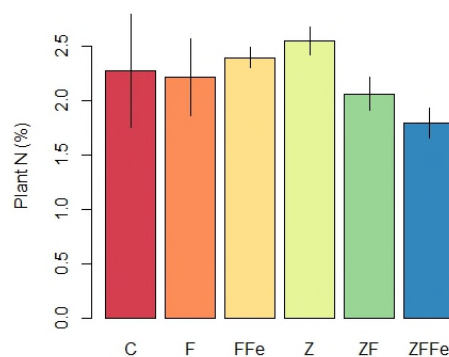
2015

**b) Stikstof (%) in Gestreepte witbol**

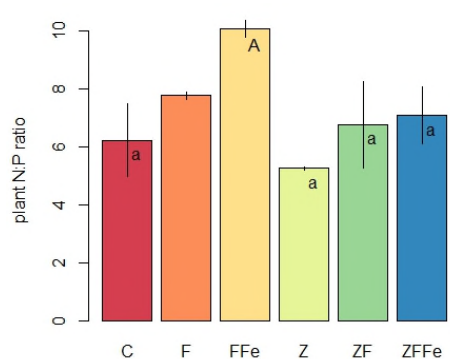
2014



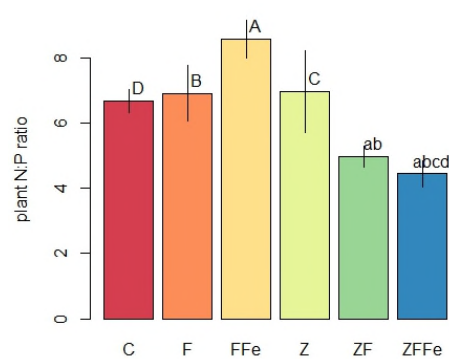
2015

**c) Stikstof : Fosfor ratio in Gestreepte witbol**

2014



2015



C: Controle

F: Frezen

FFe: Frezen + Ijzerslib

Z: Zode verwijderen

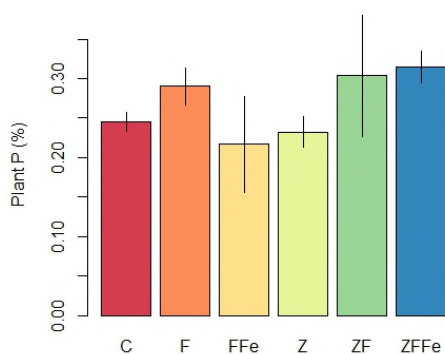
ZF: Zode verwijderen + Frezen

ZFFe: Zode verwijderen + Frezen + Ijzerslib

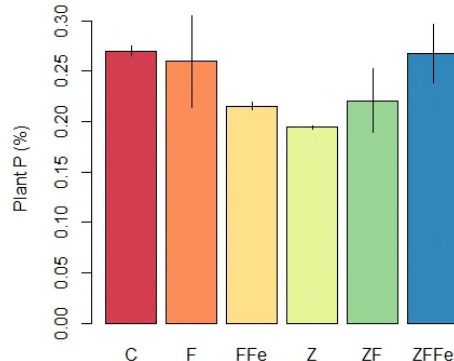
FIGUUR 2-12. CONCENTRATIES (%) VAN FOSFOR (A), STIKSTOF (B), EN DE STIKSTOF : FOSFOR RATIO IN G/G (C) IN BOVENGRONDSE BIOMASSA VAN VIJF GEZONDE INDIVIDUEN VAN GESTREEPTE WITBOL AAN HET EINDE VAN HET 2^e (SEPTEMBER 2014) EN 3^e GROEISEIZOEN (SEPTEMBER 2015). DE WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN (N = 2 VOOR C EN Z, N=3 VOOR DE REST VAN DE BEHANDELINGEN) EN STANDAARDDEVIATIES.

a) Fosfor (%) in de totale biomassa

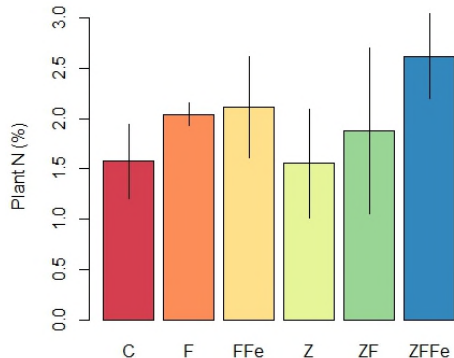
2014



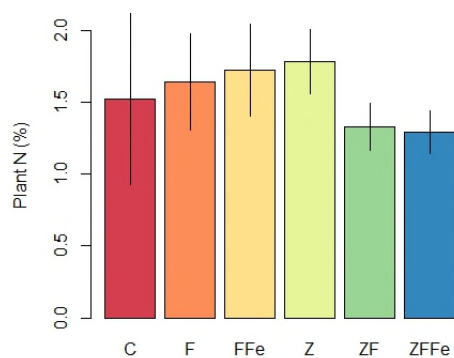
2015

**b) Stikstof (%) in de totale biomassa**

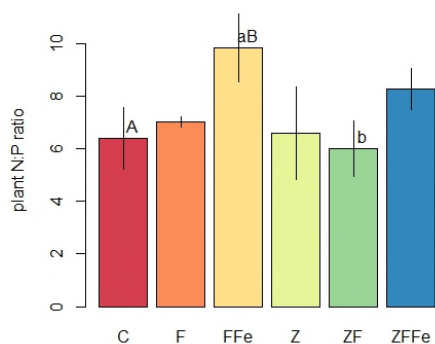
2014



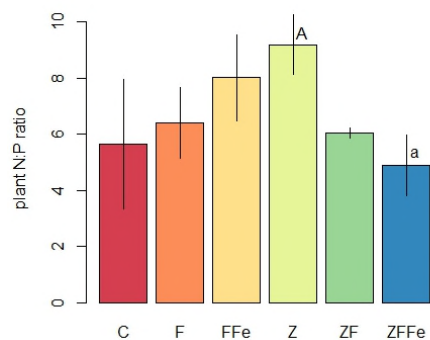
2015

**c) Stikstof : Fosfor ratio in de totale biomassa**

2014



2015

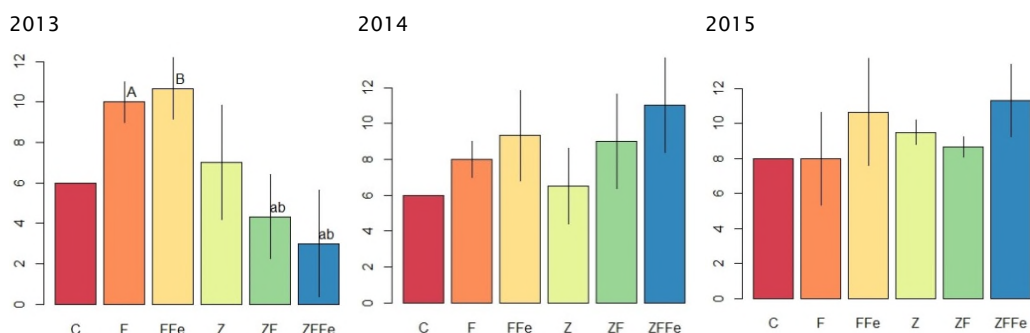


FIGUUR 2-13. CONCENTRATIES (%) VAN FOSFOR (A), STIKSTOF (B), EN DE STIKSTOF : FOSFOR RATIO IN G/G (C) IN BOVENGRONDSE BIOMASSA IN DE TOTALE BIOMASSA AAN HET EIND VAN HET 2^e (SEPTEMBER 2014) EN 3^e GROEISEIZOEN (SEPTEMBER 2015). DE WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN (N = 2 VOOR C EN Z, N=3 VOOR DE REST VAN DE BEHANDELINGEN) EN STANDAARDDEVIATIES. ZIE FIGUUR 2-12 VOOR DE AFKORTINGEN VAN DE BEHANDELINGEN.

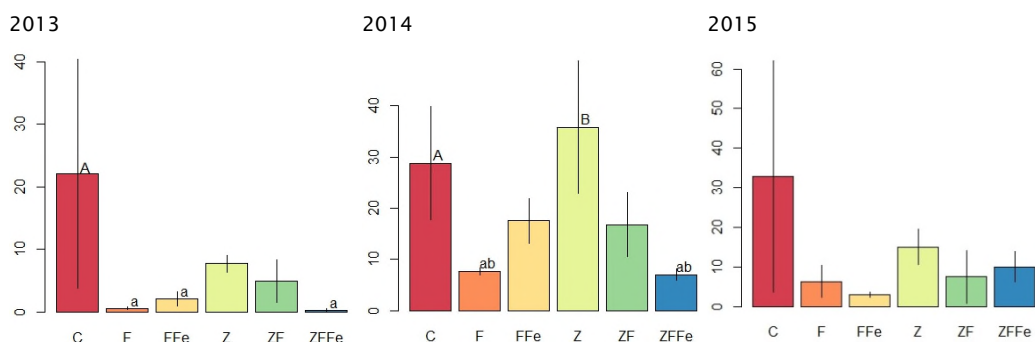
2.3.2.3 Plantensoorten

De toevoeging van ijzerslib leidde in de proefvlakken waar de zode niet verwijderd was binnen enkele maanden tot hogere aantallen plantensoorten (hoewel niet significant). Dit effect was ook na het 2^e en 3^e groeiseizoen nog waarneembaar (FFe in vergelijking tot F, Figuur 2-14). In de met ijzerslib behandelde proefvlakken waar de zode wel was verwijderd, was in het 2^e en 3^e groeiseizoen het aantal plantensoorten ook hoger (ZFFe t.o.v. ZF, Figuur 2-14).

Hoewel de gras:kruid ratio in vrijwel alle proefvlakken lager was dan in de controle proefvlakken, had de toevoeging van ijzerslib zelf geen duidelijk effect op deze ratio (Figuur 2-15). Opmerkelijk is de grote jaar tot jaar variatie van de gras:kruid ratio.



FIGUUR 2-14. AANTAL PLANTENSOORTEN (GRASSEN EN KRUIDEN) IN PROEFVLAKKEN VAN 2X2 M AAN HET EIND VAN HET 1^E (SEPTEMBER 2013), 2^E (SEPTEMBER 2014), EN 3^E GROEISEIZOEN (SEPTEMBER 2015). DE WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN (N = 2 VOOR 'C' EN 'Z', N=3 VOOR DE REST VAN DE BEHANDELINGEN) EN STANDAARDDEVIATIES. ZIE FIGUUR 2-12 VOOR DE AFKORTINGEN VAN DE BEHANDELINGEN.



FIGUUR 2-15. GRAS : KRUID RATIO AAN HET EIND VAN HET 1^E (SEPTEMBER 2013), 2^E (SEPTEMBER 2014), EN 3^E GROEISEIZOEN (SEPTEMBER 2015). DE RATIO WAS BEREKEND OP BASIS VAN DE BEDEKKINGSPERCENTAGES VAN BEIDE SOORTGROEPEN. DE WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN (N = 2 VOOR 'C' EN 'Z', N=3 VOOR DE REST VAN DE BEHANDELINGEN) EN STANDAARDDEVIATIES. ZIE FIGUUR 2-12 VOOR DE AFKORTINGEN VAN DE BEHANDELINGEN.

2.4 Samenvatting

In 2013 bleek de toediening van het ijzerslib bij de gevoerde methode een aantal problemen met zich mee te brengen. Zo bleek het Fe-gehalte van de bodem (bij gelijke behandelingen) meer gestegen te zijn in de proefvlakken die later in de tijd waren behandeld. Het is niet mogelijk gebleken te achterhalen wat hiervan de oorzaak was. Wellicht dat het ijzerslib in de tank van de mestinjecteur in de tijd is uitgezakt, wat tot een hogere concentratie Fe per liter heeft geleid. Goede menging van drinkwaterslib vooraf en tijdens het toedienen is derhalve van belang.

Ook was de uiteindelijk toegediende dosis niet in overeenstemming met de vooraf berekende dosis. Zo steeg het Fe-gehalte van de bodem meer dan berekend in de proefvlakken met zode, maar is juist te weinig Fe ingebracht in de proefvlakken waar de zode verwijderd was.

Eén van de onderzoeksvragen bij de start van deze pilot in 2013 was of voorafgaand aan het toedienen van drinkwaterslib, de zode verwijderd zou moeten worden. Aangezien het doel van deze maatregelen is om goede kiemings- en vestigingsomstandigheden te creëren voor doelsoorten, was de aanname dat het verwijderen van de zode waarschijnlijk een beter resultaat zou opleveren. Een nadeel hiervan zijn echter de kosten die met het verwijderen van deze zode gemoeid zijn. Ondanks bovengenoemde problemen met het toedienen van het ijzerslib, liet dit experiment zien dat in de proefvlakken waar de zode niet was verwijderd, na slechts drie maanden de gehele bodem alweer bedekt was. Na zode verwijdering was echter na 1 jaar nog kale grond aanwezig. Daarnaast bleek door frezen van de bodem, met name daar waar de zode niet was verwijderd, het N-gehalte van de vegetatie toegenomen te zijn. Dit is waarschijnlijk veroorzaakt door een tijdelijke toename van de stikstofmineralisatie als gevolg van verhoogde afbraak van organisch materiaal. Maar ook bevatte het slib in enige mate stikstof. De toegenomen stikstofbeschikbaarheid leidde, met name in de met ijzerslib behandelde proefvlakken waar de zode niet was verwijderd, tot een toename van ruigtesoorten als Gewone brandnetel en Akkerdistel (zie Bijlage tabel II). Op basis van deze resultaten was de conclusie dat het belangrijk is om de zode voorafgaand aan de toediening van drinkwaterslib te verwijderen.

Ondanks de bovengenoemde problemen met de dosering van het ijzerslib, waren in 2014 positieve effecten op de vegetatie waarneembaar. Zo was de biomassaproductie lager en de N:P (weliswaar niet significant) hoger. Deze verschillen waren in 2015 echter al minder duidelijk waarneembaar. Ook was de soortenrijkdom na het toedienen van het ijzerslib hoger dan in de controle situatie.

3 Onderzoek naar (meerjarige) effecten van drinkwaterslib op verschillende bodemtypen- Deel 2. Nieuwe proeflocaties

3.1 Doel en onderzoeksvragen

Het doel van het onderzoek in dit onderdeel was inzicht te verkrijgen in de effecten van de toepassing van drinkwaterslib (ijzerslib en ijzerkalkslib) op de bodemchemie en vegetatie (op verschillende bodemtypen). Hierbij stonden de volgende onderzoeksvragen centraal:

- Verlaagt het mengen van drinkwaterslib met fosfaat(P)-rijke bodems de P-beschikbaarheid in de bovenste bodemlaag?
- Is dit effect afhankelijk van het bodemtype (zand, lemig zand, veen)?
- Heeft de toepassing van drinkwaterslib een positief effect op de vegetatie (toename soortenrijkdom door creëren van schrale omstandigheden?)

3.2 Selectie van proefgebieden

Betrokken terreinbeherende organisaties zijn gevraagd om potentiële gebieden aan te leveren die geschikt zouden zijn voor het uitvoeren van drie veldproeven. Op basis van beschikbare bodemchemische gegevens, aangevuld met eigen nieuwe metingen, is uiteindelijk gekomen tot de selectie van drie gebieden. Hierbij is rekening gehouden met de volgende selectiecriteria:

- Geografische ligging: locaties dienen verspreid door het land te liggen
- Bodemtype: locaties dienen onderling te verschillen in bodemtype
- Vochtigheid: locaties dienen onderling te verschillen in vochtcondities.

De uiteindelijke gebieden varieerden van vochtig veen in het noorden van het land (Onnerpolder, nabij Groningen), via zand/klei in het midden van het land (Bloemkampen, nabij Harderwijk, naar (lemig) zand in het zuiden van het land (De Scheeken, nabij Best). In Figuur 3-1 is de ligging van deze gebieden weergegeven.



FIGUUR 3-1. OVERZICHT VAN DE LIGGING VAN ALLE PROEFLOCATIES DIE IN DIT ONDERZOEK ZIJN GEBRUIKT. HET PILOT ONDERZOEK IS GESTART IN DE GROOTE HEIDE/GROOT HUISVEN. OP LANDGOED MENTINK ZIJN DE VELDTESTEN MET DE ONTWIKKELDE INJECTEUR UITGEVOERD (ZIE HOOFDSTUK 4).

3.2.1 Onnerpolder

De Onnerpolder is in eigendom en beheer van Stichting Het Groninger Landschap. Het betreft een perceel op veengrond dat begraasd wordt door koeien. De vegetatie wordt sterk door grassen en grasachtigen gedomineerd, met soorten als Rietgras, Pitrus, maar ook komt Noordse zegge veelvuldig voor (Figuur 3-2). Voor de selectie van de meeste geschikte locatie binnen een perceel in de Onnerpolder werden op 19 mei 2015 op vier plaatsen grondmonsters genomen, en hierin werden de fosfaatverzadigingsgraad (PSI) en de fosfaatbeschikbaarheid (Pw) gemeten. Het bleek dat beide parameters sterk uiteenliepen binnen het perceel, wat mogelijk samenhangt met een proef die in het verleden op dit perceel is uitgevoerd door B-Ware. In Tabel 3-1 zijn deze resultaten opgenomen onder OP-1 t/m OP-4. Om een fosfaatrijke uitgangsground te krijgen, werd gekozen voor de aanleg op locatie OP-4, met $PSI=0.16$ en $Pw=16$. De berekende hoeveelheid ijzerslib die moest worden opgebracht was gebaseerd op deze waarden en op de chemische samenstelling van ijzerslib van winning De Punt (zie Tabel 3-2 en Tabel 3-4).

TABEL 3-1. RESULTATEN BODEMCHEMIE UIT DE VOORSELECTIE. * $PSI = P-OX / (AL-OX+FE-OX)$ [M/M];
** $PW = MG P2O5$ (L GROND).

	Al-ox mg/kg	Fe-ox mg/kg	P-ox mg/kg	PSI *	Pw **
<i>Streefwaarde</i>				2015 < 0.1	2015 < 10
OP-1	1132	22950	181	0.01	0
OP-2	1808	65145	3622	0.09	4
OP-3	535	63582	2139	0.06	12
OP-4	823	49455	4633	0.16	16



FIGUUR 3-2. BLIK OP DE ONNERPOLDER

3.2.2 Bloemkampen

In natuurgebied Bloemkampen nabij Hulshorst, in eigendom en beheer van Natuurmonumenten, zijn in 2015 tijdens de voorselectie vier verschillende percelen bezocht en bemonsterd. Op basis van de resultaten van de bodemchemische analyses is gekozen voor een perceel met de hoogste Pw en PSI waarden. De zandige bodem van dit perceel heeft een hoog kleigehalte. Dit perceel wordt verpacht en kent maaibeheer. De vegetatie is tamelijk soortenarm en wordt gedomineerd door grassen (Figuur 3-3).



FIGUUR 3-3. FOTO VAN PERCEEL TE BLOEMKAMPEN.

3.2.3 De Scheeken

De Scheeken, ten slotte, betreft een door Pitrus en grassen gedomineerd terrein in eigendom en beheer van Stichting Het Noordbrabants Landschap. De bodem bestaat uit zand met, op wisselende diepte, dunne leemlaagjes (Figuur 3-4).



FIGUUR 3-4. FOTO VAN PROEFGEBIED IN DE SCHEEKEN.

3.2.4 Toediening van ijzerslib

Voorafgaand aan het toedienen van het drinkwaterslib werd in Bloemkampen en De Scheeken de zode (0-5 cm) verwijderd (zie Tabel 3-3 voor overzicht van alle behandelingen per proefgebied). In de Onnerpolder is dit vanwege de organische toplaag niet gebeurd, maar daar is vooraf wel de vegetatie kort gemaaid. Op basis van de (tijdens voorselectie) gemeten bodemchemie en samenstelling van beschikbaar drinkwaterslib (Bijlage tabel III) is berekend welke dosis drinkwaterslib toegediend moest te worden om de streefwaarde voor P-beschikbaarheid te bereiken (Tabel 3-2). Alleen in Bloemkampen is behalve ijzerslib ook ijzerkalkslib toegediend.

TABEL 3-2. OVERZICHT VAN HOEVEELHEID EN HERKOMST OPGEBRACHT DRINKWATERSLIB PER LOCATIE.

Proefgebied		PSI (bodem)	Type en bron drinkwaterslib	Dikte opgebrachte sliblaag (cm/m ²)	Volume totaal/vlak (m ³)
Onnerpolder		0.16	Ijzerslib - De Punt	13.9	1.251
Bloemkampen		0.13	Ijzerslib - Terwisscha	1.7	0.153
			Ijzerkalkslib - Ellecom	3.8	0.342
De Scheeken		0.2	Ijzerslib - Vessem	0.9	0.081

Het drinkwaterslib werd opgebracht in proefvlakken van 3 x 3 m. Om te voorkomen dat het vloeibare drinkwaterslib buiten het proefvlak zou stromen, werden vooraf houten bekistingen aangebracht (Figuur 3-5).



FIGUUR 3-5. VOORBEELD VAN DE BEKISTING, HIER IN DE SCHEEKEN.

Vervolgens werd het drinkwaterslib hetzij handmatig vanuit grote vaten (De Scheeken) hetzij vanuit 1 m³-tanks die door kraanwagens werden opgetild (Onnerpolder en Bloemkampen), gelijkmatig over het oppervlak binnen de bekisting verdeeld (Figuur 3-6).



FIGUUR 3-6. TOEDIENING VAN DRINKWATERSLIB. LINKSBOVEN: HANDMATIG TE SCHEEKEN. RECHTSBOVEN EN LINKSONDER: M.B.V. KRAANVOERTUIGEN IN DE ONNERPOLDER EN BLOEMKAMPEN. RECHTSONDER : DRIE PROEFVLAKKEN MET IJZERSLIB EN DRIE MET IJZERKALKSLIB TE BLOEMKAMPEN.

In De Scheeken werd direct na het opbrengen van het ijzerslib gefreesd om het slib met de bovenste 15-20 cm van de bodem te mengen. In Bloemkampen en Onnerpolder was de weerstand van de bodem dermate hoog dat het ijzerslib niet direct de grond in zakte. In Bloemkampen is daarom pas na 1 week gefreesd en in de Onnerpolder is in eerste instantie helemaal niet gefreesd. Pas in 2016 is besloten om alsnog te gaan frezen. Het slib was toen als een oppervlakkige laag bovenop het maaiveld aanwezig en maar beperkt in de bodem ingetrokken. Uiteindelijk is in juli 2016 de helft van elk proefvlak in de Onnerpolder gefreesd.

3.2.5 Bemonstering nul situatie en na 1 jaar

Bodem

Direct na het opbrengen van het ijzerslib in 2015 zijn in elk proefvlak bodemonsters verzameld. In elk proefvlak is een mengmonster verzameld bestaande uit 10 steken van de bovenste 20 cm. In de zomerperiode 2016 is deze analyse herhaald. Op alle bodemonsters werden door het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem (WUR) onderstaande analyses uitgevoerd:

- Beschikbaar P: Pw (waterextractie in een 1:60 (v:v)- schudverhouding), waarbij tevens het volumegewicht (dichtheid) van het genomen monster werd vastgesteld. Een lagere dichtheid is een aanwijzing voor een hoger gehalte aan (relatief lichte) organische stof.
- P-Olsen: extractie met NaHCO_3 bij pH 8.5.

- Ammoniumoxalaat extraheerbaar P, Fe en Al (gehalten aan amorf Fe en Al, en daaraan gebonden P); hieruit werd de verzadigingsindex berekend: $PSI = P/(Fe+Al)$, waarbij gehalten aan P, Fe en Al in het oxalaatextract worden uitgedrukt in mMol/kg.
- In een extract met 0,01M $CaCl_2$, waarmee de directe beschikbaarheid van elementen wordt vastgesteld, werden de volgende totaalgehalten bepaald via ICP [noot: op T1 en T2 werden alleen de vetgedrukte elementen gemeten]: **Al, Fe, K, Mg, P, S**, As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, en Zn. Daarnaast werd in hetzelfde extract gemeten: pH, N-NH₄, N-(NO₃+NO₂), N-ts, P-PO₄ en TOC.
- In een extract met 0,43 M HNO₃ waarmee de totaal-beschikbare gehalten van elementen wordt vastgesteld, werden de volgende totaalgehalten bepaald via ICP: Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, P, Pb, S, en Zn.
- Na een destructie met HNO₃-HCL (aqua regia) werden in het destruaat de totaal gehalten van Al, Fe en P bepaald via ICP.
- Op T2 werden C- en N-elementair gemeten, en het organische stofgehalte via het gloeiverlies bij 550°C.

Het ijzerslib werd geanalyseerd op totaal Al, Fe en P, en op het gehalte aan droge stof zie Bijlage tabel III).

Vegetatie

Parallel aan het bodemchemisch onderzoek is ook een vegetatie-onderzoek uitgevoerd, gericht op het vaststellen van de invloed van ijzerslib op beperking van de fosfaatopname door planten. De effecten van de veranderingen in bodemchemie op de vegetatie-ontwikkeling worden op twee manieren bepaald:

- (1) Potenties voor vegetatieontwikkeling op basis van bodemchemie. Op basis van de fosfaatbeschikbaarheid worden potenties in beeld gebracht voor mogelijke plantengroei op de langere termijn.
- (2) Spontane vegetatieontwikkeling na 1 groeiseizoen. Uit de spontane vegetatieontwikkeling kan worden afgeleid wat de mogelijke natuurdoelen zijn die gerealiseerd kunnen worden. Hiertoe werden bij de start van het experiment in elk van de drie controle proefvlakken per proeflocatie in een subplot van 2 x 2 m een vegetatieopname gemaakt volgens Braun-Blanquet. Deze opnamen zijn na één jaar herhaald en ook is toen op gelijke wijze in de overige proefvlakken een vegetatieopname gemaakt.

Om de effecten van ijzerslib op de vegetatieontwikkeling te meten, zijn in 2016 de volgende variabelen bepaald:

- Soortensamenstelling, bedekkingspercentage, gras:kruid ratio;
- Bovengrondse biomassa van de kruidlaag;
- N-, P-, en C-gehalte in bovengrondse biomassa.

Analysemethode: De verzamelde biomassa (Subplot C en van Gestreepte witbol) werd 48 uur gedroogd bij 65 °C. Vervolgens werden de biomassa gewogen om drooggewicht (g/m²) te bepalen. Het gedroogde materiaal is fijngeknijpt, gemengd en gemalen (deels met de hand, en in geval van grassen vervolgens in een kogelmaler om fijn vezelloos poeder te verkrijgen). Een deel van het poeder is in tinnen cups ingewogen, verbrand en vervolgens zijn C- en N-gehalten bepaald op een Carlo Erba analyser (gaschromatograaf). Een ander deel van het poeder werd in gesloten teflon vaatjes gedestruëerd met salpeterzuur, gevolgd door een

standaard ICP analyse waarin concentraties aan Ca, Mg, P, K, S, Al, Mn, Si, K, en zware metalen zijn bepaald (zie Bijlage tabel IV voor detailbeschrijving).

Uitleggen maaisel

Alleen in De Scheeken is op 8 september 2016 in de helft van elk met ijzerslib behandeld proefvlak maaisel, afkomstig van een nabij gelegen soortenrijk grasland, opgebracht. Het doel hiervan was om enerzijds te toetsen of de bodem na opbrengen van ijzerslib geschikt is voor kieming en vestiging van schraallandsoorten, en anderzijds om het herstel van de soortenrijkdom te versnellen.

Bodemorganismen

Om eventuele (toxische) effecten van drinkwaterslib op kleine bodemorganismen te onderzoeken, is in 2016 in De Scheeken onderzoek verricht naar springstaarten. De methode en resultaten van dit onderdeel worden in hoofdstuk 8 beschreven.

TABEL 3-3. OVERZICHT VAN BEHANDELINGEN IN DE DRIE PROEFVLAKKEN

Proef-gebied	Voorbehandeling	Type slib	Nabewerking	Maaisel opgebracht?	Code behandelingen
Onner-polder	Maaien	Ijzerslib	Helft opp. elk proefvlak na 9 maanden gefreesd	Nee	C = controle M = maaien M+F = maaien + frezen MFe = maaien+ ijzerslib MFe+F = maaien+ ijzerslib+frezen
Bloem-kampen	Zode verwijderen	Ijzer- en ijzerkalkslib	Frezen na 1 week	Nee	C = controle Z = zode verwijderen ZFe = zode verwijderen+ijzerslib ZFeCa = zode verwijderen+ijzerkalkslib
De Scheeken	Zode verwijderen	Ijzerslib	Direct gefreesd	Ja, in helft van elk Fe-vlak.	C, Z, ZFe = als hierboven ZFeM = zode verwijderen +ijzerslib +maaisel

3.3 Resultaten

3.3.1 Bodemchemie

De doelen van de bodemchemische analyses waren (1) het selecteren van een geschikt (deel van) een perceel om een proef aan te leggen, (2) het bepalen van een dosis ijzerslib die zou moeten worden toegediend om de streefwaarde te bereiken van de beschikbaarheid van fosfaat, en (3) het volgen van die beschikbaarheid in de tijd: kort na toedienen van het slib en ca. 1 jaar na toedienen. Voor het bepalen van de dosis slib werden eerst waterwinlocaties geselecteerd waar bruikbaar slib te verwachten was, op basis van gemeten gehalten aan Fe, P en drogestof. Op basis van die gegevens werd de op te brengen dosis ijzerslib berekend. Tijdens het opbrengen van het ijzerslib bij de aanleg van de proef werden monsters genomen van het slib, die werden geanalyseerd. Uit een vergelijking van de analyseresultaten die waren gebruikt voor de berekening, en van de monsters verzameld tijdens het opbrengen, kan worden gekeken in hoeverre de opgebrachte dosis overeenkwam met de berekende dosis. Een samenvatting van de resultaten van die vergelijking voor de drie proeflocaties staat in Tabel 3-4. Voor het berekenen van de opgebrachte hoeveelheid Fe per m² werd een dichtheid van het slib aangenomen van 1.1 kg/L. Uit de tabel blijkt voor Onnerpolder dat 55 % meer Fe is opgebracht dan nodig was volgens de berekening. Voor Bloemkampen was dit 19 % meer via Fe-slib, maar daarentegen 53 % minder via FeCa-slib, en voor De Scheeken was het 28 % minder dan beoogd.

TABEL 3-4. BEREKENDE HOEVEELHEID FE DIE MET SLIB MOEST WORDEN OPGEBRACHT OP DE VERSCHILLENDE LOCATIES, MET DE FEITELIJKE HOEVEELHEID DIE IS OPGEBRACHT, BEREKEND OP BASIS VAN VERSCHILLEN IN GEHALTEN AAN FE EN DROGESTOF (D.S.).

Locatie / slib	Berekening		Opbrengen		Berekend cm slib	Berekend	Opgebracht	Verschil % **
	Fe g/kg	d.s. %	Fe g/kg	d.s. %		Fe kg/m ²	Fe * kg/m ²	
Onnerpolder / De Punt	341	5.3	369	7.6	13.9	2.76	4.29	+ 55
Bloemkampen / Terwisscha (Fe)	405	15	400	18	1.7	1.14	1.35	+ 19
Bloemkampen / Ellecom (FeCa)	219	9.2	243	3.9	3.8	0.84	0.40	-53
De Scheeken / Vessem	309	20.6	321	14.3	0.9	0.63	0.45	-28

* na correctie voor afwijkend gehalte aan Fe of d.s., voor Onnerpolder berekend volgens : $2.76 * (7.6/5.3) * (369/341) = 4.29$.

** procentueel verschil t.o.v. berekende hoeveelheid slib; voor Onnerpolder: $100 * (4.29 - 2.76) / 2.76$.

3.3.1.1 Onnerpolder

De toediening van ijzerslib verlaagde direct (2015) de Pw en de PSI van de proefvlakken ten opzichte van de controle vlakken, en deze verschillen waren na 1 jaar nog waarneembaar. Voor Pw was dit verschil ook significant (MFeF vs C; Tabel 3-5). De waarden voor Pw en PSI waren ook in 2016 nog ruim beneden de streefwaarden. De P-Olsen waarden lieten echter in 2016 een ander beeld zien. De P-Olsen waarden waren van alle behandelingen hoger dan van de controlevlakken, maar deze verschillen waren niet significant.

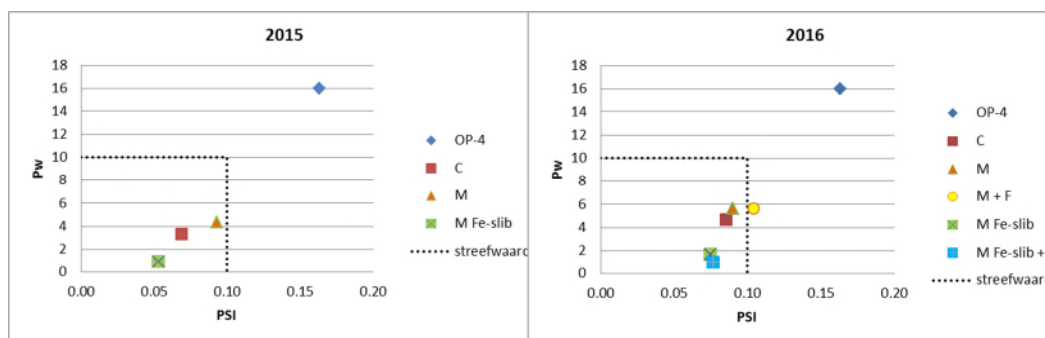
Uit deze resultaten bleek achteraf dat een te hoge dosis ijzerslib is toegediend. Uit behandelingen C en M (controle en gemaaide vlakken) blijkt dat in deze proefvlakken zowel Pw als PSI al duidelijk lager waren dan tijdens de voorselectie was gemeten (vergelijk C en M met OP-4 in Tabel 3-5). Hieraan werd nog verder bijgedragen door de hogere gehalten aan

Fe en d.s. in het opgebrachte slib t.o.v. de waarden die vooraf waren gebruikt voor de berekening van de op te brengen dosis.

TABEL 3-5. RESULTATEN BODEMCHEMIE IN 2015 (NUL-SITUATIE) EN 2016 IN ONNERPOLDER (VOOR PW EN PSI IS TUSSEN HAAKJES DE STANDAARD DEVIATIE WEERGEGEVEN). SIGNIFICANTE EFFECTEN T.O.V. CONTROLE ZIJN VET VERMELD. OP-4 BETREFT DE WAARDEN VAN DE LOCATIE UIT DE VOORSELECTIE. AAN DE BEHANDELINGEN M+F EN MFe+F ZIJN IN 2015 GEEN METINGEN VERRICHT. * PSI = P-OX / (AL-OX+FE-OX) [M/M]; ** PW = MG P2O5 (L GROND).

	PSI *	Pw **	PSI	Pw	P-Olsen
Streefwaarde	2015 < 0.1	2015 < 10	2016 < 0.1	2016 < 10	2016 (mg/L bodem)
C	0.07	3	0.09 (0.05)	4.7 (3.1)	7.9
M	0.09	4	0.09 (0.02)	5.7 (1.5)	11.8
M + F			0.10 (0.02)	5.7 (1.5)	12.3
MFe	0.05	1	0.08 (0.01)	1.7 (0.6)	9.6
MFe + F			0.08 (0.00)	1.0 (0.0)	10.1
OP-4 (voorselectie)	0.16	16			

In Figuur 3-7 is voor 2015 en 2016 de Pw (fosfaatbeschikbaarheid) uitgezet tegen de PSI, de fosfaatverzadigingsindex, voor alle behandelingen. Bij een afname van de PSI door het toedienen van ijzerslib wordt een afname gevonden van de Pw.



FIGUUR 3-7. VOOR ALLE BEHANDELINGEN IN DE ONNERPOLDER DE PW UITGEZET TEGEN DE PSI.

3.3.1.2 Bloemkampen

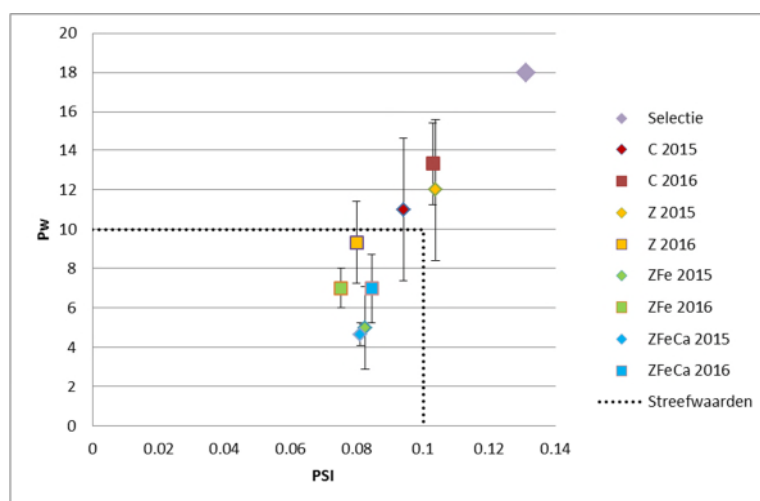
Zowel het toedienen van ijzerslib als van ijzerkalkslib had direct de gewenste, verlagende effecten op de Pw en PSI van de bodem ten opzichte van de controle proefvlakken (Tabel 3-6). Deze effecten waren ook na 1 jaar, in 2016 nog duidelijk waarneembaar en was dit verschil voor de Pw significant voor beide typen slib (ZFe en ZFeCa vs C). Voor PSI gold dit alleen voor ijzerslib (ZFe vs C). Voor beide slibsoorten geldt dat in 2016 de Pw licht was toegenomen ten opzichte van 2015. Mogelijk was het ijzer in het slib ten tijde van de monstername in 2015 nog niet geheel in evenwicht met de bodem. De gemiddelde P-Olsen was in 2016 ook significant lager bij beide slib behandelingen in vergelijking met de controle behandeling.

Ook het verwijderen van de zode (0-5 cm) leidde, met name na 1 jaar, tot een lagere Pw en significant lagere PSI en P-Olsen. Dit geeft aan dat een belangrijk deel van de fosfaatvoorraad zich in de bovenste, organische laag bevond.

Ook in Bloemkampen bleek het moeilijk om vooraf de correcte dosis drinkwaterslib te bepalen. Ook hier kwam dit enerzijds tussen verschillen in Pw en PSI tijdens de voorselectie en op het moment van uitvoeren (Tabel 3-6), en anderzijds doordat er uiteindelijk 19 % meer ijzer via het ijzerslib en 53 % minder ijzer via ijzerkalkslib is opgebracht dan vooraf was berekend (Tabel 3-4). Uit het feit dat desondanks gelijke waarden voor Pw werden gevonden, zou men kunnen opmaken dat FeCa-slib effectiever is dan Fe-slib. In Figuur 3-8 is voor alle proefvlakken de Pw uitgezet tegen de PSI.

TABEL 3-6. RESULTATEN BODEMCHEMIE IN 2015 (NUL-SITUATIE) EN 2016 IN BLOEMKAMPEN. GEMIDDELTE WAARDEN EN TUSSEN HAAKJES DE STANDAARD DEVIATIE ZIJN WEERGEGEVEN. SIGNIFICANTE EFFECTEN T.O.V. CONTROLE ZIJN VET VERMELD. * PSI = $P\text{-OX} / (AL\text{-OX} + FE\text{-OX})$ [M/M]; ** PW = MG P2O5 (L GROND).

	PSI *	Pw **	PSI	Pw	P-Olsen
	2015	2015	2016	2016	2016 (mg/L bodem)
Streefwaarde	< 0.1	< 10	< 0.1	< 10	
Selectie	0.13	18	--	--	
C	0.10 (0.02)	12.0 (3.6)	0.10 (0.00)	13.3 (2.1)	40.0
Z	0.09 (0.02)	11.0 (3.6)	0.08 (0.00)	9.3 (2.1)	30.0
ZFe	0.08 (0.02)	4.7 (2.1)	0.08 (0.00)	7.0 (1.0)	29.0
ZFeCa	0.08 (0.01)	4.7 (0.6)	0.08 (0.01)	7.0 (1.7)	30.1



FIGUUR 3-8. VOOR ALLE BEHANDELINGEN IN BLOEMKAMPEN DE PW UITGEZET TEGEN DE PSI.

3.3.1.3 De Scheeken

Ook in De Scheeken had de toediening het beoogde effect op de fosfaatbeschikbaarheid. Zowel de PSI als de Pw waren direct na toediening in 2015 lager dan in de controle proefvlakken (ZFe-M vs C, Tabel 3-7). Deze effecten waren na 1 jaar, in 2016, ook nog waarneembaar, maar niet significant. Effecten op P-Olsen werden niet waargenomen. Anders dan in Bloemkampen waren zowel PSI als Pw na het verwijderen van de zode, hoger dan in de controle vlakken (Z vs C). Kennelijk bevindt het grootste deel van het beschikbare fosfaat zich in de diepere bodemlagen en juist niet in de organische toplaag.

In De Scheeken werd middels de toediening van ijzerslib de streefwaarde voor Pw wel, maar die voor PSI net niet bereikt. Hier kwamen de waarden van PSI en Pw van het controle proefvlak goed overeen met de waarden die waren gemeten tijdens de voorselectie (Tabel

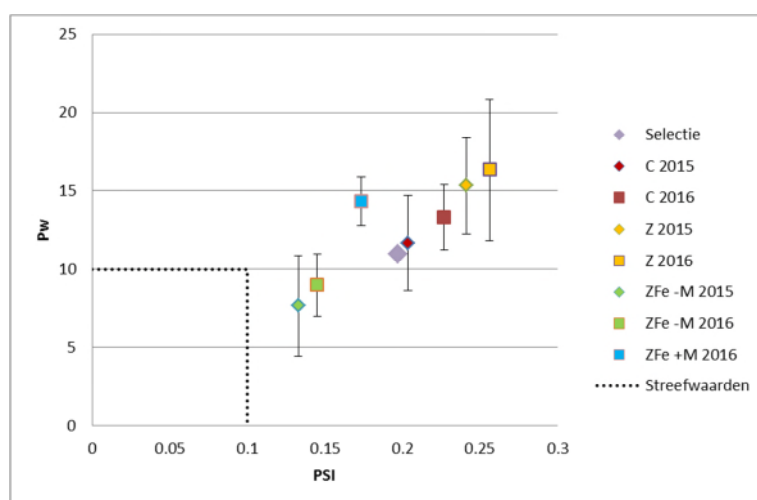
3-7). Waar vooraf geen rekening mee was gehouden, was dat verwijderen van de zode zou leiden tot een Pw en PSI die hoger zijn dan tijdens de selectie. Dit betekent dat eigenlijk meer ijzerslib had moeten worden toegediend. Uit Tabel 3-4 blijkt ook dat er, door een ca. 30 % lager gehalte aan drogestof in het toegediende slib, 28 % minder ijzer was toegediend dan volgens de berekening was gepland. Beide factoren kunnen waarschijnlijk verklaren dat de PSI niet de streefwaarde van < 0.1 heeft bereikt. Voor alle behandelingen geldt dat het ijzergehalte van de bodem sterk varieerde.

Op de helft van elk proefvlak waarop ijzerslib was aangebracht, werd maaisel toegediend (aangeduid met ZFe+M). In het proefvlak zonder maaisel was de Pw wel lager dan de streefwaarde (< 10), maar in 2016 was de Pw in het proefvlak met maaisel licht verhoogd t.o.v. het proefvlak zonder maaisel (14.3 vs. 12.7; Tabel 3-7). Mogelijk bevatte het maaisel gemakkelijk afbreekbaar fosfaat, wat, na afbraak, de Pw heeft verhoogd. In Figuur 3-9 is voor alle proefvlakken de Pw uitgezet tegen de PSI.

TABEL 3-7. RESULTATEN BODEMCHEMIE IN 2015 (NUL-SITUATIE) EN 2016 IN DE SCHEEKEN.

* PSI = $P\text{-OX} / (AL\text{-OX} + FE\text{-OX})$ [M/M]; ** PW = MG P2O5 (L GROND).

	PSI *	Pw **	PSI	Pw	P-Olsen
Streefwaarde	2015	2015	2016	2016	2016
	< 0.1	< 10	< 0.1	< 10	(mg/L bodem)
Selectie	0.20	11	--	--	
C	0.20 (0.04)	11.7 (3.1)	0.23 (0.03)	13.3 (2.3)	57.3
Z	0.24 (0.04)	15.3 (3.1)	0.26 (0.05)	16.3 (4.5)	66.6
ZFe -M	0.13 (0.03)	7.7 (3.2)	0.15 (0.06)	12.7 (5.7)	52.5
ZFe +M			0.17 (0.02)	14.3 (1.5)	52.0



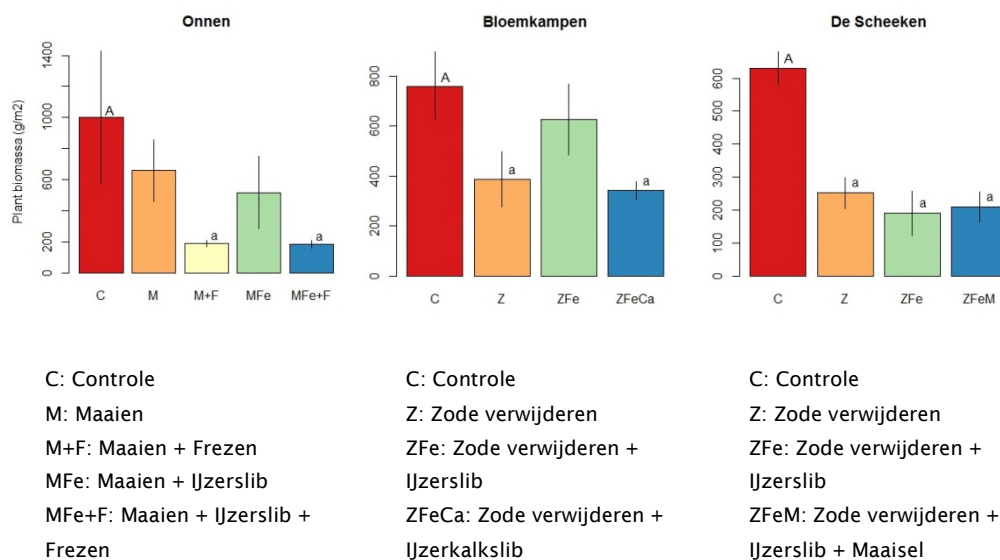
FIGUUR 3-9. VOOR ALLE BEHANDELINGEN IN DE SCHEEKEN DE PW UITGEZET TEGEN DE PSI.

3.3.2 Vegetatie

3.3.2.1 Biomassaproductie

Het was de verwachting dat de biomassaproductie in de proefvlakken als gevolg van de verlaagde fosfaat-beschikbaarheid in de bodem door de toevoeging van het drinkwaterslib,

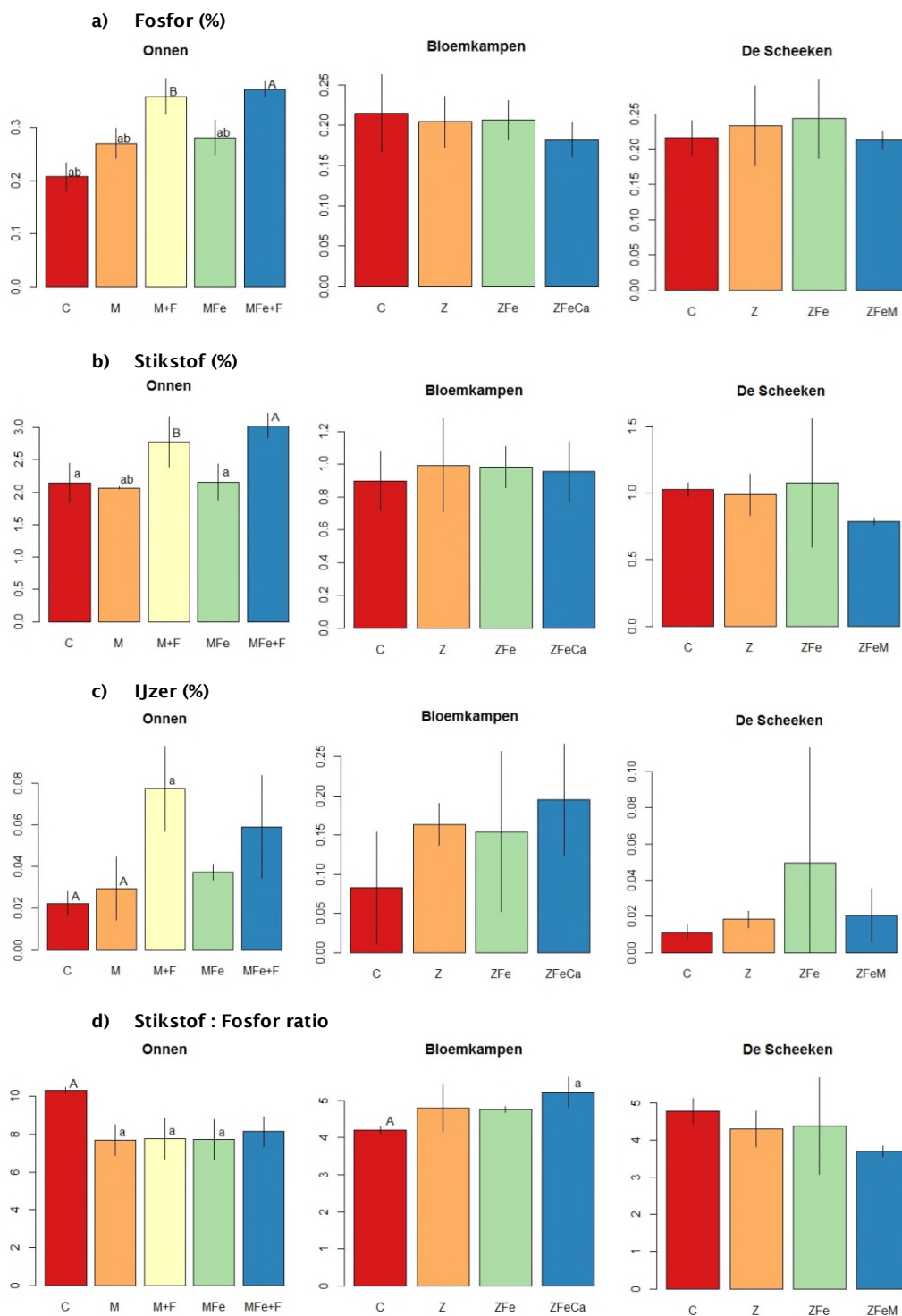
ook lager zou zijn dan in de controle behandelingen. Een eenduidig effect van drinkwaterslib op de biomassaproductie was echter niet zichtbaar. In de Onnerpolder heeft de toevoeging van ijzerslib de biomassaproductie na het eerste groeiseizoen niet verlaagd, noch in de gemaaide proefvlakken (vergelijk MFe met M), noch in de gemaaide en gefreesde proefvlakken (MFe+F t.o.v. M+F) (Figuur 3-10 links). In Bloemkampen heeft de toevoeging van ijzerslib na zodeverwijdering de biomassa zelfs verhoogd, hoewel het verschil niet significant was (ZFe t.o.v. Z). De toevoeging van ijzerkalkslib had geen invloed op de biomassaproductie (ZFeCa versus Z) (Figuur 3-10 midden). In De Scheeken had de toevoeging van ijzerslib geen invloed op de biomassaproductie (ZFe t.o.v. Z) (Figuur 3-10 rechts). In alle gebieden leidden het maaien of zode verwijderen (al dan niet in combinatie met de toediening van drinkwaterslib) wel tot een lagere biomassaproductie dan in de onbehandelde, controle proefvlakken. Zo resulteerde in de Onnerpolder het maaien in combinatie met frezen tot een significant lagere biomassa (Figuur 3-10 links). In Bloemkampen en in De Scheeken leidde het verwijderen van de graszode tot een significante verlagingen van de biomassa (Figuur 3-10 midden en rechts).



FIGUUR 3-10. BOVENSGRONDSE BIOMASSA (G DROOGGEWICHT/M²) VOOR ONNERPOLDER (LINKS), BLOEMKAMPEN (MIDDEN) EN DE SCHEEKEN (RECHTS). DE WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN (N = 3) MET STANDAARDDEVIATIES. DE BEHANDELINGEN MET GROTE EN KLEINE LETTERS ZIJN SIGNIFICANT VERSCHILLEND (P<0.05 MET MULTIPLE COMPARISON TEST (TURKEY'S HSD)).

3.3.2.2 Nutriëntengehalte

Het fosforgehalte in de biomassa werd in geen van de drie proefgebieden verlaagd door de toevoeging van drinkwaterslib (Figuur 3-11 a). Er was ook geen significante invloed van de toevoeging van drinkwaterslib op het stikstofgehalte (Figuur 3-11 b) noch het ijzergehalte (Figuur 3-11 c). De N:P ratio, die een indicator kan zijn voor de limitatie van N of P op plantengroei (Koerselman & Meuleman 1996), was niet verhoogd door drinkwaterslib (Figuur 3-11 d). De N:P ratio was zelfs zeer laag voor alle behandelingen. Veel lager dan de grenswaarde van 16, wat zou wijzen op sterke N-limitatie, maar geen P limitatie.



FIGUUR 3-11. CONCENTRATIES (%) VAN FOSFOR (A), STIKSTOF (B), IJZER (C), EN DE STIKSTOF : FOSFOR RATIO (D) IN BOVENGRONDSE PLANTENBIOMASSA VOOR ONNERPOLDER (LINKS), BLOEMKAMPEN (MIDDEN) EN DE SCHEEKEN (RECHTS). DE WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN ($N = 3$) MET STANDAARDDEVIATIES. DE BEHANDELINGEN MET GROTE EN KLEINE LETTERS ZIJN SIGNIFICANT VERSCHILLEN ($P < 0.05$ MET MULTIPLE COMPARISON TEST (TURKEY'S HSD)). ZIE FIGUUR 3-10 VOOR DE AFKORTINGEN VAN DE BEHANDELINGEN.

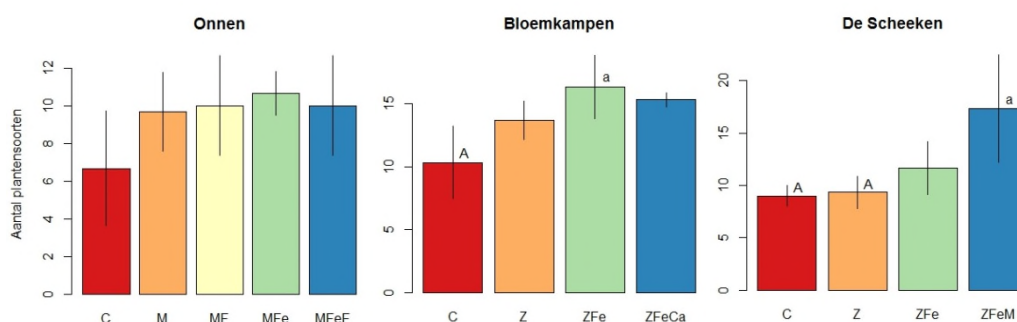
3.3.2.3 Soortenrijkdom

In het algemeen had de toevoeging van drinkwaterslib een positief (maar niet significant) effect op het aantal plantensoorten in de proefvlakken. In de Onnerpolder heeft de toevoeging van ijzerslib in de gemaaide proefvlakken het aantal plantensoorten iets verhoogd (MFe t.o.v. M) (Figuur 3-12 links). In Bloemkampen leidde de toevoeging van zowel ijzerslib als ijzerkalkslib tot een iets hoger aantal plantensoorten (ZFe en ZFeCa in vergelijking tot Z) (Figuur 3-12 midden). Ditzelfde beeld was zichtbaar in De Scheeken waar de toevoeging van ijzerslib het aantal plantensoorten licht verhoogde (ZFe t.o.v. Z) (Figuur 3-12 rechts).

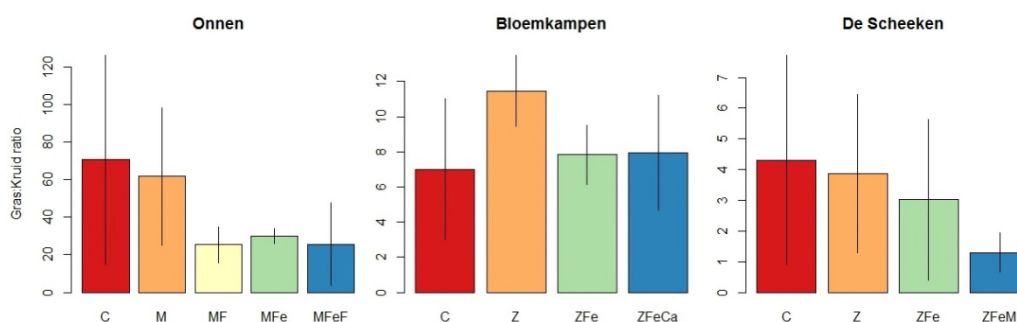
Het grootste effect op de soortenrijkdom had echter het uitleggen van maaisel. In de met ijzerslib behandelde proefvlakken waar ook maaisel was uitgelegd, was het aantal plantensoorten significant hoger dan in de andere proefvlakken (ZFeM t.o.v. Z) (Figuur 3-12 rechts). Soorten als Moeras-vergeet-me-nietje (*Myosotis palustris*), Brunel (*Prunella vulgaris*), Kleine klaver (*Trifolium dubium*), en Tijmeprijs (*Veronica serpyllifolia*) hadden zich vanuit het opgebrachte maaisel kunnen vestigen (zie Bijlage tabel II voor alle vegetatieopnamen).

Andere maatregelen hadden ook een positieve invloed op het aantal plantensoorten, alhoewel niet significant. Zo had maaien een positief effect op het aantal plantensoorten in de Onnerpolder (MF in vergelijking met C) (Figuur 3-12 links), en had zode verwijderen een positieve invloed op het aantal plantensoorten in Bloemkampen (Z t.o.v. C) (Figuur 3-12 midden).

De gras:kruid ratio (in percentage bedekking) is een andere belangrijke indicator van soortenrijkdom van graslanden. Een sterk bemest grasland wordt gedomineerd door snelgroeïende grassen ten koste van kruidachtige planten en heeft daardoor een hoge gras:kruid ratio. Bloemrijke schralere graslanden hebben juist een lage gras:kruid ratio. In dit experiment vertoonde de gras:kruid ratio in het algemeen een dalende (maar niet significante) trend na toevoeging van drinkwaterslib. In de Onnerpolder was de gras:kruid ratio het hoogst in de controle proefvlakken (C). Zowel de toevoeging van ijzerslib als frezen verlaagde de gras:kruid ratio (MFe en MF t.o.v. M), maar het toevoegen van ijzerslib had t.o.v. frezen geen extra effect (MFeF in vergelijking tot MF) (Figuur 3-13 links). In Bloemkampen en in De Scheeken waren de bedekkingspercentages van kruiden in de controle proefvlakken al relatief hoog (ca. 30%), vooral van Kruipende boterbloem (*Ranunculus repens*). In Bloemkampen verlaagde de toevoeging van ijzerslib en ijzerkalkslib de gras:kruid ratio (Figuur 3-13 midden). In De Scheeken was de gras:kruid ratio iets lager in proefvlakken waar ijzerslib was toegevoegd in vergelijking tot proefvlakken zonder ijzerslib, vooral in combinatie met het uitleggen van maaisel (Figuur 3-13 rechts).



FIGUUR 3-12. AANTAL PLANTENSOORTEN (GRASSEN EN KRUIDEN) IN PROEFVLAKKEN VAN 2X2 M VOOR ONNERPOLDER (LINKS), BLOEMKAMPEN (MIDDEN) EN DE SCHEEKEN (RECHTS). DE WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN ($N = 3$) MET STANDAARDDEVIATIES. DE BEHANDELINGEN MET GROTE EN KLEINE LETTERS ZIJN SIGNIFICANT VERSCHILLEND ($P < 0.05$ MET MULTIPLE COMPARISON TEST (TURKEY'S HSD)). ZIE FIGUUR 3-10 VOOR DE AFKORTINGEN VAN DE BEHANDELINGEN.



FIGUUR 3-13. GRAS : KRUID RATIO VOOR ONNERPOLDER (LINKS), BLOEMKAMPEN (MIDDEN) EN DE SCHEEKEN (RECHTS). DE RATIO WAS BEREKEND OP BASIS VAN DE BEDEKKINGSPERCENTAGES VAN BEIDE SOORTGROEPEN. DE WAARDEN ZIJN GEMIDDELDEN ($N = 3$) MET STANDAARDDEVIATIES. ER WAREN GEEN SIGNIFICANT VERSCHIL TUSSEN DE BEHANDELINGEN ($P > 0.05$ MET MULTIPLE COMPARISON TEST (TURKEY'S HSD)). ZIE FIGUUR 3-10 VOOR DE AFKORTINGEN VAN DE BEHANDELINGEN.

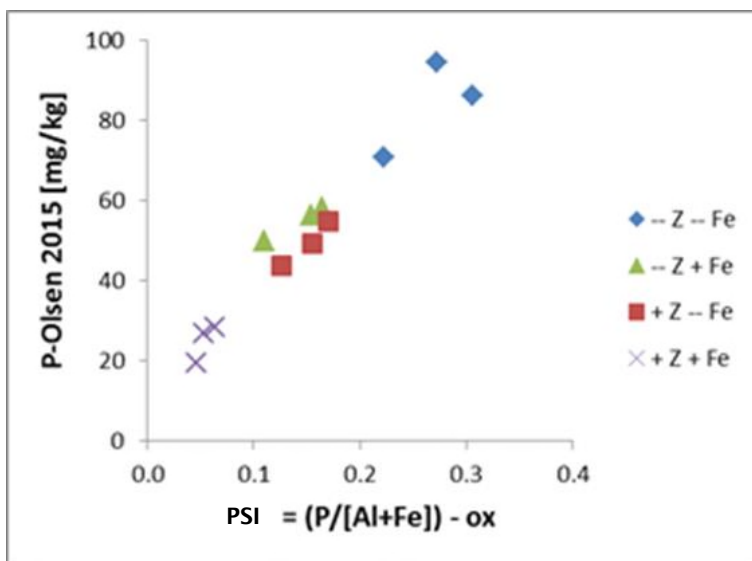
3.4 Samenvatting

In dit hoofdstuk zijn de resultaten beschreven van ons onderzoek naar de effecten van de toepassing van drinkwaterslib (ijzerslib en ijzerkalkslib) op de bodemchemie en vegetatie (op verschillende bodemtypen).

De effecten van de toediening van drinkwaterslib laten in de drie proefgebieden niet een eenduidig beeld zien. Gemiddeld genomen kan worden gesteld dat zowel het ijzer- als ijzerkalkslib een verlaging van de fosfaatbeschikbaarheid (P_w) en fosfaatverzadigingsgraad (PSI) tot gevolg heeft. Deze effecten waren op alle drie de onderzochte bodemtypen waarneembaar: op veen (Onnerpolder), op zand met hoog kleigehalte (Bloemkampen), en op lemig zand (De Scheeken). Deze effecten waren ook na 1 jaar nog zichtbaar.

Anders dan de P_w en PSI laten de P -Olsen-waarden een minder eenduidige reactie zien na de toediening van drinkwaterslib. Alleen in Bloemkampen hadden de behandelingen een significant verlagend effect op P -Olsen (alleen zode verwijdering ook overigens). In De

Scheeken was er geen effect en in de Onnerpolder hadden alle behandelingen een (niet significant) verhogend effect. Uit een vergelijking van de mate waarin door ijzerbehandeling een afname optrad in PSI, P-Olsen en Pw, bleek dat Pw sterker daalde door slib dan P-Olsen. Pw lijkt dus gevoeliger te zijn voor deze behandeling dan P-Olsen. Echter, afgaande op data uit het pilot experiment in de Groote Heide, blijkt dat met een daling van de PSI ook P-Olsen afneemt (Figuur 3-14). Wellicht dat de relatief lage pH van de drie onderzochte terreinen (pH 4-5 in Onnen en De Scheeken, en pH 5-6 in Bloemkampen), van invloed is op de betrouwbaarheid van P-Olsen-waarden die bij een extractie bij een pH van 8.5 worden bepaald. Deze waarden lijken de P-beschikbaarheid te overschatten.



FIGUUR 3-14. VERGELIJING TUSSEN P-OLSEN WAARDEN IN RELATIE TOT DE PSI, GEBASEERD OP DATA VAN DE PILOT IN GROOTE HEIDE (2015).

Het blijkt echter zeer moeilijk om de benodigde dosis drinkwaterslib goed te berekenen en de beoogde streefwaarden voor P is dan ook niet overal bereikt. De belangrijkste redenen hiervoor zijn:

- De benodigde dosis drinkwaterslib is bepaald op basis van de bodemchemische gegevens zoals die waren bepaald tijdens de voorselectie. Er bleek echter een (soms zeer) groot verschil te bestaan tussen die waarden en de waarden van de controle proefvlakken op het moment van inzetten van de experimenten.
- Ook de chemische samenstelling van het drinkwaterslib blijkt beperkt constant in de tijd te zijn, en dan met name het drogestof-gehalte. Aangezien deze parameter een zeer belangrijke factor in de berekening van de dosis drinkwaterslib is, leidt een kleine variatie al tot een inaccurate dosis.
- De heterogeniteit in fosfaatbeschikbaarheid is vermoedelijk zeer groot. Hoewel wij hier niet in detail onderzoek naar hebben gedaan binnen dit project, laten de verkregen resultaten zien dat de variatie tussen proefvlakken (zeer) groot is. De berekende dosis drinkwaterslib betreft een gemiddelde dosis en is niet toegespitst op een dergelijke grote heterogeniteit.

Gezien bovenstaande afwijkingen is het dan ook niet vreemd dat de reactie van de vegetatie op het toedienen van het drinkwaterslib beperkt was. De grote heterogeniteit in P-beschikbaarheid in de bodem, ook na het toedienen van drinkwaterslib, was dermate hoog dat de planten vermoedelijk goed in staat waren om voldoende P op te nemen. Het P-gehalte

van de biomassa was dan ook niet lager na toedienen van het slib en de N:P ratio in de biomassa wees eerder op N- dan op P-limitatie. Het uitleggen van maaisel in De Scheeken toonde overigens aan dat het doorbreken van de dominantie door grassen (door het verwijderen van de graszode) zorgde voor goede kiemings- en vestigingscondities voor soorten van schrale graslanden. Of het toedienen van ijzerslib daar een aanvullend effect op had, hebben we niet kunnen onderzoeken.

Op basis van de P-beschikbaarheid aan het eind van deze experimenten, kan een voorspelling worden gedaan voor de potenties voor vegetatie ontwikkeling in deze proefvlakken. Wanneer we kijken naar de P-Olsen concentraties in de drie proefgebieden (Tabellen 3-5, 3-6 en 3-7) en die vergelijken met referentiewaarden voor verschillende natuurdoeltypen (Tabel 3-8), is te zien dat deze P-waarden nog te hoog zijn voor schralere natuurdoeltypen, maar dotterbloemhooiland, goed ontwikkelde natte ruigten of bloemrijk grasland wel tot de mogelijkheden behoren. Hierbij dient nog de kanttekening te worden gemaakt dat de gemeten P-Olsen waarden de P-beschikbaarheid lijken te overschatten en de werkelijke omstandigheden nog wat schraler zijn.

TABEL 3-8. P-OLSEN EN TOTAAL-P REFERENTIEWAARDEN VOOR VERSCHILLENDE NATUURDOELTYPEN.

Natuurdoeltype	Olsen-P (umol/l bodem)	totaal-P (mmol/l bodem)
Droge heide	100-500	0.5-2.5
Natte heide	100-500	0.5-2.5
Kalkgrasland	100-300	2-10
Droog heischraal grasland	100-350	1-5
Nat heischraal grasland	150-400	1-5
Kleine zeggenmoeras (Verbond van Zwarte zegge)	100-500	1-6
Blauwgrasland	200-500	2-10 (tot 20)
Glanshaverhooiland	300-800	10-30
Dotterbloemhooiland	300-800 (tot 1200)	8-20 (tot 50)
Grote zeggenmoeras	300-800 (tot 1200)	8-20 (tot 50)
Goed ontwikkelde natte ruigte	400-1000	5-20 (tot 100)
Bloemrijk grasland	800-1200	10-20

Hoewel het toedienen van drinkwaterslib op de drie onderzochte bodemtypen op de P-beschikbaarheid dezelfde positieve effecten had, waren er wel grote verschillen wat betreft het toedienen zelf. Op de relatief droge zandgrond van de Scheeken, kon het ijzerslib gemakkelijk middels frezen met de bodem worden gemengd. Hierbij speelde mee dat een beperkte hoeveelheid ijzerslib diende te worden opgebracht (0.9 cm/m²). Op de kleiige zandbodem van Bloemkampen, trok het drinkwaterslib vanwege de beperkte doorlatendheid, slecht de bodem in. Het was daardoor niet mogelijk om direct na het toedienen het slib door frezen met de bodem te mengen. Op de vochtige veenbodem van de Onnerpolder speelde dit nog sterker. Aangezien in dit gebied bovendien een zeer hoge dosis ijzerslib moest worden opgebracht (13.9 cm/m²), zat er veel tijd tussen het opbrengen van het ijzerslib en mengen ervan met de bovenste bodemlaag. Ondanks genoemde verschillen in toegediende dosis drinkwaterslib tussen deze gebieden, lijkt de vochtconditie van de bodem een belangrijke factor voor het succes van het toedienen van drinkwaterslib. Wij adviseren daarom vooralsnog om drinkwaterslib vooral op drogere zandgronden op te brengen.

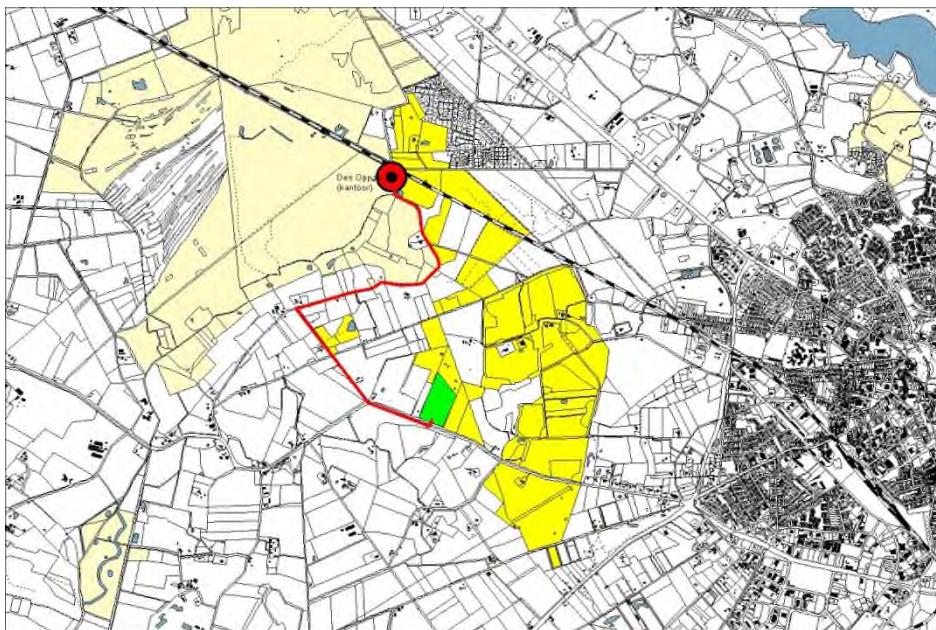
4 Onderzoek naar techniek van opbrengen drinkwaterslib

4.1 Doel en onderzoeksvragen

Het doel van deze onderzoekslijn was het ontwikkelen van een machine (met een “zodebemester” als uitgangspunt) die met minimale bodemdruk, goede menging en constante dosering drinkwaterslib kan opbrengen ongeacht de consistentie van het slib. Hierbij dient de bodem zo min mogelijk verstoord te worden (het drinkwaterslib wordt niet door bijvoorbeeld frezen met de bodem gemengd) en het drinkwaterslib in één bewerkingsgang te worden ingebracht.

4.2 Aanpak

Onderzoek naar de techniek van het opbrengen van het drinkwaterslib is uitgevoerd op Landgoed Mentink, een natuurgebied nabij Winterswijk en in eigendom en beheer van Natuurmonumenten (Figuur 3-1 en Figuur 4-1). Dit perceel, dat sterk gedomineerd wordt door grassen (met name door Gestreepte witbol (Figuur 4-2), is circa 20 jaar uit agrarische productie maar kent nog altijd een P-beschikbaarheid ($P_w = 67 \text{ mg P}_2\text{O}_5/\text{l grond}$, $\text{PSI} = 0.38$) die veel hoger is dan de streefwaarden voor bloemrijke graslanden (resp. 10 en 0.10 voor P_w en PSI). Op basis van deze gegevens is de dosis op te brengen ijzerslib bepaald.



FIGUUR 4-1. LOCATIE VAN ONDERZOEKSGBIED LANDGOED MENTINK (DIRECT RECHTS VAN GROEN WEERGEGEVEN PERCEEL; BRON: NATUURMONUMENTEN).



FIGUUR 4-2. PERCEEL WORDT GEDOMINEERD GESTREEPTE WITBOL.

Op 23 september 2015 is deze veldproef ingericht. Van een rechthoek van 20 bij 25 m is van de helft (10 x 25 m) allereerst de zode (0-5 cm) verwijderd (Figuur 4-3). Binnen het proefvlak zijn vijf proefstroken aangelegd, elk 20 m lang en ca. 3 m breed, zodanig dat alleen van de oostelijke helft van elke strook de zode verwijderd was.



FIGUUR 4-3. SCHEMATISCHE WEERGAVE INRICHTING PROEFVLAKKEN.

Net ten noorden van dit proefvlak is in een vlak van 2 x 2 m een vegetatie opname gemaakt. Het ijzerslib werd over de gehele strook opgebracht. Hiertoe reed een trekker met speciaal ontworpen messen (zie Figuur 9-1) en injectiespuiten gelijk op met een tankwagen gevuld met ca. 12 m³ ijzerslib. Het ijzerslib was afkomstig van productiebedrijf Eibergen (Vitens; zie Bijlage tabel V voor samenstelling van dit slib). De effecten van het ijzerslib op de bodemchemie werd op dezelfde wijze bepaald als in paragraaf 3.2.5 is besproken, met het verschil dat voor fosfaat nu alleen de Pw en PSI zijn bepaald.



FIGUUR 4-4. A) INBRENGEN VAN HET IJZERSLIB OP HET DEEL ZONDER ZODE. B) ZICHT OP DE VIJF PROEFSTROKEN VANAF OOSTELIJKE ZIJDE.

4.3 Resultaten

4.3.1 Techniek toepassing

Op 23 september 2015 is op Landgoed Mentink de eerste praktijktest uitgevoerd. Voorafgaand aan deze test was de speciaal ontworpen machine reeds met succes getest op agrarisch grasland. De sterk doorwortelde graszode van Landgoed Mentink bleek echter onvoldoende te worden doorsneden door de dubbele rij messen. Hierdoor werd de zode meegetrokken en hoopte zich tussen de messen op (Figuur 4-5) en ontstonden er kuilen in de grasmatt. Het ijzerslib werd overigens wel op een goede manier onder de zode ingebracht. Verschillende aanvullende maatregelen, zoals vooraf maaien, verdichten van de bodem, gebruik van slechts één rij messen, en gebruik van beitels in plaats van de bredere ganzenvoeten als messen, zijn vervolgens getest. Op basis hiervan is de machine vervolgens aangepast.



FIGUUR 4-5. GRASZODE TE LANDGOED MENTINK WERD NIET GOED DOORSNEDEN EN HOOPT ZICH OP TUSSEN DE MESSEN.

Op 22 juni 2016 vond de tweede veldtest plaats, deze keer met aangepaste messen. Met deze uitgebreide snijvlakken werd de zode wel goed doorsneden en het ijzerslib goed en tot de gewenste diepte van 15-20 cm ingebracht (Figuur 4-6).

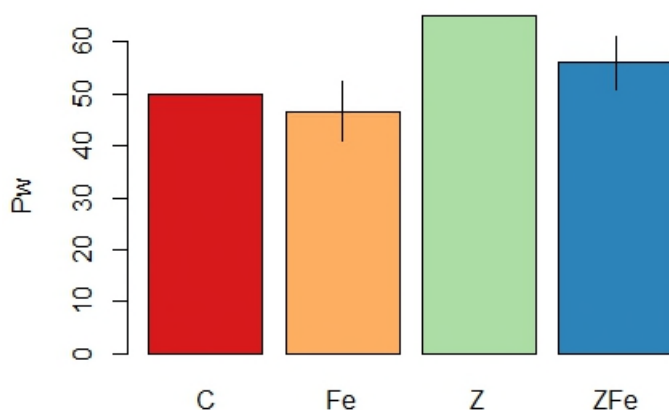


FIGUUR 4-6. HET IJZERSLIB WERD IN PARALLELE SNEDES TUSSEN EN ONDER DE GRASZODE AANGEBRACHT (LINKS). OP DE RECHTERFOTO IS TE ZIEN DAT HET IJZERSLIB TOT EEN DIEPTTE VAN 15-20 CM IS INGEBRACHT.

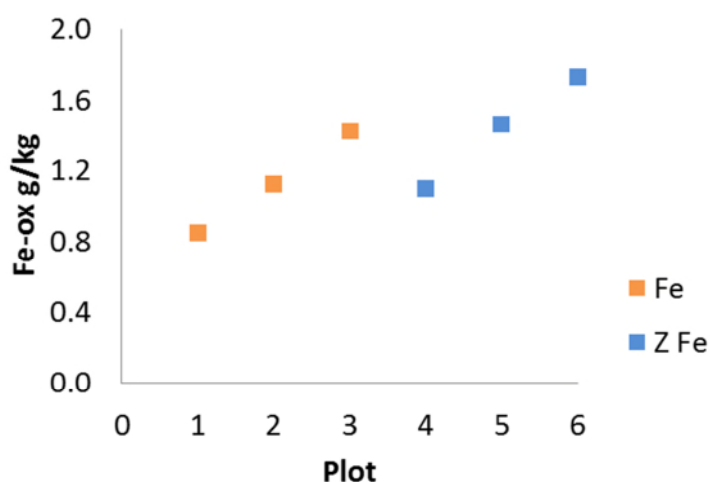
4.3.2 Bodemchemie

4.3.2.1 Eerste veldtest

Niet alleen wat de techniek betreft, was de eerste veldtest met de ontwikkelde machine geen succes, ook wat effecten op de bodemchemie was er sprake van een tegenvaller. Het ijzerslib, afkomstig van pompstation Eibergen bleek na analyse een drogestofgehalte te hebben van 0.97% in plaats van de normale waarde voor slib van dit pompstation van 20-25%. Ondanks de gunstige PSI van het slib (0.03) had het opbrengen van het drinkwaterslib dan ook nauwelijks een gunstig effect op de P-beschikbaarheid van de bodem (Figuur 4-7). De variatie in Fe-ox gehalte varieerde tussen de proefvlakken sterk (Figuur 4-8).



FIGUUR 4-7. EERSTE VELDTTEST: EFFECT OP P-BESCHIKBAARHEID (PW) VAN HET OPBRENGEN VAN IJZERSLIB IN CONTROLE SITUATIE (BLANCO) EN NA VERWIJDEREN VAN DE ZODE.

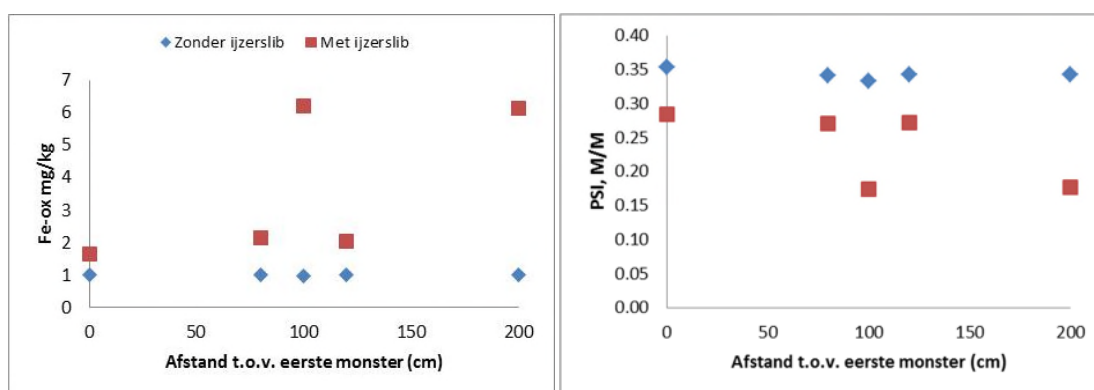


FIGUUR 4-8. VARIATIE IN FE-OX GEHALTE IN DE PROEFVLAKKEN MET EN ZONDER ZODE.

Vanwege deze onvoorzien ongewenste samenstelling van het ijzerslib, hebben wij geen onderzoek meer verricht naar mogelijke effecten van de toepassing van ijzerslib op de vegetatie.

4.3.2.2 Tweede veldtest

Tijdens de tweede veldtest is het ijzerslib op de gewenste wijze onder de zode ingebracht. Ongeveer drie maanden na het opbrengen, is in twee transecten (één met en één zonder ijzerslib) haaks op de rijrichting tijdens het opbrengen van het slib, de bodemchemie bepaald. Uit Figuur 4-9 blijkt dat het Fe-ox gehalte en de PSI van de bodemonsters in het transect zonder ijzerslib over een afstand van 2 m vrij constant te zijn. Het opbrengen van het ijzerslib, in dit terrein zonder het ijzerslib middels frezen met de bodem te mengen, heeft geleid tot een toename van het Fe-ox gehalte en daling van de PSI, maar de mate waarin varieerde zeer sterk (zie Figuur 4-9). Deze variatie is ook op zeer korte afstand zeer hoog. De streefwaarde voor PSI van 0.1 werd overigens in geen van deze monsters bereikt (wat ook gold voor de Pw-waarden, gegevens hier niet getoond), maar dat kan worden verklaard doordat deze tweede test vooral gericht was op het inbrengen van het ijzerslib, en in mindere mate op het toedienen van de juiste dosis om de streefwaarden te bereiken.



FIGUUR 4-9. FE-OX GEHALTE EN PSI IN TWEE TRANSECTEN MET EN ZONDER IJZERSLIB.

4.4 Samenvatting

Uitgangspunt van dit deelonderzoek was om het drinkwaterslib met zo min mogelijk verstoring van de bodem in te brengen. De te ontwikkelen machine diende ook zonder het vooraf verwijderen van de zode, het drinkwaterslib op een effectieve wijze in de bodem aan te kunnen brengen. Aangezien het slib niet door middel van frezen, wat de bodemstructuur aantast, met de bodem gemengd zou worden, moest de machine het slib zelf zo goed mogelijk in de bodem verspreiden.

Dit experiment heeft aangetoond dat de mate van doorworteling van de zode van invloed is op de te gebruiken messen. Graslanden die recent in agrarisch gebruik zijn geweest, hebben een relatief ondiepe doorworteling. Hier volstaan de “ganzenvoeten” die in de eerste veldtest zijn gebruikt. Is het grasland echter geruime tijd uit agrarische productie en heeft er sindsdien weinig tot geen bodembewerking plaatsgevonden, dan kan worden verwacht dat de bodem sterk en diep doorworteld is. In dat geval zijn messen met extra snijvlakken noodzakelijk, zoals in de 2^e veldtest zijn gebruikt.

De dosis van de toe te dienen vloeistof (in dit geval drinkwaterslib) kan bij moderne injecteurs zeer nauwkeurig worden ingesteld. Hier zit echter wel een bovengrens aan, die wordt ingegeven door een combinatie van de minimale rijsnelheid en de benodigde druk voor injectie. Op terreinen waarbij de toe te dienen dosis drinkwaterslib hoger is dan wat technisch mogelijk is, zal daarom een herhaalbehandeling noodzakelijk zijn. Dit zal vermoedelijk niet op korte termijn na de eerste behandeling mogelijk zijn, aangezien het drinkwaterslib eerst in de bodem zal moeten intrekken. Wij hebben naar dit aspect verder geen onderzoek gedaan.

De injectorpoten zaten op een onderlinge afstand van ca. 25 cm. Aan elke injectorpoot was een sproeibuis bevestigd die het ijzerslib breedwerpig verdeelde. Het was de vraag of deze afstand klein genoeg was om het drinkwaterslib op een gelijkmatige manier in de bodem aan te brengen. Uit Figuur 4-9 blijkt dat de variatie in Fe-ox gehalte echter vrij groot is. De horizontale verdeling van het drinkwaterslib, en de menging van het slib door de bodem, is duidelijk minder dan met frezen kan worden bereikt. Daar staat tegenover dat de bodemstructuur op deze wijze intact is gebleven.

De uitkomst van beide veldtesten is dat een “prototype” is ontwikkeld die met succes drinkwaterslib in de bodem kan inbrengen, ongeacht de mate van doorworteling.

5 Effecten op bodemorganismen

5.1 Introductie

Het belang van een goede bodemkwaliteit, met een gezonde bodemmesofauna gemeenschap, wordt door meer en meer terreinbeheerders onderschreven. Onder bodemmesofauna wordt hier bedoeld: ongewervelden met een grootte tussen 0.1 mm en 2mm, die in de bodem leven, of voorkomen in de strooisellaag op de bodem.

Het is niet ondenkbaar dat het mengen van drinkwaterslib met de bodem effect heeft op de samenstelling en/of activiteit van deze mesofauna. Om meer inzicht te krijgen in deze potentiële effecten, is voor dit onderzoek één soortgroep geselecteerd, de springstaarten (*Collembola*). Joost Vogels van Stichting Bargerveen heeft in zowel de Groote Heide als in De Scheeken analyses aan springstaarten verricht. Onderstaande paragrafen doen verslag van zijn bijdrage.

5.2 Achtergrondinformatie springstaarten

Kennis over de activiteit, dichtheid en samenstelling van de bodemmesofauna gemeenschap geeft inzicht in de belangrijkste omvormingsprocessen in de bodem. Binnen springstaarten kan onderscheid gemaakt worden in het substraat waarin bepaalde soorten of soortgroepen leven. Deze verschillende aanpassingen aan substraatvormen zijn grofweg onderscheidbaar naar diepte waarin deze organismen leven: op de bodem en/of vegetatie, in strooisellagen, of dieper in de bodem.

Grofweg kan gesteld worden dat de soorten die op of in de toplaag van de bodem voorkomen met name van belang zijn bij het omvormen van ruw strooisel naar meer gefragmenteerde humus, en dat soorten die dieper in de bodem leven daaropvolgend deze gefragmenteerde humusvormen nog verder verfijnen en afbreken. Springstaarten vervullen een belangrijke rol in de omzetting van strooisel naar fijnere humusvormen en dragen substantieel bij aan het stimuleren van de afbraak van organisch materiaal. Hierdoor beïnvloeden zij de snelheid van het weer beschikbaar komen van voedingstoffen die zijn vastgelegd in organische stof. Ook beïnvloeden ze de richting van bodemvormende processen: een hoge activiteit van springstaarten leidt tot een betere fragmentatie en afbreekbaarheid van strooisel en humuspartikels, waardoor ophoping van strooisel en/of ruw organisch materiaal niet optreedt. Een eventuele remming in de groei en activiteit van de bodemmesofaunagemeenschap als geheel kan een belangrijke vertraging in de ontwikkeling van het tot doel gestelde habitatype betekenen. Een eventuele remming in groei en reproductie van een van de functionele groepen kan bovendien leiden tot ophoping van hetzij strooisel, gefragmenteerde humus of fijnere humuspartikels.

Uit eerder onderzoek blijkt dat het na ontgronden zeer lang kan duren voordat de bodemmesofaunagemeenschap zich kan herstellen, en dat het inbrengen ervan ook problemen met zich mee brengt (condities zijn vaak jaren nog ongeschikt als gevolg van de uitgangssituatie na ontgronden). Onbekend is in welke mate een overmaat fosfaat invloed uitoefent op de samenstelling van de bodemmesofauna, en of deze door vastlegging met behulp van ijzerslib verandert. Ook is onbekend of, en in welke mate een eenmalige toediening van ijzerslib een negatief effect uitoefenen op de bodemmesofaunagemeenschap. In hoge concentraties kan ijzer een negatief effect uitoefenen op de voedingsactiviteit en groei van *Collembola*. Veel bodemorganismen kunnen metalen accumuleren in hun weefsels,

en het ijzergehalte van springstaarten is doorgaans hoger in bodems met hoge ijzerconcentraties (Janssen & Hogervorst, 1993). Springstaarten zijn evenwel in staat om (zware) metalen op te slaan in het darmwandepitheel, welke zij bij de volgende vervelling uitscheiden als pellet (Hopkin, 1997). Toch maakt dit deze organismen niet immuun voor hoge concentraties ijzer, aangezien er ook metabolische kosten aan het omgaan met overmaten aan metalen zijn verbonden. In laboratoriumproeven traden negatieve effecten op de voedingsactiviteit op bij concentraties boven 135 $\mu\text{mol Fe/g}$ bodem, de groei was sterk geremd bij concentraties boven 63 $\mu\text{mol Fe/g}$ bodem (Nottrot et al., 1987). Ter vergelijking, in De Scheeken waren de Fe concentraties in de Fe-behandeling met gemiddeld 38 $\mu\text{mol/g}$ bodem ruim beneden deze waarden.

5.3 Methode

5.3.1 Bemonstering

Van de proeflocaties in de Groote Heide en De Scheeken zijn de volgende behandelingen bemonsterd:

- Controle (proefvlakken C1, C2 en C3). In De Groote Heide ontbrak een derde controle proefvlak. In plaats daarvan is een ongestoorde locatie net buiten de in Figuur 2-2 weergegeven proefvlakken bemonsterd.
- Zode verwijdering (proefvlakken Z1, Z2 en Z3).
- Zode verwijdering plus ijzerslib (proefvlakken ZFe1, ZFe2, ZFe3)

De bemonsteringen vonden plaats op 24 november 2016 (Groote Heide) en op 16 juni 2016 (De Scheeken). Opgemerkt moet worden dat ten tijde van de bemonstering in De Scheeken een periode van extreme neerslag voorafgegaan was. Hierdoor was in de bodem verzadigd met water; water stond in een groot deel van de proefvlakken tot boven maaiveld. In die situaties zijn de hoogst gelegen delen van de proefvlakken bemonsterd, maar deze bleken bij het bemonsteren eveneens verzadigd met water.

Springstaarten zijn bemonsterd door middel van het steken van bodemkernen. Deze monsters zijn vervolgens direct na bemonstering in een Tullgren apparaat geplaatst, om alle in de gestoken bodemkern aanwezige dieren te extraheren (gedetailleerde methode is beschreven in van Straalen & Rijninks, 1982). Na een periode van drie weken van extractie zijn de fauna monsters in afgesloten buisjes op 70% alcohol gehouden voor latere determinatie. Uit de verkregen monsters zijn vervolgens alle springstaarten (*Collembola*) tot het laagst mogelijke taxonomische niveau gedetermineerd, met gebruik van de determinatietabel van Hopkin (2007).

5.3.2 Gegevensanalyse op basis van autecologie

Soorten en soortgroepen zijn geïdentificeerd op basis van de eerst door Gisin (1943) voorgestelde onderverdeling in levensvormen, vochtvoorkeur en biotooppreferentie.

De verschillende levensvormen binnen de *Collembola* zijn opgesteld op basis van duidelijke morfologische verschillen binnen deze groep, die gezamenlijk een afspiegeling vormen van de diepte waarin deze organismen leven, en van het type substraat waarvan ze leven:

- o **Epedaphisch:** soorten die hun gehele levenscyclus op of boven de bodem (in vegetatie) doorlopen. Gepigmenteerd, het pigment vaak onregelmatig verdeeld zodat de dieren een tekening vertonen. Grote dieren met 8+8 goed ontwikkelde ogen. Furca sterkst ontwikkeld, antennen en beharing lang. Post-antennal organ ontbreekt.

- o **Hemi-edaphisch:** soorten die een deel van hun levenscyclus op de bodem doormaken en/of soorten die hun levenscyclus volbrengen in de bovenste strooisel- en humuslaag. Gepigmenteerde dieren van gemiddelde grootte met 8+8 ogen. Post antennal organ aanwezig maar vrij eenvoudig van bouw, furca aanwezig, antennen en beharing middellang.
- o **Eu-edaphisch:** soorten die hun gehele levenscyclus in de bodem doorlopen (onder de strooisellaag). Kleine soorten, vaak pigmentloos met gereduceerd aantal of geheel ontbreken van ogen en sterk gereduceerde of ontbrekende furca. Antennen en beharing kort. Post-antennal organ (een klier, belangrijk als afweermecanisme tegen predators) aanwezig en vaak complex van bouw.

Daarnaast is een onderverdeling gemaakt op basis van de vochtvoorkeuren. Xerofiele soorten zijn bewoners van ruw strooisel, mossen en korstmossen, mesofiele soorten zijn typische bewoners van goed gebufferde dikke strooisel- en humuspakketten en hygrofiele soorten zijn soorten die veelal in habitats leven waar water vaak periodiek tot of op het maaiveld staat. Eu-edaphische soorten zijn gevoelig voor droogtestress, aangezien zij juist zijn aangepast aan diepere bodemlagen, die jaarrond vochtig blijven. Deze soorten zijn meestal mesofiel, soms hygrofiel. Hemi-edaphische soorten kunnen xerofiel, mesofiel of hygrofiel zijn. Epedaphische soorten zijn door hun levenswijze gedwongen om aangepast te zijn aan droogtestress, en kunnen het beste beschouwd worden als xerofiele soorten.

Tenslotte zijn de soorten en/of soortgroepen ingedeeld op basis van biotoopvoorkeur. Deze classificatie is zeer grof en bovendien gebaseerd op buitenlandse situaties. Onderscheiden biotoopvoorkeuren zijn: bossen, veen, grasland en eurytope soorten (soorten zonder voorkeur, brede verspreiding).

5.3.3 Statistische analyse

Verschillen in samenstelling van de springstaartgemeenschap tussen de behandelingen is voor beide locaties afzonderlijk geanalyseerd door middel van detrended correspondence analysis (DCA). Aangezien in beide gevallen de lengte van de eerste as in een DCA minder was dan 4 standaarddeviaties, is de gemeenschap vervolgens geanalyseerd door middel van principale component analyse (PCA; Leps & Smilauer, 2003).

Verschillen in dichtheden van springstaarten en autecologisch verwante groepen van springstaarten tussen behandelingen zijn getoetst op statistische significantie door middel van Generalized Linear Models, met een quasipoisson errorverdeling. Verschillen in Adult-juvenile ratio's zijn geanalyseerd door middel van een simpel lineair model, aangezien dit normaal verdeelde data was. Statistische analyse is uitgevoerd door middel van het statistiek programma R (R Core Team, 2015), met gebruik making van het package 'Vegan' voor correspondentie analyse (Oksanen et al., 2015).

5.4 Resultaten

5.4.1 Effect van behandelingen op samenstelling springstaart gemeenschappen

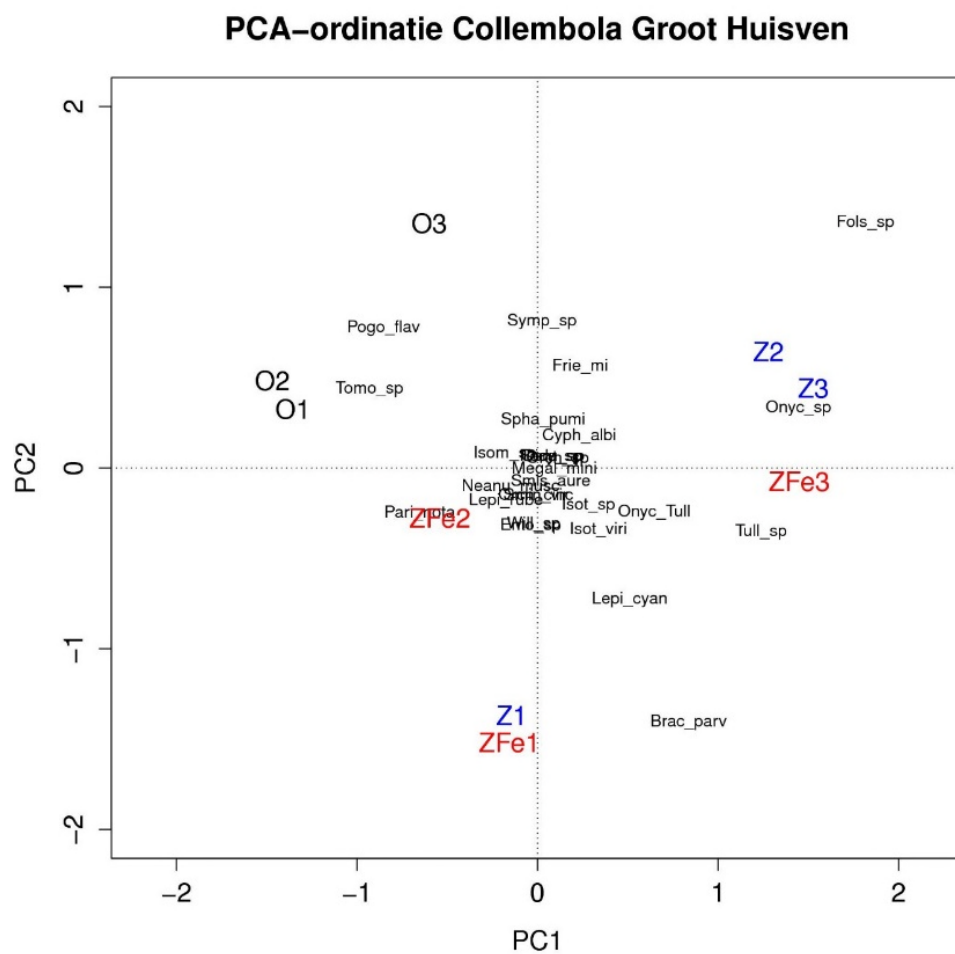
5.4.1.1 Groote Heide

De samenstelling van de springstaartgemeenschap in de onbehandelde proefvlakken (C1 t/m 3) was duidelijk verschillend van die in de zode verwijdering (Z1 t/m 3) en de zodeverwijdering met ijzerslib behandelingen (ZFe1 t/m 3; Figuur 5.1). Van deze twee behandelingen waren de verschillen in samenstelling tussen de monsterpunten groter dan in de controle behandelingen, met name bij de ijzerslib behandelingen. De monsterpunten Z2, Z3 en ZFe3 weken in samenstelling af van de andere Z- en ZFe-behandelingen door een hoge

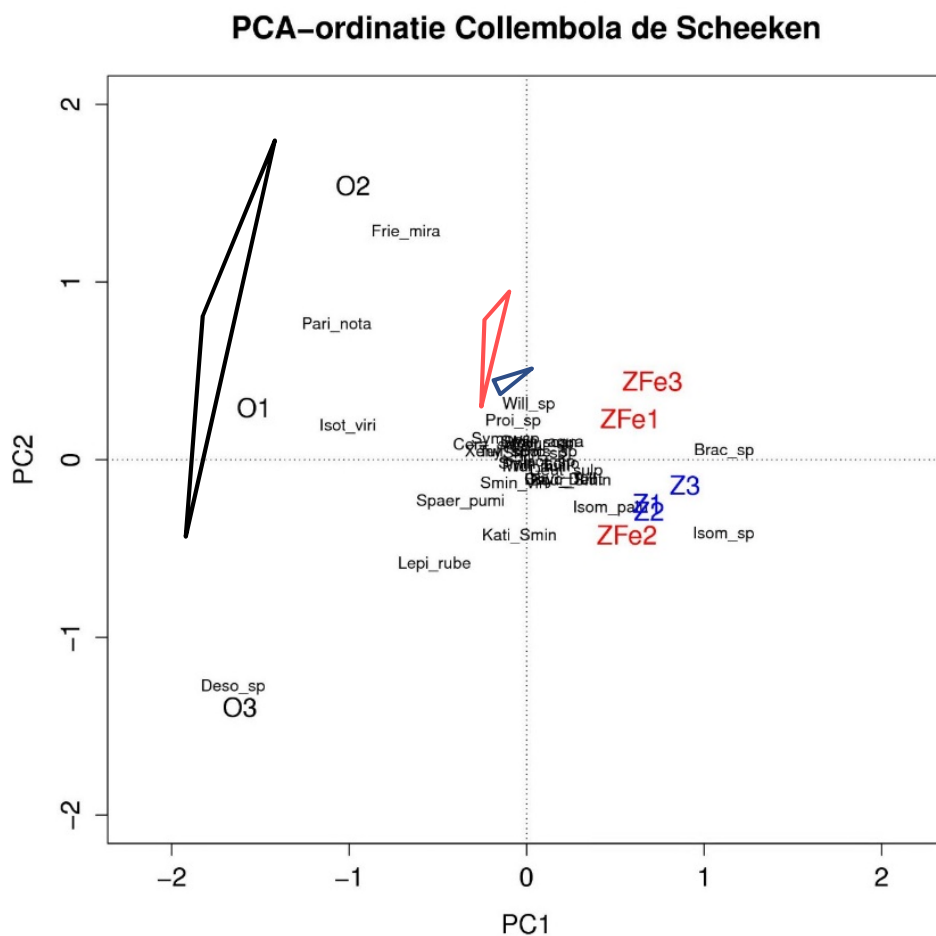
dichtheid van *Folsomia* sp. In ZFe3 zijn in tegenstelling tot ZFe1 en 2 hoge aantallen Onychiuridae en Tullbergiidae aangetroffen. In de controle behandelingen waren de ep/hemi-edaphische soorten *Pogognathellus flavescens* en *Tomocerus* sp. de sterkst differentiërende soorten, met gemiddeld 37 en 32 individuen in de controle behandelingen, en gemiddeld tussen 1 en 3 individuen in de Z- of ZFe-behandelingen (Bijlage tabel VI). *Brachystomella parvula* (hemi-edaphisch) was met gemiddeld 48 en 17 individuen goed vertegenwoordigd in de Z- en ZFe-behandelingen; in de controle behandelingen is deze soort niet aangetroffen. De uitsluitend eu-edaphische families Onychiuridae en Tullbergiidae zijn eveneens in hogere aantallen in de Z- en ZFe-proefvlakken aangetroffen, maar dichtheden verschilden binnen de behandelingen vrij sterk. Onychiuridae zijn in de hoogste aantallen in de Z-behandelingen aangetroffen, in de ZFe-behandelingen waren de dichtheden lager. *Lepidocyrtus cyaneus* (hemi-edaphisch) was eveneens algemener in de Z- en ZFe-behandelingen maar verschilde in dichtheden weinig tussen beide behandelingen. Deze soort kwam ook in redelijke aantallen voor in de controle behandelingen, maar in beduidend lagere dichtheden dan in de Z- en ZFe-behandelingen. Eenzelfde beeld komt naar voren voor *Isotoma viridis* en *Isotoma* sp.

5.4.1.2 De Scheeken

De samenstelling van de springstaartgemeenschap in de onbehandelde proefvlakken (O1 t/m 3) verschilde duidelijk van die van de zode verwijdering (Z1 t/m3) en zodeverwijdering met ijzerslib behandeling (ZFe1 t/m 3; Figuur 5.2). In tegenstelling tot de Groote Heide zijn de onderlinge verschillen de controle behandelingen groter dan in de Z- en ZFe-behandelingen. In de controle behandelingen waren de hemi-edaphische soorten *Friesea mirabilis*, *Parisotoma notabilis*, *Isotoma viridis* en *Desoria* sp. de belangrijkste differentiërende soorten. Onderlinge verschillen in dichtheden van deze soorten verklaren eveneens de hogere variatie tussen de controle proefvlakken. *F. mirabilis* en *P. notabilis* zijn eurytope soorten met een voorkeur voor vochtige omstandigheden, *Desoria* sp zijn soorten die hoge dichtheden in compost en uitgesproken eutrofe situaties behalen. *I. viridis* is eveneens een algemene soort, maar kan als karakteristiek voor enige situaties beschouwd worden. De samenstelling van de Z en ZFe behandelde verschilde weinig van elkaar, en tussen verschillende replica's waren de verschillen eveneens klein. Deze monsterpunten werden gedomineerd door hoofdzakelijk juveniele individuen, met hoge dichtheden van *Brachystomella parvula*, *Isotomurus* sp. (waarschijnlijk juveniele *I. palustris*) en relatief hoge dichtheden van adulte individuen *Isotomurus palustris*. *Brachystomella parvula* is een uitgesproken eurytope soort die vaak in hoge dichtheden in pioniersituaties voorkomt en *Isotomurus palustris* is eveneens een eurytope, vochtminnende soort die goed bestand is tegen veranderende abiotische omstandigheden (Berg et al., 2001).



FIGUUR 5.1. PCA-ORDINATIE DIAGRAM VAN ALLE BEMONSTERDE *COLLEMBOLA* IN DE PROEFVLAKKEN IN DE GROOTE HEIDE. O1 T/M 3: ONBEHANDELDE PROEFVLAKKEN (=C1-C3); VOOR AFKORTINGEN VAN DE SOORTEN EN SOORTGROEPEN ZIE BIJLAGE TABEL V.



FIGUUR 5.2. PCA-ORDINATIE DIAGRAM VAN ALLE BEMONSTERDE *COLLEMBOLA* IN DE PROEFVLAKKEN IN DE SCHEEKEN. O1 T/M 3: ONBEHANDELDE PROEFVLAKKEN (=C1 T/M C3). VOOR AFKORTINGEN VAN DE SOORTEN EN SOORTGROEPEN ZIE BIJLAGE TABEL V.

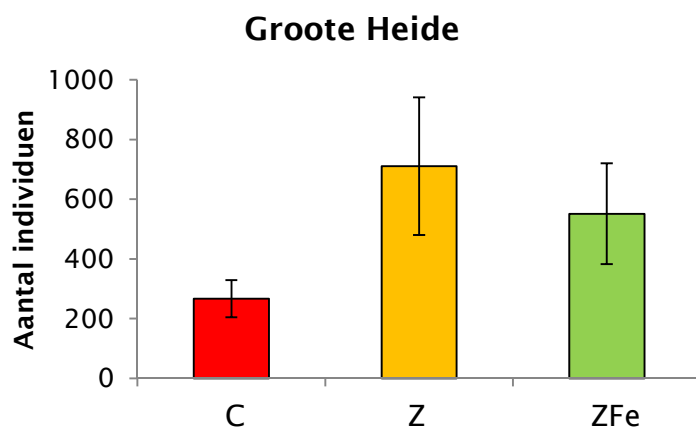
Alle in De Scheeken in substantiële aantallen aangetroffen soorten kennen een hemi-edaphische levenswijze. Dit is een sterk contrast ten opzichte van de proefvelden in de Groote Heide, waar soorten met een eu-edaphische levenswijze eveneens een substantieel aandeel van de gemeenschap innamen.

5.4.2 Verschillen in dichtheden

5.4.2.1 Totaal aantal

Groote Heide

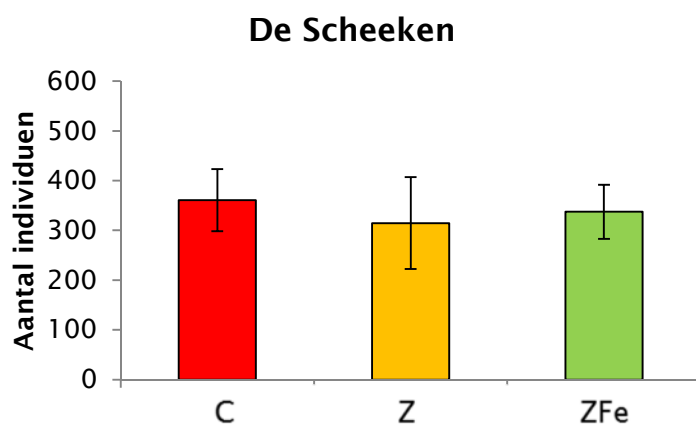
Het totaal aantal *Collembola* was hoger na zode verwijdering met of zonder ijzerslib dan in de controle, maar deze verschillen waren niet significant (Z en ZFe vs C; Figuur 5.3). Het is mogelijk dat de ijzerslib toevoeging de toename van *Collembola* (na het verwijderen van de zode) hier wat heeft geremd.



FIGUUR 5.3 GEMIDDELD AANTAL INDIVIDUEN (± 1 S.E.) IN DE IJZERSLIB PROEFVLAKKEN IN DE GROOTE HEIDE. C = CONTROLE, Z = ZODE VERWIJDERING, ZFe = ZODE VERWIJDERING PLUS IJZERSLIB.

De Scheeken

Het totaal aantal aangetroffen *Collembola* verschilde in De Scheeken niet significant tussen de behandelingen. Het gemiddeld aantal bemonsterde *Collembola* in de controle behandeling in De Scheeken (361.0) was hoger dan in de Groote Heide (266.6); de aantallen in de zode verwijdering met en zonder ijzerslib waren in De Scheeken echter niet verschillend ten opzichte van de controle behandeling (Figuur 5.4).

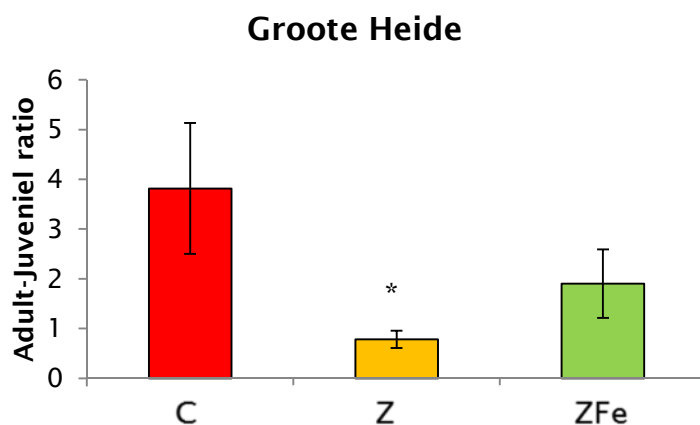


FIGUUR 5.4 GEMIDDELD AANTAL INDIVIDUEN (± 1 S.E.) IN DE IJZERSLIB PROEFVLAKKEN IN DE SCHEEKEN.

5.4.2.2 Adult-juveniel ratio

Groote Heide

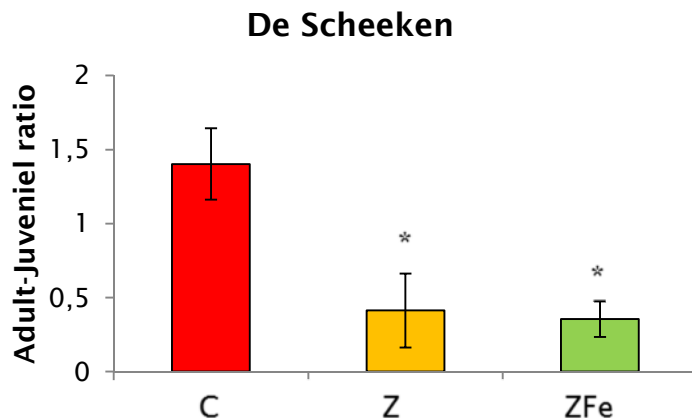
De Adult-Juveniel Ratio (aantal adulte individuen gedeeld door het aantal juveniele individuen in een monster; Figuur 5.5) was significant lager in de Z-behandeling (Linear model: $t=-2.483$, $p<0.05$), maar niet in de ZFe-behandeling. De verminderde toename in reproductie in de ZFe-behandeling is in lijn met de gevonden lagere dichtheden *Collembola* in de ZFe-behandelingen opzichte van de Z-behandeling.



FIGUUR 5.5 GEMIDDELTE VERHOUDING TUSSEN ADULTEN EN JUVENIELEN, (± 1 S.E.) IN DE IJZERSLIB PROEFLAKKEN IN DE GROOTE HEIDE. * GEEFT SIGNIFICANT VERSCHIL AAN T.O.V. CONTROLE.

De Scheeken

De Adult-Juvenile Ratio verschilde in De Scheeken significant tussen behandelingen (ANOVA: $F=7.70$; $p=0.022$) en was significant lager in zowel de Z- als ZFe-behandelingen ten opzichte van de controle behandeling (Tukey post-hoc test: Niks : Zode $p=0.038$; Niks : Zode Fe: $p=0.030$;). Ten opzichte van de Adult:Juvenile ratio in de Groote Heide valt tevens op dat deze in de controle behandeling in De Scheeken (1.4) beduidend lager is dan die van in de Groote Heide (3.8).



FIGUUR 5.6. GEMIDDELTE VERHOUDING TUSSEN ADULTEN EN JUVENIELEN, (± 1 S.E.) IN DE IJZERSLIB PROEFLAKKEN IN DE SCHEEKEN. * GEEFT SIGNIFICANT VERSCHIL AAN T.O.V. CONTROLE.

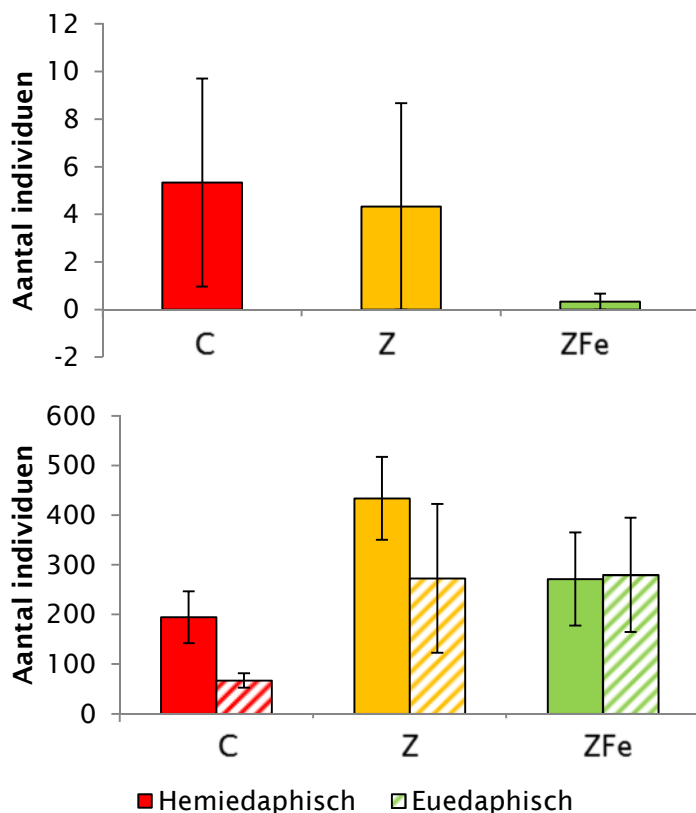
5.4.2.3 Levensvorm

Groote Heide

Het aantal epedaphische *Collembola* was in alle behandelingen laag en erg variabel (Figuur 5.7, bovenste grafiek). Verschillen tussen de behandelingen waren niet significant. Het aantal eu- en hemi-edaphische *Collembola* was veel hoger dan het aantal epedaphische soorten, in alle locaties (Figuur 5.7, onderste grafiek). Deze waren doorgaans hoger in de Z- en ZFe-behandelingen, maar de aantallen varieerden sterk in de verschillende monsters. Het aantal eu-edaphische *Collembola* verschilde niet significant van de controle behandeling. Het

aantal hemi-edaphische *Collembola* was licht, maar niet significant hoger in de Z-behandeling (GLM: $t=2.038$; $p<0.09$). Het aantal hemi-edaphische soorten was lager in de ZFe-behandelingen dan in de Z-behandeling. Het aantal eu-edaphische *Collembola* verschilde evenwel niet tussen deze behandelingen.

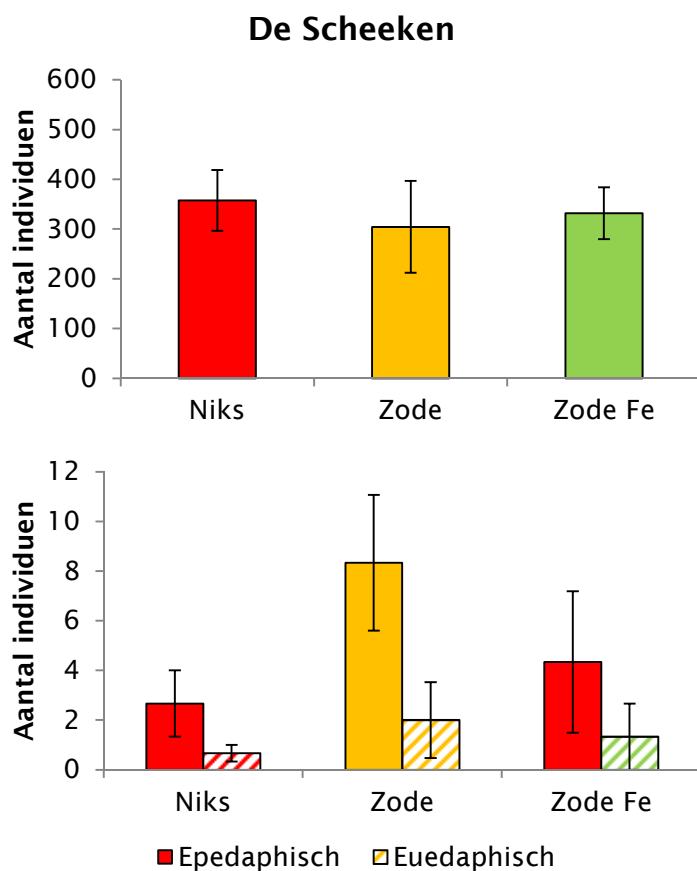
Groote heide



FIGUUR 5.7. GEMIDDELD AANTAL (± 1 S.E.) EPEDAPHISCHE (BOVENSTE GRAFIEK), HEMI-EDAPHISCHE EN EU-EDAPHISCHE *COLLEMBOLA* (ONDERSTE GRAFIEK) IN DE IJZERSLIB PROEFVLAKKEN IN DE GROOTE HEIDE.

De Scheeken

Het aantal epedaphische *Collembola* was in alle behandelingen laag en erg variabel (Figuur 5.8, onderste grafiek) en verschillen tussen de behandelingen waren niet significant. Het aantal eu-edaphische *Collembola* was in De Scheeken, in sterk contrast met de Groote Heide, eveneens laag in alle behandelingen. Enkel hemi-edaphische *Collembola* zijn in hoge aantallen in alle behandelingen aangetroffen (Figuur 5.8, bovenste grafiek). Het gemiddelde aantal hemi-edaphische *Collembola* was in alle behandelingen gelijk, variërend tussen 304.3 en 357.7 individuen. Doorgaans zijn eu-edaphische soorten in hogere aantallen aanwezig dan hemi-edaphische soorten, behalve als de condities in de diepere bodem minder gunstig zijn dan in de ondiepe bodem/strooisel. In oude, ongestoorde graslanden komen meer eu- dan hemi-edaphische *Collembola* voor, terwijl in jonge, verstoorde graslanden hemi-edaphische soorten sneller toe kunnen nemen dan eu-edaphische soorten. Dieper in de bodem moet de schimmelaafbraak eerst weer goed op gang zijn gekomen voordat daar een grote populatie *Collembola* op grazen kan. Na frezen en/of ploegen/ontgronden heeft dit herstel enige tijd nodig.

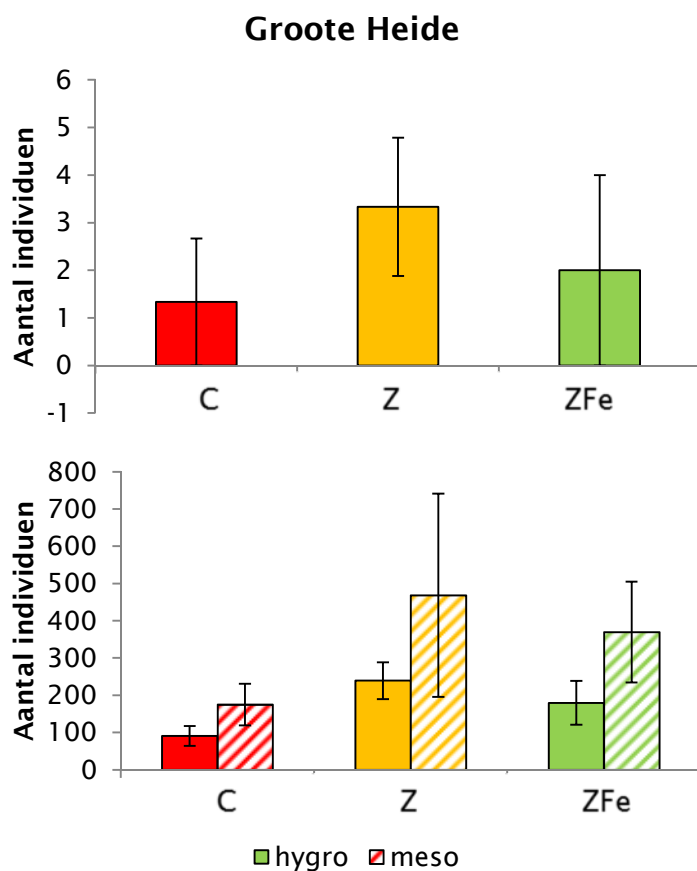


FIGUUR 5.8 GEMIDDELD AANTAL (± 1 S.E.) HEMI-EDAPHISCHE (BOVENSTE GRAFIEK) EN EPDAPHISCHE EN EU-EDAPHISCHE *COLLEMBOLA* (ONDERSTE GRAFIEK) IN DE IJZERSLIB PROEFVLAKKEN IN DE GROOTE HEIDE.

5.4.2.4 Droogtetolerantie

Groote Heide

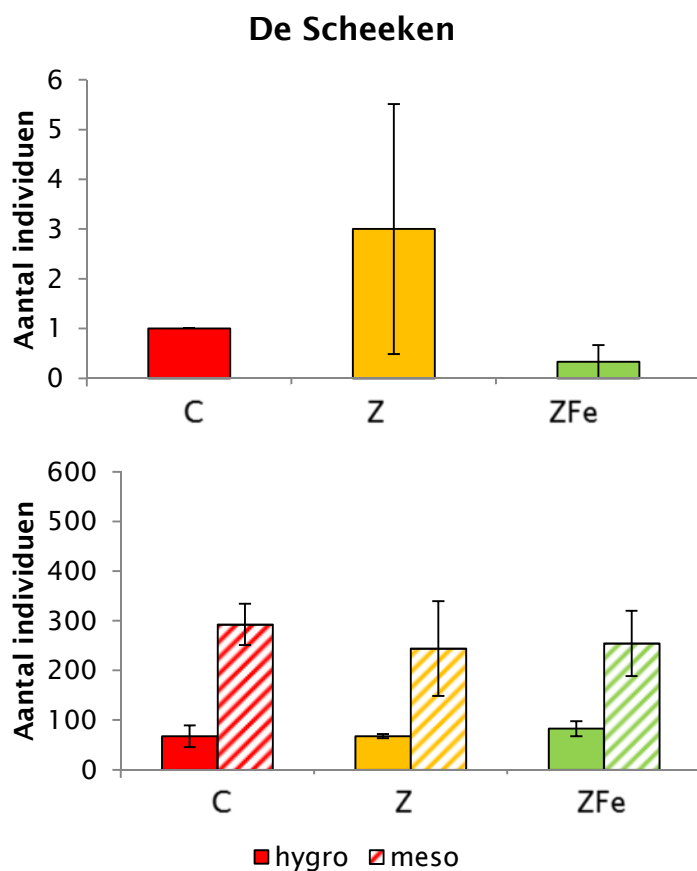
Het aantal *Collembola* was voor elke groep (xerofiel, mesofiel en hygrofiel) gemiddeld het hoogst in de Z-behandeling, al waren overal de verschillen niet significant. Het aantal xerofiele *Collembola* (doorgaans epedaphische soorten) was laag in alle behandelingen en verschilde niet tussen de behandelingen (Figuur 5.9).



FIGUUR 5.9 GEMIDDELD AANTAL (± 1 S.E.) XEROFIELE (BOVENSTE GRAFIEK), HYGROFIELE EN MESOFIELE *COLLEMBOLA* (ONDERSTE GRAFIEK) IN DE IJZERSLIB PROEFVLAKKEN IN DE GROOTE HEIDE.

De Scheeken

Het gemiddeld aantal xerofiele *Collembola* in De Scheeken was in De Scheeken eveneens laag ten opzichte van de aantallen meso- en hygrofiele soorten (Figuur 5.10; bovenste grafiek). Het aantal meso- en hygrofiele *Collembola* verschilde eveneens niet significant tussen de behandelingen (Figuur 5.10; onderste grafiek). Opvallend is het verschil in dichtheden van hygrofiele *Collembola* in De Scheeken (67.7-82.7) ten opzichte van de Groote Heide (90.7-239.0).



FIGUUR 5.10 GEMIDDELD AANTAL (± 1 S.E.) XEROFIELE (BOVENSTE GRAFIEK), HYGROFIELE EN MESOFIELE *COLLEMBOLA* (ONDERSTE GRAFIEK) IN DE IJZERSLIB PROEFVLAKKEN IN DE SCHEEKEN.

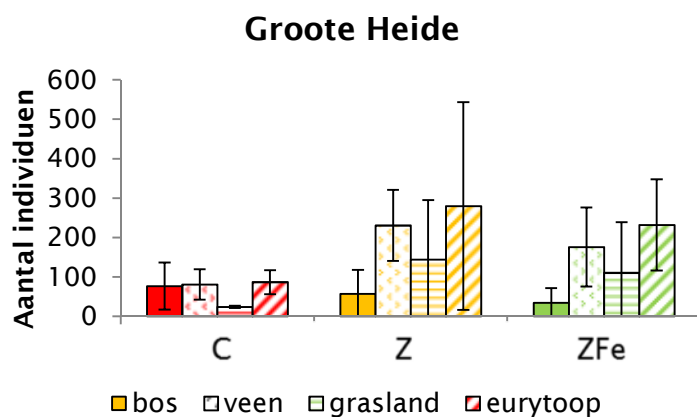
5.4.2.5 Gisin-biotoopkarakteristiek

Groote Heide

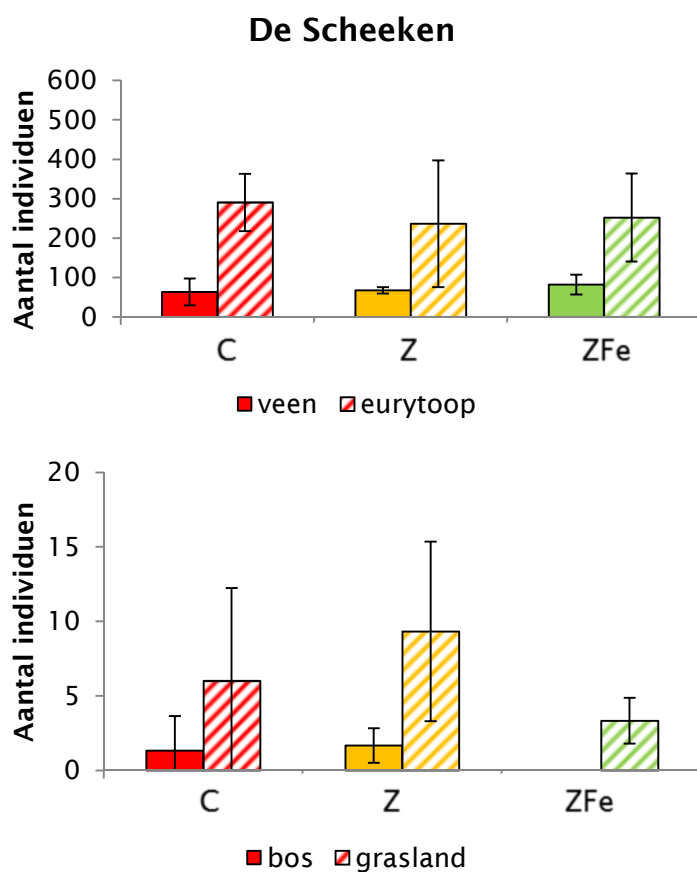
Afgezien van het aantal specifiek voor bosbodems geclassificeerde *Collembola*, waren de dichtheden van *Collembola* karakteristiek voor veen, grasland en eurytope soorten overall hoger in de Z- en ZFe-behandelingen dan in de controle behandelingen, al waren de aantallen niet significant verschillend (Figuur 5.11).

De Scheeken

In De Scheeken zijn op basis van de onderverdeling in Gisin-biotoop karakteristieken geen verschillen in dichtheden tussen de behandelingen gevonden (Figuur 5.12). In alle behandelingen nemen eurytope *Collembola* het grootste aandeel in, gevolgd door soorten die als karakteristiek voor venige situaties gelden. Soorten karakteristiek voor bos- en grasland systemen komen in De Scheeken in alle behandelingen in lage dichtheden voor, hetgeen contrasteert met de situatie in de Groote Heide, waar deze in beduidend hogere dichtheden zijn aangetroffen.



FIGUUR 5.11 GEMIDDELD AANTAL (± 1 S.E.) *COLLEMBOLA* VERDEELD OVER DE BIOTOOPCLASSIFICATIE VAN GISIN (1943) IN DE IJZERSLIB PROEFVLAKKEN.



FIGUUR 5.12 GEMIDDELD AANTAL (± 1 S.E.) *COLLEMBOLA* VERDEELD OVER DE BIOTOOPCLASSIFICATIE VAN GISIN (1943) IN DE IJZERSLIB PROEFVLAKKEN. BOVENSTE GRAFIEK: SOORTEN KARAKTERISTIEK VOOR VEEN EN EURYTOPE SOORTEN. ONDERSTE GRAFIEK: SOORTEN KARAKTERISTIEK VOOR BOS EN GRASLAND.

5.5 Discussie

5.5.1 Algemene overwegingen

Allereerst moet vastgesteld worden dat het aantal replica's in beide proeven erg laag is om robuust statistische verschillen tussen behandelingen aan te kunnen tonen. Dit is vooral bij aantalsbemonsteringen van belang, aangezien deze vaak een hogere mate van spreiding ten opzichte van het gemiddelde vertonen dan bijvoorbeeld metingen aan bodemchemische parameters. Ook misten de proeven een behandelcombinatie (geen zode verwijdering, wel ijzerslib toediening), waardoor het ook niet mogelijk was om te toetsen op de enkele behandelingseffecten. Door de hoge mate van interne variatie in totaal aantal bemonsterde *Collembola* tussen de replica's, in combinatie met het laag aantal replica's per behandeling waren vrij grote verschillen in gemiddelde aantallen vaak niet significant, en kon er enkel van een significante trend gesproken worden. Dit maakt het niet mogelijk om zeer harde uitspraken te doen over de effecten van ijzerslib toediening op springstaarten.

Daarnaast is ook duidelijk geworden dat er grote verschillen in samenstelling en respons bestaan tussen de proefopzet in de Groote Heide en De Scheeken. Deze zal deels een gevolg zijn van verschillen in uitgangssituatie, zoals verschillen in bodemtype, gemiddelde grondwaterstand, nutriëntstatus, etc. Een ander verschil tussen de monsternamen in de Groote Heide en De Scheeken was de situatie met betrekking tot het grondwater. In De Scheeken stond als gevolg van excessieve neerslaghoeveelheden in de weken voorafgaand aan de bemonstering water tot boven maaiveld. Deze zeer natte omstandigheden zullen ook invloed hebben uitgeoefend op de samenstelling van de springstaartgemeenschap op dat moment. Om deze redenen is gekozen om de resultaten van beide experimenten afzonderlijk van elkaar te analyseren. Significante verschillen, maar ook significante trends zijn hierbij gebruikt om deze invloed te duiden.

5.5.2 Effecten van behandelingen op de springstaartgemeenschap

De samenstelling van de springstaartgemeenschappen bij zowel de Z-behandeling als de ZFe-behandeling was beduidend anders dan die van de controle behandeling. In de Groote Heide waren met name een aantal eu-edaphische soorten en soortgroepen (Onychiuridae, Tullbergiidae) in de Z- en ZFe-behandelingen sterk in aantal toegenomen, terwijl een aantal hemi-edaphische soorten (*Pogognathellus flavescens*, *Tomocerus* sp.) nagenoeg afwezig waren in de Z- en ZFe-proefvlakken. Hiervoor in de plaats zijn andere hemi-edaphische soorten gekomen, waarbij *Brachystomella parvula* het meest uitgesproken voorbeeld is. Dit is een soort met een voorkeur voor open graslandsystemen, en is vaak de dominante soort in open, spaarzaam begroeide pioniersituaties. In De Scheeken waren eu-edaphische soorten echter in geen van de behandelingen in hoge aantallen aangetroffen. Verschuivingen in soortensamenstelling vonden plaats binnen hemi-edaphische soorten, met *Desoria* sp., *Parisotoma notabilis* en *Friesea mirabilis* in duidelijk hogere abundanties in de onbehandelde proefvlakken. In de Z- en ZFe-behandelingen waren *Brachystomella parvula* en *Isotomurus palustris* in beduidend hogere dichtheden aanwezig. Anders dan in de Groote Heide was er geen verschil in samenstelling tussen de Z- en ZFe-behandelingen in De Scheeken.

Met het verwijderen van de zode is de toplaag van de bodem eveneens gefreesd. Het lijkt er op dat deze maatregel de mineralisatie van strooisel in de Groote Heide fors heeft gestimuleerd, aangezien dichtheden van *Collembola* in deze behandelingen gemiddeld hoger waren dan in de controle behandelingen. Door de hoge mate van spreiding en het laag aantal replica's was dit effect statistisch gezien echter niet significant ($p < 0.1$). In De Scheeken is dit effect niet waargenomen. De adult-juveniel ratio was echter wel significant lager in de zode verwijderingsbehandeling dan in de controle behandeling; zowel in de

Groote Heide als in De Scheeken. Dit is een indicatie dat de reproductie activiteit van springstaarten door deze behandeling sterk is toegenomen, mogelijk als gevolg van een toegenomen voedselaanbod (fungi) door toegenomen mineralisatie van organisch materiaal.

Soorten die in diepere bodemlagen leven (eu-edaphische soorten) waren nagenoeg afwezig in De Scheeken, terwijl zij in de Groote Heide een substantieel aandeel in de gemeenschap innamen. Dit verschil is waarschijnlijk een gevolg van verschillen in hydrologische condities tussen beide locaties: ten tijde van bemonstering in De Scheeken stond grondwater op tot boven maaiveld. Lange perioden van waterverzadigde bodemcondities hebben een negatief effect op dichtheden van *Collembola* door het snel optreden van anoxische condities. Hemi- en epedaphische soorten zijn door hun relatief hogere mobiliteit beter in staat om deze condities te ontwijken dan eu-edaphische soorten (Hopkin, 1997). Bij langdurige inundatie sterven adulten en juvenielen van eu-edaphische soorten en is heropbouw van de populatie alleen mogelijk uit de resistentere ei-fase of vanuit migratie vanuit restpopulaties uit de omgeving (Irmler, 2004). Het laatste kan meerdere maanden in beslag nemen.

In de Groote Heide namen eu-edaphische soorten niet significant toe in de Z- en ZFe-behandelingen, verschillen tussen beide behandelingen waren minimaal. In contrast hiermee was de reactie van de hemi-edaphische *Collembola*. Zij lieten een trend zien richting hogere aantallen bij de Zode verwijderingsbehandeling ten opzichte van de controle, maar verschillen waren niet significant. In De Scheeken was evenwel geen verschil in abundantie van hemi-edaphische soorten tussen de verschillende behandelingen gevonden. Uitgaande van de resultaten van de Groote Heide is er een indicatie dat hemi-edaphische springstaarten net als eu-edaphische springstaarten gestimuleerd zijn door de zodeverwijderings-behandeling, maar dat zij in contrast met de eu-edaphische springstaarten licht geremd worden door de ijzerslib behandeling. Verschillen in deze respons kunnen het gevolg zijn van verschillen in reproductiemethode (eu-edaphische soorten planten zich meestal ongeslachtelijk voort, hemi-edaphische soorten kennen veel vaker geslachtelijke voorplanting), metabole activiteit (hemi-edaphische soorten zijn mobieler en actiever dan eu-edaphische soorten) of door onderlinge verschillen in gevoeligheid voor ijzertoxiciteit. Opgemerkt moet worden dat er enkel sprake is van een negatieve trend, en dat deze effecten in de proef op De Scheeken niet zijn gevonden.

5.5.3 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat de samenstelling en dichtheid van *Collembola* in de proeven het sterkst door de voorbereidende maatregel "zode verwijderen en frezen" zijn beïnvloed, en in veel mindere mate door ijzerslibtoevoeging. In beide proeflocaties is dit waarneembaar als een verschil in samenstelling van de gemeenschap en als een verschil in de adult-juvenile ratio in de Z- en ZFe-behandelde proefvlakken met de controle behandeling. Deze proefvlakken reflecteren een pioniersituatie, die in de Groote Heide als gevolg van toegenomen mineralisatie heeft geleid tot hogere dichtheden van *Collembola* ten opzichte van de controle. In De Scheeken is dit effect niet gevonden, wellicht als gevolg van de zeer natte bodemcondities.

Enkel in de Groote Heide zijn er aanwijzingen gevonden dat ijzerslibtoediening een mogelijk remmende invloed heeft op de dichtheid en reproductieactiviteit van springstaarten. Soorten die zich in de bovenste bodemlaag bevinden worden het sterkst gestimuleerd door voorbereidende maatregelen (zodeverwijdering en infrezen), en eveneens het sterkst geremd door ijzerslibtoediening. Het pionierkarakter van de behandelde proefvlakken ten tijde van bemonstering, de verschillen tussen bodemcondities en springstaartgemeenschappen in de onderzoekslocaties en het dominante effect van de voorbereidende maatregel (frezen) op samenstelling en dichtheid van *Collembola* maken het niet mogelijk om harde uitspraken

over mogelijke remming van ijzerslib op *Collembola* te maken. Dit is pas mogelijk wanneer het pionierkarakter en de initiële stimulering van de afbraak door frezen in de behandelde proefvlakken is overgegaan in een meer stabiele situatie. Ook is het aan te bevelen om een eventuele vervolg monsternamen in dezelfde periode uit te voeren, in minder extreem natte omstandigheden, om grote verschillen in abiotische condities en effecten van waterverzadiging op de bodemgemeenschap uit te kunnen sluiten.

Hemi-edaphische soorten spelen een rol in het begin van strooiselomzetting. Zij bestaan hoofdzakelijk uit herbivore grazers (Berg et al., 2004), wat betekent dat zij grote hoeveelheden dood en levend plantaardig materiaal eten en uitscheiden, en hebben daarmee een belangrijke functie in het verkleinen van ruw organisch strooisel naar kleinere partikels die een veel gunstiger oppervlakte:volume ratio hebben. Springstaarten hebben daardoor, ondanks dat zij grote hoeveelheden bacterie en schimmelmassa eten, toch een stimulerende werking op bodemafbraakprocessen (Hopkin, 1997, Eisenhauer et al., 2010). Een remming in de ontwikkeling van deze groep kan leiden tot een verminderde afbraak van dit ruwe strooisel wat kan leiden tot een toename van slecht verteerd strooisel. Een mogelijk negatief hiervan is dat de bodem 'vervilt' raakt, wat negatieve consequenties heeft op de soortensamenstelling van vaatplanten. Het is daardoor aan te raden om na enige jaren die parameters (nutriënt budgets, strooiseldikte, organisch stof gehalte, humusvorm) in het experiment te bepalen, eventueel in combinatie met een herhaling van de bodemmesofauna bemonstering.

6 Juridische aspecten toepassing

6.1 Aanleiding

De toepassing van drinkwaterslib in natuurgebieden is een innovatieve maatregel waarmee in de praktijk geen tot beperkt ervaring is. Het is voor veel instanties dan ook nog onduidelijk hoe deze maatregel moet worden beoordeeld en welke wettelijke kaders van toepassing zijn. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de juridische aspecten van deze toepassing en hoe onze resultaten mogelijk kunnen leiden tot meer eenduidigheid en duidelijkheid in vergunningverlening.

6.2 Wettelijke kaders

Voor het in de (water)bodem brengen van een stof in een natuurgebied zijn een aantal wetten relevant: de Wet Bodembescherming, de Wet Natuurbescherming en (mogelijk) de Meststoffenwet. In het geval van een afvalstof zijn ook de Wet Milieubeheer (hoofdstuk 10) en het stortverbod voor afvalstoffen van belang.

Bijproductstatus

Ijzerslib en ijzerkalkslib uit de Nederlandse drinkwaterwinning zijn in vrijwel alle gevallen een bijproduct. De stof voldoet aan de bijproductcriteria¹ en de Nederlandse drinkwaterbedrijven hebben een registratie gedaan voor ijzer(hydr)oxide en calciumcarbonaat volgens de Europese Chemicaliënverordening Reach.

Wet Bodembescherming

Op grond van de Wet Bodembescherming is het verboden om handelingen te verrichten die de bodem kunnen verontreinigen of aantasten (zorgplicht bodem). De Minister kan bij algemene maatregel van bestuur nadere eisen stellen aan bepaalde handelingen waaronder gebruik van a) grond/bagger, b) bouwstoffen², en c) meststoffen.

Als het drinkwaterslib als één van deze drie categorieën kan worden toegepast, gelden de eisen uit het Besluit bodemkwaliteit (grond, bagger en bouwstoffen) of uit het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet. Als het drinkwaterslib niet onder één van deze drie titels kan worden toegepast, geldt de algemene zorgplicht. Er moet dan aangetoond worden dat toepassing van het drinkwaterslib geen schadelijke gevolgen heeft voor de bodem. Het bevoegd gezag hiervoor is de gemeente (bodem) of waterschap (waterbodem).

In onderstaande paragrafen wordt nader bekeken welke wet of besluit van toepassing is op het toedienen van drinkwaterslib, zoals beoogd in ons onderzoek,

Besluit Bodemkwaliteit

Kan drinkwaterslib voor toepassing als fosfaatbinder in een natuurgebied beschouwd worden als grond, baggerspecie of bouwstof? Drinkwaterslib kan passen in de definitie van grond of baggerspecie en als zodanig worden toegepast. De praktijkervaring wijst uit dat bevoegde gezagen laag ijzerhoudende slibben afkomstig van de coagulatie van

¹ Bijproduct: reststof zoals bedoeld in artikel 1.1, lid 6, laatste volzin van de Wet milieubeheer, die het resultaat is van een productieproces dat niet in de eerste plaats is bedoeld voor de productie van die stof en waarbij is voldaan aan de voorwaarden genoemd in artikel 5, eerste lid van de Kaderrichtlijn Afvalstoffen nr. 2008/98/EG.

² Voor toepassing als grond of bouwstof is een milieuhygienische verklaring vereist (partijkeuring AP04). Met deze keuring wordt aangetoond dat de stof voldoet aan de grenswaarden voor zware metalen en organische micro verontreinigingen.

oppervlaktewater als baggerspecie aanmerken. Voor hoog ijzerhoudende slibben uit de grondwaterwinning is in praktijk het oordeel vaak dat het niet past in de definitie van grond. Voor de toepassing van fosfaatbinding zijn met name de hoger ijzerhoudende slibben interessant, zodat toepassing als grond zelden een optie zal zijn.

Drinkwaterslib kan passen in de definitie van bouwstof mits het voldoende zand bevat in verband met de eis van “steenachtigheid”. Dit is normaliter niet het geval. Een deel van het drinkwaterslib van de waterbedrijven bevat echter wel veel zand, doordat het bij de opslag vermengd raakt met vijverbodem. Alleen dit zandrijke drinkwaterslib kan als bouwstof gelden en wordt in de praktijk reeds als bouwstof toegepast³. Bouwstoffen mogen volgens het Besluit bodemkwaliteit niet met de bodem worden vermengd en moeten verwijderd kunnen worden. Dat betekent dat drinkwaterslib of ijzerzand alleen als bouwstof toegepast kan worden indien het terugneembaar toegepast wordt, bijvoorbeeld in een nutriëntenbuffer. Dit geldt derhalve niet voor de toepassingswijze die wij met dit onderzoek beogen.

Uitvoeringsbesluit en Uitvoeringsregeling Meststoffenwet

Kan drinkwaterslib voor toepassing als fosfaatbinder in een natuurgebied dan wellicht beschouwd worden als meststof? Ijzerslib (ook wel waterijzer genoemd) staat op de lijst van toegelaten meststoffen (bijlage Aa bij Uitvoeringsregeling Meststoffenwet) als “eindproducten van bewerking procedés die als meststof kunnen worden verhandeld” onder het kopje “hulpstof of toevoegmiddel” voor de bereiding van deze eindproducten. Anders dan het eveneens op bijlage Aa vermelde kalkslib (met een laag ijzergehalte), mogen de ijzerrijke ijzerslibben en ijzerkalkslibben echter niet direct op het land gebracht worden als meststof. Voor de door ons beoogde maatregel is dus ook de toepassing als meststof volgens bijlage Aa geen optie.

Ook classificeert drinkwaterslib niet als anorganische meststof binnen de categorie “Overige anorganische meststoffen die hoofdzakelijk zijn bedoeld om micronutriënten te leveren”. Hoewel drinkwaterslib het micronutriënt ijzer bevat, zou dit in de vorm van ijzerchelaat of een ijzerzout moeten zijn, en het ijzer in drinkwaterslib betreft ijzer(hydr)oxide.

Kortom, de toepassing van drinkwaterslib zoals bedoeld in dit project, valt niet onder één van de categorieën grond/bagger, bouw- of meststof. Voor de toepassing ervan geldt derhalve de algemene zorgplicht bodem.

Wet Natuurbescherming

In natuurgebieden gelden natuurbeschermingsregels. De Wet natuurbescherming en Natura 2000 laten activiteiten toe (vergunningplichtig, tenzij toegelaten in het beheersplan) die niet schadelijk zijn voor de in stand te houden natuurwaarden. Het toedienen van drinkwaterslib als fosfaatbindingsproduct aan de bodem kan op basis hiervan toegelaten worden, dit is ter beoordeling van de natuurbeheerder.

³ Bouwstoffen mogen normaliter geen grond bevatten. In de toelichting van de Regeling bodemkwaliteit is echter aangegeven dat dit niet geldt voor materiaal dat inherent grond bevat zoals immobilisaat en drinkwaterreststoffen. Zie Artikel 26, 2° lid: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-2007-469.html>

6.3 Conclusies

Ijzerrijk drinkwaterslib heeft de status van bijproduct. Voor het toedienen ervan als fosfaatbindingsproduct aan bodems van natuurgebieden gelden de Wet Natuurbescherming en de zorgplicht bodem. Dit laatste wil zeggen dat het gebruik geen bedreiging vormt voor de bodem. Het bevoegd gezag voor deze afweging is de gemeente of het waterschap. Ook de beheerder van het natuurgebied moet uiteraard betrokken worden en eventueel vergunning verlenen voor het toepassen van drinkwaterslib in een natuurgebied.

Ons onderzoek heeft overigens aangetoond dat de toepassing van drinkwaterslib geen nadelige effecten heeft op de bodem. Door bij de selectie van geschikte drinkwaterslibben de concentraties aan zware metalen als één van de selectiecriteria mee te nemen, wordt voorkomen dat de natuurlijke achtergrondwaarden voor deze metalen worden overschreden. Daarnaast bindt het ijzer in het drinkwaterslib, behalve fosfaat, ook in de bodem aanwezige metalen, en verlaagt zo de beschikbare concentratie ervan.

7 Aanbod en selectie geschikt slib

7.1 Selectie geschikt slib

Voor de selectie van drinkwaterslib dat in aanmerking komt voor toepassing op voormalige landbouwgronden, zijn onderstaande criteria t.a.v. de chemische samenstelling opgesteld. Voor de uiteindelijke toepassing van drinkwaterslib is uiteraard ook een kosten-baten analyse nodig: welke drinkwaterslibben zijn tegen een aanvaardbare prijs beschikbaar? Voor deze afweging zijn logistieke kosten (transportafstand en opslag) van belang, maar ook de waarde die bepaald wordt door andere toepassingen van het ijzerslib, bijvoorbeeld als zwavelbinder in biovergisters. Op het vraagstuk van logistiek en kosten wordt ingegaan in hoofdstuk 8. In onderstaande paragrafen wordt de selectie beschreven op basis van de chemische samenstelling van het slib.

7.2 Selectiecriteria samenstelling

- Goede verhouding tussen ijzer (Fe) plus aluminium (Al) en fosfaat (P).
 - o In het veld wordt een ratio nagestreefd van $(Fe+Al)/P < 0.1$. Des te hoger deze ratio in het slib is, des te minder er van nodig is in het veld. Slib met een $(Fe+Al)/P$ ratio van 0.1 of hoger is ongeschikt, want het bevat zelf al teveel P.
- Lage concentraties zware metalen
 - o Door het mengen van de benodigde hoeveelheid drinkwaterslib met de bovenste bodemlaag, dient de achtergrondwaarde van aanwezige zware metalen niet verhoogd te worden.
- Laag stikstofgehalte
 - o Grondbewerking resulteert in het algemeen in een (tijdelijk) hogere afbraak van organisch materiaal. Inbrengen van stikstof (N) rijk slib draagt daar verder aan bij. Het gevolg hiervan is dat de gewenste verlaging van nutriëntenbeschikbaarheid niet optreedt (door een verhoging van de N/P ratio in de bodem) waar ruigtesoorten als akkerdistel en brandnetel van kunnen profiteren.
- Drogestofgehalte (tussen 8 en 20%)
 - o Vloeibaar drinkwaterslib heeft een d.s. van ca. 8%. Slib met een drogestofgehalte (d.s.) lager dan 8% bevat naar verhouding te weinig Fe en zorgt bovendien voor hogere transportkosten per m³ slib. Steekvast slib (> 30% d.s.) is met de gangbare technieken moeilijk met de bodem te mengen. Echter, als het slib wat betreft chemische samenstelling potentieel geschikt is, kan gekeken worden of het qua d.s. op specificatie gebracht kan worden.

7.3 Aanbod geschikte slibben

In Tabel 7-1 wordt een overzicht gegeven van het volume (gemiddeld over 2014-2016) aan potentieel geschikte ijzer- en ijzerkalkslibben van Vitens, Brabant Water, Waterbedrijf Groningen en de overige Nederlandse waterbedrijven. Als selectiecriteria zijn gebruikt: 1) het P-bindend vermogen en 2) de aanwezigheid van verontreinigingen in het slib.

TABEL 7-1. RESULTAAT BEOORDELING DRINKWATERSLIBBEN: JAARLIJKS BESCHIKBARE VOLUMES (TON), GEMIDDELD OVER 2014-2016.

	Brabant Water	Vitens	Waterbedrijf Groningen	Overige drinkwater bedrijven	Totaal	
Geschikt bij elke dosering	5.088	21.629	6.612	24.371	57.700	81%
Geschikt afhankelijk van dosering	133	4.502	1.584	2.416	8.635	12%
Te hoge PSI (>0,12)	908	2.972	0	922	4.802	7%
Teveel zware metalen	0	52	0	0	52	0%
Totaal	6.129	29.155	8.196	27.709	71.189	100%

Beoordeeld zijn alleen locaties waarvan voldoende analysegegevens beschikbaar waren voor de selectie, dit gold voor 90% van de productielocaties. Met het jaarlijks vrijkomend volume kan uitgaande van de gebruikte doseringen in de proeflocaties een aanzienlijk areaal behandeld worden (Tabel 7-2).

TABEL 7-2. GLOBALE BEREKENING VAN MET IJZERSLIB TE BEHANDELEN AREAAL PER JAAR.

Jaarproductie slib (ton)	66.335
Ijzergehalte slib (gemiddeld) (kg Fe/ton slib)	28
Suppletiebehoefte (kg Fe/m ²)	0,6 - 2,8
Te behandelen oppervlak (ha)	66 - 310

Vrijwel het gehele volume aan drinkwaterslibben heeft al een bestaande, veelal hoogwaardige, toepassing. Dat betekent dat in de huidige markt slechts een beperkt deel beschikbaar is voor natuurontwikkeling.

7.4 Selectie geschikte slibben

Bijlage tabel VII bevat een overzicht van productielocaties met potentieel geschikt slib. Voor elk slib is de molaire verhouding van fosfor t.o.v. ijzer en aluminium: P/(Fe+Al) opgenomen. Alleen slibben beneden de 0,12 zijn opgenomen in de tabel.

Grondwater bevat lage concentraties zware metalen, deze komen bij de ontijzering geconcentreerd in het ijzerslib terecht door de (sterk) bindende werking van ijzerhydroxide. Via het ijzerslib worden zware metalen in lage concentraties aan de bodem toegevoegd. Relevant zijn hier de zware metalen: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb en Zn, met als kritische stoffen kwik (Hg) en arseen (As). Bij een enkele productielocatie is er sprake van een overschrijding van vrijwel alle zware metalen.

Andere verontreinigende stoffen (PAK's enz. zijn niet noemenswaardig aanwezig).

Metalen in ijzerslib logen echter nauwelijks uit, blijkt uit de praktijk en diverse onderzoeken. Uit de in de Groote Heide uitgevoerde praktijkproef met ijzerslib voor fosfaatbinding bleek dat het ijzerslib de pH van de bodem verhoogde, en reeds in de bodem aanwezige metalen

sterker werden gebonden en daardoor verminderd direct beschikbaar zijn (Dorland et al., 2016). Op korte termijn zal er dus sprake zijn van een verbetering, echter op lange termijn zouden de zware metalen door bodemprocessen, wisselende zuur- en vochtgraad kunnen vrijkomen en uitspoelen.

Als referentie kan uitgegaan worden van de normstelling uit het Besluit bodemkwaliteit of de normstelling voor meststoffen. De normstelling voor meststoffen is minder geschikt omdat deze uitgaat van een jaarlijkse toevoeging en niet om een eenmalige ijzersuppletie zoals in dit geval. Bovendien is deze gebaseerd op landbouwgebieden en niet op natuurgebieden. In het besluit Bodemkwaliteit geldt voor natuurgebieden de AW-norm, deze is gebaseerd op de natuurlijke achtergrondwaarden (AW) van diverse stoffen in Nederland. De ijzerslibben zijn daarom geselecteerd vanuit het principe dat na toevoeging van het ijzerslib de gehalten aan zware metalen in de bovengrond niet de AW normen mogen overschrijden.

Het gehalte aan zware metalen in de ontvangende bodem is niet op voorhand bekend. Om toch een selectie te kunnen maken is uitgegaan van het RIVM bestand AW2000 met een steekproef van 100 locaties. Hieruit is de bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval bepaald voor de zware metalen. Deze waarde is aangehouden voor de ontvangende bodem in de berekeningen.

In de vijf uitgevoerde praktijkproeven (inclusief de eerdere praktijkproef, de BTO pilot in de Groote Heide) lag de benodigde hoeveelheid slib tussen de 0,7 en 13,9 cm (zie hoofdstuk 2). De ijzergift lag tussen de 0,7 en 2,8 kg Fe/m². Uitgaande van deze toepassingsrange is voor verschillende ijzergiften (0,5, 1, 2 en 4 kg Fe/m²) van het ijzerslib het acceptabele gehalte aan zware metalen bepaald. Acceptabel houdt in dat na toepassing van het slib de AW waarden in de bovengrond niet worden overschreden. Daarbij is ervan uit gegaan dat het ijzerslib gemengd wordt met de bovenste 20 cm van de bovengrond. Voor de dichtheid van de ontvangende bodem is uitgegaan van 1300 kg/m³ (matig vochtige grond) en een drogestofgehalte van 80%.

7.5 Conclusies

Drinkwaterslib van een groot aantal productielocaties van de Nederlandse drinkwaterbedrijven is potentieel geschikt om als fosfaatbinder te worden toegepast op P-rijke, voormalige landbouwgronden (Tabel 7-1 en Bijlage tabel VII). Deze winningen liggen verspreid over Nederland. Hierdoor is het theoretisch mogelijk om bij toekomstige toepassingen van drinkwaterslib, het slib lokaal te betrekken.

Jaarlijks komt ruim 65 duizend ton potentieel geschikt drinkwaterslib vrij. Daarmee kan 65 tot 330 ha behandeld worden. Dit volume is niet vrij beschikbaar, want het grootste deel van de drinkwaterslibben heeft al een bestaande, veelal hoogwaardige, toepassing. Dat betekent dat in de huidige markt de toepassing voor natuurontwikkeling concurreert met andere afzetmogelijkheden.

8 Kosten en logistiek toepassing drinkwaterslib

Een behoorlijk deel van de jaarlijks vrijkomende drinkwaterslibben is qua samenstelling geschikt voor natuurontwikkeling (zie paragraaf 7.4). Voor de toepassing in de praktijk is daarnaast van belang welke drinkwaterslibben tegen een aanvaardbare prijs en met voldoende volume beschikbaar zijn en hoe de leveringsketen eruit ziet. De prijs hangt af van de logistiek (transportafstand en opslag), maar ook van de waarde die bepaald wordt door andere toepassingen van het ijzerslib, bijvoorbeeld als zwavelbinder in biovergisters. In dit hoofdstuk wordt uitgegaan van toepassing van drinkwaterslib t.b.v. natuurontwikkeling op fosfaatrijke zandgronden.

8.1 Leveringsketen

De drinkwaterslibben van de Nederlandse drinkwaterbedrijven en De Vlaamse Watergroep worden door AquaMinerals (voorheen Reststoffenunie) op de markt gebracht. AquaMinerals functioneert als shared service center voor deze bedrijven en organiseert transport, opslag en verkoop.

De kortste en goedkoopste leveringsketen is één op één levering van een drinkwaterbedrijf naar een natuurontwikkelingsproject waar het direct toegepast wordt. Dit zal in de praktijk om een aantal redenen echter vaak niet te realiseren zijn:

- vooraf is het droge stofgehalte niet bekend, hierdoor kan de exacte dosering niet worden vastgesteld;
- de samenstelling en daarmee fosfaatbindingscapaciteit kan afwijken van eerdere analyses, deze moet voorafgaande aan de toepassing bepaald worden om de dosering te kunnen bepalen. Het PSI-getal (verhouding Fe + Al met P) is redelijk constant, maar niet de absolute hoeveelheid, dit varieert tot een factor 2⁴;
- het moment waarop drinkwaterslib vrijkomt en het moment waarop het project het nodig heeft zijn niet gelijk;
- er zijn vrij grote volumes nodig, deze komen niet in korte tijd vrij op één drinkwaterproductielocatie.

Het zal daarom vaak nodig zijn dat er een vorm van tussenopslag is, die de gelegenheid biedt het materiaal op de juiste specificatie te brengen en voldoende materiaal bij elkaar te brengen voor het betreffende project. Een tussenopslag biedt ook de mogelijkheid het droge stofgehalte dat meest rond de 8% ligt omhoog te brengen.

Tussenopslag kan bij een aannemer of op het natuurterrein in een tijdelijke aangelegde voorziening. Opslag bij een aannemer betekent naast opslagkosten ook kosten van een extra transportbeweging. Bij opslag op het natuurterrein zijn er de kosten van de aanleg van een tijdelijke vijver, mobiele damwanden e.d.

⁴ Rekenvoorbeeld voor een betrouwbare locatie: ds 7-9%, ijzer 30-35%. Variatie: 21-32 gram fe/kg slib. Rekenvoorbeeld onbetrouwbare locatie: ds 6-15%, ijzer 20-30%. Variatie: 12-45 gram fe/kg slib.

In gevallen waarin een beperkte hoeveelheid nodig is, deze direct beschikbaar is bij een drinkwaterproductielocatie en zowel samenstelling als droge stofgehalte van de betreffende locatie voldoende stabiel zijn kan direct geleverd worden.

8.2 Tussenopslag

De tussenopslag dient dusdanig ingericht te zijn, dat geen vervuiling kan plaatsvinden met andere, vreemde, bestanddelen. Tussenopslag kan tegen vergoeding bij een aannemer met opslagcapaciteit of op het terrein van de natuurbeheerder waar het wordt toegepast.

Om tijdig voldoende geschikt drinkwaterslib te kunnen leveren moet AquaMinerals tijdig weten wat het benodigde volume is. Op basis van wat nu bekend is dient rekening te worden gehouden met een periode van circa 1,5 jaar om de beschikbaarheid te kunnen garanderen.

Hiervoor zijn een aantal redenen:

- het vinden (of ontwikkelen) van een geschikte opslag- en bufferlocatie;
- regelen van vergunningen;
- vrijwel alle drinkwaterslibben staan onder contract en zijn niet ad hoc ter beschikking voor natuurontwikkeling. Dit geldt met name voor de ijzerslibben, ijzerkalkslibben zijn meest wel beschikbaar;
- het drinkwaterslib komt op de meeste locaties niet ineens in grote volumes vrij, de voorraad dient over langere tijd te worden opgebouwd.

Dit sluit niet uit dat als er een geschikte match is tussen aanbod en vraag er ook op zeer korte termijn geleverd kan worden.

8.3 Kosten

De kosten voor de toepassing van drinkwaterslib op fosfaatrijke gronden zijn opgebouwd uit transportkosten, opslagkosten, de verkoopprijs van het materiaal, de kosten van het opbrengen van het slib en eventueel de kosten van zode verwijdering.

In de praktijkproeven op zandgrond was per hectare 0,63 tot 1,15 kg Fe/m² nodig. Deze dosering komt overeen met 225 a 406 ton ijzerslib of 292 á 526 ton ijzerkalkslib uitgaande van de gemiddelde samenstelling van ijzer- respectievelijk ijzerkalkslib (ijzerslib: 8% droge stof, 35% ijzer; ijzerkalkslib: 12% droge stof, 18% ijzer).

De actuele verkoopprijs van vloeibaar ijzerslib (8% d.s.) is €18,50 per ton. Ijzerkalkslib is 'om niet' verkrijgbaar, mits de transportafstand beperkt is. Deze prijzen zijn franco geleverd, dus inclusief transport van de productielocatie direct naar de afnemer. Wanneer het materiaal via een tussenopslag gaat zijn er wel kosten voor het extra transport en de opslagkosten. Ca € 8 euro per ton voor vloeibaar ijzerslib en ca € 10 per ton voor ijzerkalkslib.

Uitgaande van het hierboven genoemde verbruik in de praktijkproeven op zandgrond ontstaat het indicatieve kostenplaatje (prijspeil 2016) dat in Tabel 8-1 is vermeld.

TABEL 8-1. INDICATIEF KOSTENOVERZICHT TOEPASSING DRINKWATERSLIB. ALLE BEDRAGEN IN €

	Per ton		Per ha			
	Ijzerslib	Ijzerkalkslib	Ijzerslib (min-max)		Ijzerkalkslib	
Kosten drinkwaterslib	15	0	4.163	7.506	0	0
Kosten externe opslag en extra transport	8	10	1.800	3.246	2.917	5.259
Kosten opslag eigen terrein	3 - 5	3 - 5	675	2.029	875	2.630
Kosten aanbrengen	2,7	2,7	612	1.104	793	1.431
Kosten zode verwijdering			4.543	4.543	4.543	4.543
Totaal						
Directe levering*			4.775	8.609	793	1.431
Opslag op natuurterrein			5.450	10.638	1.668	4.060
Opslag extern			6.575	11.855	3.710	6.690
Totaal met zode verwijdering						
Directe levering*			9.318	13.152	5.336	5.974
Opslag op natuurterrein			9.993	15.181	6.211	8.603
Opslag extern			11.118	16.398	8.253	11.233

*) Geen opslag, direct leveren vanaf drinkwaterbedrijf en direct verwerken.

Voor de kosten van het drinkwaterslib en externe opslag is uitgegaan van gemiddelde prijzen 2016. De kosten van opslag op eigen terrein zijn geschat tussen de €3 en €5 per ton. Dit zijn kosten voor het plaatsen van (tijdelijke) damwanden en rijplaten. Voor de kosten van het aanbrengen met een zodenbemester is uitgegaan van €3 per m³. Dit komt overeen met €2,7 per ton (1 m³ drinkwaterslib weegt ca 1,1 ton). De kosten van de zode verwijdering zijn referentie bedragen zoals gehanteerd door Staatsbosbeheer (2015).

Gezien de veel lagere kosten komen ijzerkalkslibben eerder in aanmerking dan ijzerslibben. Daarnaast is het rechtstreeks leveren van het product op of zeer nabij de toepassingslocatie op het eerste oog financieel aantrekkelijker.

8.4 Vergelijking kosten alternatieven

De toediening van drinkwaterslib op fosfaatrijke gronden is een alternatieve maatregel voor het afgraven van de fosfaatrijke grond of het uitmijnen door langjarig maaien en verwijderen van het maaisel.

Chardon (2009) geeft verwijzingen naar een aantal bronnen voor de kosten van afgraven van grond in het kader van natuurontwikkeling. Deze worden door Oosterbaan et al. (2008) geschat op circa €15.000 per hectare wanneer de vrijgekomen grond (afgegraven tot een diepte van 50 cm) op 1 km afstand kan worden geplaatst, en op resp. €20.000 en €25.000 bij plaatsen op 2 en 3 km afstand. Op basis van de door Bekker (2009) verzamelde gegevens voor 29 terreinen waar tussen 1989 en 2005 werd afgegraven, kunnen de kosten per hectare geschat worden op €16.000 (gewogen gemiddelde). De bandbreedte was €5.000 tot €40.000 per ha. De kosten liepen in deze periode op doordat de grond steeds moeilijker afzetbaar was. De ervaring van de betrokken natuurbeheerders in dit TKI project is dat de kosten voor het afgraven van zandgronden eerder tussen de €7.000 en €10.000 per ha liggen. Lokale aannemers zijn graag bereid om het afgegraven zand gratis op te halen of het wordt op eigen terrein toegepast. Voor niet zandgronden waar materiaal moet worden afgevoerd liggen de kosten wel veel hoger.

De kosten van uitmijnen zijn volgens NMI (2015) afhankelijk van de kwaliteit van het maaisel. Als het maaisel bruikbaar is als ruwvoer, zijn de kosten en baten redelijk in balans. Als het maaisel niet bruikbaar is als ruwvoer, kunnen de kosten oplopen tot circa €1.800 per ha per jaar. Er moet een aantal jaren achtereen bemest en gemaaid worden voor het gewenste effect.

Het uitmijnen met gras/klaver en kalibemesting koste volgens Timmermans (2010) in langjarige praktijkproeven in Brabant tussen de €50 en €800 per hectare per jaar met een gemiddelde van €260. Daarbij is de bovengrond gemiddeld schraal na 14 jaar. De totale kosten bedragen dan (niet geïndexeerd) €3.600 per ha. De ervaring van de natuurbeheerders in dit TKI project is dat de kosten 30-40% hoger zijn. Ook wordt de termijn van 14 jaar voor het verschrallen als kort beoordeeld.

Op basis van literatuur en praktijkervaringen kan uitgegaan van de volgende range voor de kosten van de verschillende opties:

	Range	Kanttekeningen
Drinkwaterslib	€ 1.500 - € 12.000	ijzerkalkslib € 1.500 - € 7.000
Drinkwaterslib + zode verwijdering	€ 6.000 - € 16.500	
Afgraven	€ 5.000 - € 40.000	zandgrond € 7.000 - € 10.000
Uitmijnen	€ 700 - € 5.000	praktijkervaring € 4.000 - € 5.000

8.5 Conclusie

De kosten van immobilisatie van fosfaat door toediening van drinkwaterslib zijn sterk afhankelijk van de keuze van het slib (ijzerslib of ijzerkalkslib), al dan niet gebruik van een tussenopslag en de noodzaak van zode verwijdering. In de meeste gevallen zal levering via een opslag noodzakelijk zijn om de benodigde hoeveelheid en gewenste specificatie te kunnen leveren.

De kosten van afgraven en uitmijnen zijn eveneens sterk situatieafhankelijk. De kosten van de inzet van ijzerkalkslib zonder zode verwijdering zijn op zandgrond lager dan de kosten van afgraven en in dezelfde orde grootte als uitmijnen. Daarmee is het een realistisch alternatief vanuit economisch perspectief.

9 Beantwoording onderzoeksvragen en stappenplan

Resultaten uit eerdere laboratorium experimenten hadden de fosfaatbindende werking van het ijzer in drinkwaterslib al aangetoond (Koopmans et al., 2010). Ook de bevindingen uit de kleinschalige pilot die in het kader van KWR's Bedrijfstakonderzoek in de Groote Heide was uitgevoerd, gaf aanleiding tot de herhaling van het onderzoek op grotere schaal. Behalve het monitoren van de effecten van drinkwaterslib op de bodemchemie, de vegetatie en springstaarten (als maat voor de bodemmesofauna), was het doel van dit onderzoek om ervaring op te doen met de logistieke kant en inzicht te krijgen in het marktpotentieel van deze toepassing. Op welke wijze kan het drinkwaterslib het best in de bodem worden ingebracht en is die manier afhankelijk van het bodemtype? Aan welke eisen t.a.v. chemische samenstelling moet het drinkwaterslib voldoen en hoe zit het met de regelgeving? Wat is het aanbod aan potentieel geschikt drinkwaterslib op jaarbasis en hoeveel hectares grond kan daarmee worden behandeld? Ook op dergelijke vragen beoogde dit onderzoek antwoorden te geven. In paragraaf 8.1 worden de antwoorden op deze onderzoeksvragen bijeengezet. Specifiek voor de afweging welke toepassingswijze van het drinkwaterslib in welke situatie geschikt is, is in paragraaf 8.2 een stappenplan (beslisboom) opgenomen. In paragraaf 8.3 tenslotte, worden enkele aanbevelingen gedaan voor mogelijke andere toepassingen van drinkwaterslib.

9.1 Beantwoording onderzoeksvragen

Heeft de toepassing van drinkwaterslib de beoogde effecten op de bodemchemie?

In alle proefgebieden leidde de toepassing van zowel ijzerslib als ijzerkalkslib direct tot de beoogde verlaging van de fosfaatbeschikbaarheid en -verzadigingsgraad. Deze effecten waren ook na 1 jaar, in 2016, nog waarneembaar. De looptijd van onze experimenten was echter te kort om gefundeerde uitspraken te kunnen doen over hoe lang deze effecten aanhouden.

Heeft de toepassing van drinkwaterslib de beoogde effecten op de vegetatie?

Geconstateerd moet worden dat duidelijke positieve effecten van de toepassing van drinkwaterslib op de vegetatie vooralsnog niet tot beperkt zichtbaar zijn. De chemische samenstelling van de vegetatie laat zien dat de planten fosfaat nog altijd in ruime mate kunnen opnemen. Streefwaarden voor de ontwikkeling van schrale natuurdoeltypen werden dan ook niet overal bereikt. De bodemchemie is wel geschikt voor de ontwikkeling van de wat nutriëntrijkere natuurdoeltypen.

Kan drinkwaterslib op elk bodemtype worden toegepast?

Het vloeibare drinkwaterslib kan het best op (droge) zandgronden worden toegepast. Op bodemtypen met een slechte doorlatendheid, zoals veengrond of zand met een hoog klei- of leemgehalte, infiltreert het slib (zeer) langzaam waardoor een eventuele nabewerking van de bodem niet op korte termijn mogelijk is. Het mengen van het drinkwaterslib door de bodem, bijvoorbeeld door frezen (hoewel dit niet in alle gevallen gewenst is omdat het de bodemstructuur aantast), is in deze gevallen niet of beperkt mogelijk.

Kan drinkwaterslib met constante dosis worden ingebracht?

Met de machine die gedurende dit onderzoek is ontwikkeld kan, ook wanneer de zode niet wordt verwijderd, drinkwaterslib met constante dosis worden ingebracht. Wel kan het noodzakelijk zijn om, indien de berekende benodigde dosis erg hoog is, het slib in meerdere keren op te brengen, eventueel met grotere tussenpozen.

In hoeverre is het nodig vooraf de toe te dienen dosis drinkwaterslib te berekenen?

Ons onderzoek beoogde, voorafgaand aan de toepassing, zo nauwkeurig mogelijk de toe te dienen dosis drinkwaterslib te berekenen. De verhouding tussen Fe en P in zowel de bodem als het toe te passen slib, in verhouding tot de streefwaarden voor fosfaatbeschikbaarheid, waren hierbij de bepalende factor. De veldsituatie liet echter zien dat de praktijk weerbarstiger is. De ruimtelijke en temporele heterogeniteit in fosfaatbeschikbaarheid in de bodem, in combinatie met verschillen in drogestofgehalten van drinkwaterslib van één en dezelfde winlocatie, maken het vrijwel onmogelijk om vlakdekkend de streefwaarden te behalen. Het is daarom aan te bevelen om deze behandeling in de tijd te herhalen en (natuurlijke) gradiënten in fosfaatbeschikbaarheid te accepteren.

Dient de zode voorafgaand aan de toepassing te worden verwijderd?

Hier is niet een eenduidig antwoord op mogelijk. Het verwijderen van de zode zorgt in combinatie met de toepassing van drinkwaterslib, voor een open bodem en goede omstandigheden voor kieming en vestiging van doelsoorten. Dit kan een reden zijn om de zode inderdaad te verwijderen. Een nadeel van het verwijderen én mogelijk moeten afzetten van de zode zijn de kosten die hiermee gemoeid zijn.

Hoe kan het drinkwaterslib het best met de bodem worden gemengd?

In de vier experimentele proefgebieden is het drinkwaterslib door frezen met de bovenste 20 cm van de bodem gemengd. Dit zorgde voor een goede menging, maar leidde ook tot versterking van de bodemstructuur. Met name op organische bodems (veengrond, of wanneer de zode niet vooraf is verwijderd) kan dit leiden tot een ongewenste verhoging van de stikstofmineralisatie en (tijdelijke?) toename van ruigtesoorten.

Heeft de toepassing van drinkwaterslib toxische effecten op de bodem en/of vegetatie?

Hoewel bekend is dat hoge concentraties ijzer mogelijk toxisch zijn voor verschillende plantensoorten en/of bodemmesofauna, zijn er bij de gebruikte concentraties in onze experimentele toepassingen geen ijzertoxiciteitseffecten op aanwezige plantensoorten geconstateerd. Hoewel er in De Scheeken effecten van ijzerslib op de samenstelling van springstaarten gemeenschappen geconstateerd werden, waren deze effecten relatief kleiner dan die door het verwijderen van de zode werden veroorzaakt. Duidelijke toxische effecten waren niet waarneembaar.

Zijn er negatieve bijeffecten van de toediening van zware metalen die ook in het drinkwaterslib zitten?

De eventuele aanwezigheid van zware metalen is een belangrijke factor bij de selectie van potentieel geschikt drinkwaterslib. Het mengen van de benodigde hoeveelheid drinkwaterslib met de bovenste bodemlaag, mag er niet toe leiden dat de gehalten aan zware metalen hoger worden dan de Achtergrondwaarden uit het besluit Bodemkwaliteit. Alleen die winningen waarvoor bovenstaande geldt, mogen voor deze toepassing geselecteerd worden (zie Bijlage tabel VII). Bovendien bindt het ijzer naast fosfaat, ook andere, in lage concentraties aanwezige, zware metalen, wat een positief effect heeft op de concentraties

zware metalen in de bodem. Op deze wijze kunnen negatieve effecten van zware metalen worden uitgesloten.

Welke wettelijke kaders gelden voor de toepassing van drinkwaterslib?

Dat zijn de Wet Bodembescherming en de Wet Natuurbescherming.

Mag drinkwaterslib op fosfaatrijke gronden worden toegepast?

Ijzerrijk drinkwaterslib heeft de status van bijproduct en kan worden toegepast als fosfaatbindingsproduct voor zover dat niet in strijd is met de zorgplicht bodem. Dat wil zeggen dat het gebruik geen bedreiging vormt voor de bodem.

Wie is bevoegd gezag bij de afweging van deze toepassing?

Het bevoegd gezag is in dit geval de gemeente of het waterschap. Indien drinkwaterslib in een natuurgebied wordt toegepast, dient ook de betreffende natuurbeheerder betrokken te worden en toestemming te verlenen.

Van welke winningen kan het drinkwaterslib worden gebruikt?

Een groot aantal productielocaties van de Nederlandse drinkwaterbedrijven levert potentieel geschikt ijzerrijk drinkwaterslib. Aangezien deze winningen verspreid over Nederland liggen is het theoretisch mogelijk om lokaal drinkwaterslib toe te passen (en zo transportkosten te beperken).

Hoeveel drinkwaterslib is op jaarbasis beschikbaar en welk oppervlak kan daarmee worden behandeld?

Jaarlijks komt ruim 65 duizend ton potentieel geschikt drinkwaterslib beschikbaar. Daarmee kan 65 tot 330 ha behandeld worden. Echter, dit volume is niet vrij beschikbaar want het grootste deel van de drinkwaterslibben heeft al een bestaande, veelal hoogwaardige, toepassing. Dit betekent dat in de huidige markt de toepassing voor natuurontwikkeling concurreert met andere afzetmogelijkheden.

9.2 Stappenplan toepassing drinkwaterslib

Het toepassen van drinkwaterslib op fosfaatrijke gronden is slechts één van de maatregelen die een terreinbeheerder tot zijn beschikking heeft voor de ontwikkeling van hogere natuurwaarden. In onderstaand beslisschema wordt aangegeven onder welke condities en randvoorwaarden de toepassing van drinkwaterslib een kansrijke maatregel is.

Overwegingen:

1) Bodemtype

Het succes van deze toepassing wordt in sterke mate bepaald door het bodemtype

- a. Droog zand → geen belemmeringen in opbrengen of mengen van slib met de bodem
- b. Lemig zand → geen belemmeringen in opbrengen of mengen van slib met de bodem.
- c. Zand/klei → opbrengen van slib leidt mogelijk tot moeilijk begaanbaar terrein omdat het slib niet snel de bodem indringt. Nabewerking is vermoedelijk niet op dezelfde dag mogelijk.
- d. Veen → toepassing van drinkwaterslib wordt vooralsnog op dit bodemtype niet geadviseerd omdat het slib zeer langzaam de bodem indringt en slecht met de bodem te mengen is.

- e. Klei → dit bodemtype hebben we niet onderzocht. Effecten op bodemchemie zijn niet bekend. Nader onderzoek is nodig. Hoge weerstand van de bodem kan, net als op veen, een knelpunt zijn.
- f. Overig → niet onderzocht, nader onderzoek is nodig. Hierboven genoemde bevindingen maken inschatting van toepassing vermoedelijk al wel mogelijk.

2) Fosfaatbeschikbaarheid

Het is belangrijk om vooraf kennis te hebben van de fosfaatbeschikbaarheid in relatie tot de streefwaarden voor schrale natuur ($P_w \leq 10$, $PSI \leq 0.1$), en te weten hoe het verloop met de diepte is.

Bij voldoende budget, EN indien afgraven geen problemen oplevert in de waterhuishouding door maaiveldverlaging, en er zijn geen archeologische waarden in het gebied aanwezig, dan is afgraven het meest effectief in het verlagen van de P-beschikbaarheid en het creëren van goede kiemings- en vestigingskansen voor doelsoorten. Is afgraven echter GEEN optie, en is:

- a. de fosfaatbeschikbaarheid tot op grote diepte (>50 cm diep) ruim hoger dan de streefwaarden:
→ combineer afgraven met de toepassing van drinkwaterslib. Door alleen de bovenste 20-30 cm af te graven en de rest met drinkwaterslib te behandelen wordt een kostenreductie gerealiseerd t.o.v. volledig afgraven van de bouwvoor.
- b. de fosfaatbeschikbaarheid met name in de zode (0-5 cm) hoog:
→ verwijder de P-rijke zode en meng drinkwaterslib met de bodemlaag eronder.
- c. de fosfaatbeschikbaarheid in de zode lager dan in de laag eronder (5-25 cm) → overweeg de zode te laten zitten en meng drinkwaterslib met de bovenste bodemlaag.

3) Gewenste termijn natuurontwikkeling

Op fosfaatrijke gronden duurt het in veel gevallen (heel) lang voordat de gewenste natuurontwikkeling via uitmijnen (met of zonder kaliumbemesting) tot stand komt. Deze termijn is vermoedelijk aanzienlijk korter in het geval van de toepassing van drinkwaterslib, hoewel nader onderzoek hiervoor nodig is. De looptijd van onze experimenten was te kort om hier onderbouwde uitspraken over te kunnen doen.

4) Doelvegetatie

De toepassing van drinkwaterslib leidt tot matig voedselrijke omstandigheden en niet tot hele schrale bodems. De te ontwikkelen (doel)vegetatie dient hiervoor geschikt te zijn. Te denken valt aan:

- a. N10 Vochtige schraalgraslanden (N10.01 Nat schraalland; N10.02 Vochtig hooiland (*in bijzonder Dotterbloemgrasland*),
- b. N11 Droge schaalgraslanden (N11.01 Droog schraalland),
- c. N12 Rijke graslanden en akkers (N12.01 Bloemdijk, N12.02 Kruiden- en faunarijke grasland, N12.03 Glanshaverhooiland, N12.05 Kruiden en faunarijke akker, N12.06 Ruigteveld),
- d. N14 Vochtige bossen (N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos (*in bijzonder Broekbos*).

Als na het doorlopen van bovenstaande overwegingen de toepassing van drinkwaterslib als een potentieel geschikte maatregel wordt gezien, is het belangrijk om te bepalen op welke

wijze en op welk moment drinkwaterslib het best kan worden toegepast. Hiervoor hebben wij een stappenplan ontwikkeld (Figuur 9-2).

STAP1. Allereerst is de uitgangssituatie van belang. Betreft het een voormalige akker zonder zode, of een grasland? Op een akker is een zode afwezig, en kan drinkwaterslib met bijvoorbeeld een mestinjecteur in de bovenste 20 cm van de bodem worden ingebracht (toepassing A). Vervolgens kan middels frezen het slib goed met de bodem worden gemengd. Frezen heeft in deze situatie geen nadelige gevolgen voor de bodemopbouw, omdat grondbewerking op deze voormalige akker al veelvuldig zal zijn toegepast.

STAP 2. Is een grasland de uitgangssituatie, dan dient eerst beoordeeld te worden of de zode (bovenste 0-5 cm) verwijderd kan worden. Ons onderzoek heeft uitgewezen dat dit te adviseren is, maar er kunnen omstandigheden zijn waarbij zode verwijdering niet gewenst is. Factoren die een reden zijn om de zode niet te verwijderen, zijn bijvoorbeeld:

- de kosten van zode verwijdering zijn te hoog;
- maaiveld verlaging heeft nadelige effecten op de waterhuishouding;
- met de zode worden ook restpopulaties van doelsoorten verwijderd;
- zaden van doelsoorten zijn in zode aanwezig;

Als de zode kan worden verwijderd, kan het drinkwaterslib op twee manieren in de bodem worden ingebracht (Toepassing A of B).

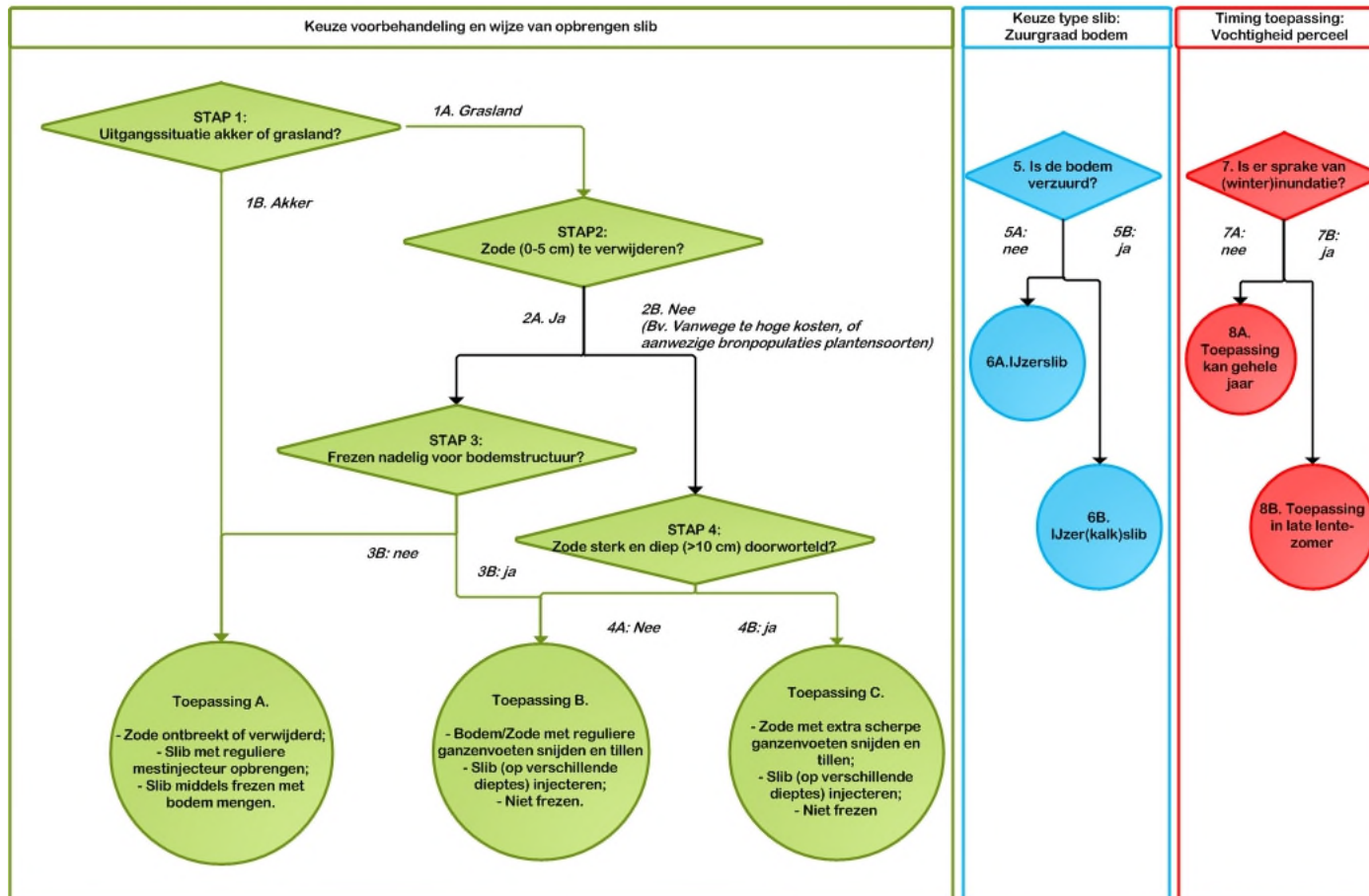
STAP3. Welke wijze het meest geschikt is, hangt af van de vraag of het slib middels frezen met de bovenste 20 cm van de bodem gemengd kan worden, of dat deze verstoring van de bodemstructuur ongewenst is. Is frezen geen probleem, dan kan gekozen worden voor de meest eenvoudige toepassingswijze A. In veel gevallen zal een verstoring van de bodemstructuur door frezen echter ongewenst zijn. In dat geval dient gekeken te worden naar de doorworteling van de zode.

STAP 4. Graslanden die pas kort uit agrarische productie genomen zijn, zullen in de regel een ondiepe doorworteling kennen (< 10 cm). Het doorsnijden van deze zode zal daardoor relatief gemakkelijk gaan en kan met reguliere "beitels of ganzenvoeten" (Figuur 9-1) worden uitgevoerd (Toepassing B). Indien het grasland reeds langere tijd uit productie is, zoals onze proeflocatie te Landgoed Mentink (zie hoofdstuk 4), zal de zode sterk en tot grotere diepte doorworteld zijn. In dat geval dient de zode door beitels of ganzenvoeten met extra messen (zie Figuur 9-1) te worden doorsneden (Toepassing C).



FIGUUR 9-1 . REGULIERE GANZENVOET (LINKS) EN BEITEL MET EXTRA SNIJVLAK (RECHTS) VOOR HET DOORSNIJDEN EN OPTILLEN VAN DE ZODE. HET DRINKWATERSLIB WORDT VIA DE SLANGEN ACHTER DE GANZENVOET OF BEITEL ONDER DE ZODE INGEBRACHT.

Stappenplan toepassing drinkwaterslib



FIGUUR 9-2. STAPPENPLAN VOOR DE TOEPASSINGWIJZE (A, B OF C) VAN DRINKWATERSLIB. STAPPEN 1-4 LEIDEN TOT EEN AANBEVELING VOOR DE WIJZE VAN TOEPASSEN. STAPPEN 5 EN 7 ADVISEREN RESPECTIEVELIJK OVER TYPE SLIB EN MOMENT VAN TOEPASSEN

9.3 Aanbevelingen

Dit project richt zich op de toepassing van drinkwaterslib in P-rijke natuurgebieden en/of op voormalige landbouwronden. Alternatieve toepassingen zijn wellicht ook kansrijk en worden momenteel ook onderzocht. Zo wordt als onderdeel van het OBN project *Invloed van waterdynamiek en nutriëntenbeschikbaarheid op vegetatie en fauna t.b.v. ontwikkeling van broekbossen in beekdalen* (OBN 2015-71-BE) een experiment uitgevoerd met de toepassing van ijzerslib waarmee herstel beoogd wordt van broekbossen op voormalige landbouwgronden in beekdalen. Daarnaast wordt, in opdracht van Brabant Water, onderzoek verricht naar de toepassing van een ander type drinkwaterslib, kalkslib (met een heel laag ijzergehalte), voor herstel van droge heide in de Stiphoutse bossen.

Andere toepassingen die interessant zijn om onderzocht te worden, zijn:

- Toepassing van drinkwaterslib op (snel)wegbermen om zo biomassaproductie te verminderen en kosten van maaibeheer te verlagen;
- Toepassing van drinkwaterslib op oevers van watergangen om zo uitspoeling van P uit geschoond materiaal te verminderen.

10 Literatuurlijst

- Agyin-Birikorang, S., G.A. O'Connor & T.A. Obreza, 2013. Drinking Water Treatment Residuals to Control Phosphorus in Soils. Document SL 300, Soil and Water Science Department, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
- Bekker, R.M., 2009. 20 jaar ontgronden voor natuur op zandgronden. De Levende Natuur (vol. 110), nr. 1.
- Berg, M. P., J. Noordijk, A. Schakel & M. Bongers 2001. De springstaart *Isotomurus maculatus* nieuw voor de fauna van Nederland (Insecta: *Collembola*). Nederlandse Faunistische Mededelingen v5:79-85.
- Berg, M. P., M. Stoffer & H. H. van den Heuvel 2004. Feeding guilds in *Collembola* based on digestive enzymes. *Pedobiologia* 48:589-601.
- Borggaard, O.K. (1983). The influence of iron oxides on phosphate adsorption by soil. *Journal of Soil Science* 34: 333-341.
- Chardon, W.J. 1994. Relationship between phosphorus availability and phosphorus saturation index. Report 19, Inst. voor Agrobiol. en Bodemvruchtbaarheidsond., Haren. <http://edepot.wur.nl/251874>
- Chardon, W.J., 2009. Mogelijkheden voor immobiliseren van bodemfosfaat in het kader van natuurontwikkeling. Rapport 1870, Alterra Wageningen. <http://edepot.wur.nl/10521>
- Dorland, E., Yuki Fujita, Wim Chardon, Bert Jan Groenenberg, Esther Lucassen, Fons Smolders, Aalke de Jong, 2016. Ijzerslib als alternatief voor afgraven – Natuurontwikkeling door fosfaat-immobilisatie. BTO 2015.078.
- Eisenhauer, N., A. C. W. Sabais, F. Schonert & S. Scheu 2010. Soil arthropods beneficially rather than detrimentally impact plant performance in experimental grassland systems of different diversity. *Soil Biology & Biochemistry* 42:v4v8-v424.
- Freese, D., S.E.A T.M. van der Zee & W.H. van Riemsdijk (1992). Comparison of different models for phosphate sorption as a function of the iron and aluminium oxides of soils. *Journal of Soil Science* 43: 729-738.
- Gisin, H. 1943. Ökologie und Lebensgemeinschaften der Collembolen im schweizerischen Exkursionsgebiet Basels. *Revue Suisse De Zoologie* 50:v3v-224.
- Hopkin, S. P. 2007. A Key to the Springtails (*Collembola*) of Britain and Ireland. Field Studies Council (AIDGAP Project).
- Hopkin, S. P. 1997. Biology of the springtails (Insecta: *Collembola*). Oxford University Press, New York.
- Irmeler, U. 2004. Long-term fluctuation of the soil fauna (*Collembola* and Oribatida) at groundwater-near sites in an alder wood. *Pedobiologia* 48: 349-363.
- Janssen, M. P. M. & R. F. Hogervorst 1993. Metal accumulation in soil arthropods in relation to micro-nutrients. *Environmental Pollution* 79:v8v-v89.
- Koopmans, G.F, Chardon, W.J. en Groenenberg, J.E, 2010. Karakterisatie van ijzerslib en – zand en een verkenning van de mogelijkheden van het gebruik van deze reststoffen om fosfaatverliezen vanuit landbouwgronden naar het oppervlaktewater te verminderen. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2047.
- Leps, J. & P. Smilauer 2003. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. Cambridge University Press, Cambridge.
- Makris, K.C., W.G. Harris, G.A. O'Connor & H. El-Shall (2005). Long-term phosphorus effects on evolving physicochemical properties of iron and aluminum hydroxides. *Journal of Colloid and Interface Science* 287: 552-560.
- Ministerie van Economische Zaken, 2012. Groot Project Ecologische Hoofdstructuur. Zesde voortgangsrapportage.
- NMI, 2015. Fosfaatuitmijning voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond in Drenthe - Eindrapport 2010-2014 - Deelresultaat 6 & 7, Rapport 1390.N.10-VI.
- Nottrot, F., E. N. G. Joosse & N. M. van Straalen 1987. Sublethal effects of iron and manganese soil pollution on *Orchesella cincta* (*Collembola*). *Pedobiologia* 30:45-53.
- Oosterbaan, A., J.J. de Jong & A.T. Kuiters, 2008. Verlanden op voormalige landbouwgrond op droge zand-gronden. Rapport 1669, Alterra Wageningen Natuur 110: 9-15.
- Oksanen, J., F. G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P. R. Minchin, R. B. O'Hara, G. L. Simpson, P. Solymos, M. H. H. Stevens & H. Wagner. 2015. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.3-0.
- R Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing versie 3.2.0.

- Runhaar, H., E. Lucassen, R. Verdonschot, 2016. Ontwikkeling Broekbossen. Tussenrapportage november 2016. OBN 2015-71-BE.
- Sherwood, L.J. & Qualls, R.G. (2001). Stability of phosphorus within a wetland soil following ferric chloride treatment to control eutrophication. *Environmental Science & Technology* 35: 4126-4131.
- Staatsbosbeheer, Standaardkostprijs directe werkzaamheden Terreinbeheer voor gezamenlijke TBO's, 28 mei 2015.
- Timmermans, B. et al, 2010. Fosfaat uitmijnen op natuurpercelen met gras/klaver en kalibemesting - Hand-reiking voor de praktijk, Louis Bolk Instituut.
- van Straalen, N. M. & P. C. Rijninks 1982. The efficiency of tullgren apparatus with respect to interpreting seasonal-changes in age structure of soil arthropod populations. *Pedobiologia* 24:197-209.
- Weng, L., W.H. Van Riemsdijk & T. Hiemstra (2012). Factors Controlling Phosphate Interaction with Iron Oxides. *Journal of Environmental Quality* 41: 628-635.

11 Bijlagen

Deze bijlagen bevatten de volgende tabellen:

- I. Concentraties zware metalen Groote Heide in 2015
- II. Vegetatie-opnamen Groote Heide, Onnerpolder, Bloemkampen en De Scheeken
- III. Chemische samenstelling drinkwaterslibben Onnerpolder, Bloemkampen en De Scheeken
- IV. Beschrijving chemische analyse methode vegetatie
- V. Chemische samenstelling ijzerslib Eibergen
- VI. Overzicht bemonsterde springstaarten
- VII. Overzicht geschikte slibben

Disclaimer:

De gegevens in deze bijlagen zijn niet opgenomen in dit openbare rapport. Bij interesse in de gegevens van één of meerdere bijlagen kunt u een verzoek sturen naar:

edu.dorland@kwrwater.nl.

Veiligheidsinformatieblad Waterijzer

Een veiligheidsinformatieblad is niet vereist voor deze stof volgens Verordening (EG) 1907/2006. Dit blad is opgesteld op vrijwillige basis.

Datum: 21-11-2017; **Versie nummer:** 2

1 Identificatie van de stof en van de producent

1.1 Productidentificatie

IJzer(III)oxide hydraat

Handelsnaam:	Waterijzer, ijzerslib
Synoniemen:	ijzeroxide hydroxide, ijzer(III)hydroxide
EC nummer:	215-168-2
CAS nummer:	1309-37-1
REACH-registratie nummers:	01-2119457614-35-xxxx Volledige registratienummers van individuele producenten zijn beschikbaar op www.aquaminerals.com
Herkomst stof:	De stof ontstaat bij de bereiding van drinkwater uit ijzerhoudend grondwater, dan wel bij de bereiding van drinkwater uit oppervlaktewater

1.2 Relevant geïdentificeerd gebruik van de stof of het mengsel en ontraden gebruik

Defosfatering en stankbestrijding bij afvalwaterbehandeling, ontzwaveling bij biogasproductie, ontzwaveling bij vergisting van huisvuil en compost, grondstof voor ijzeradsorptiepellets, grondstof voor coagulant, grondstof in de baksteenindustrie, bouwstof in werken.

Er zijn geen toepassingen vastgesteld die worden ontraden.

1.3 Details verstrekker van het veiligheidsinformatieblad

AquaMinerals B.V.

Groningenhaven 7

3433 PE Nieuwegein

Telefoon: 030 - 60 69 721

E-mail: info@aquaminerals.com

1.4 Telefoonnummer voor noodgevallen

Nationaal Vergiftigings Informatie Centrum.

Telefoon: +31 (0) 30 274 88 88 Uitsluitend bestemd om professionele hulpverleners te informeren bij acute vergiftigingen. Openingstijden: 24h

2 Gevaren

2.1 Indeling van de stof of het mengsel

De stof is niet geclassificeerd als gevaarlijk volgens de Verordening (EU) 1272/2008 (CLP).

2.2 Etiketteringselementen

Geen etiket en geen gevarenaanduidingen (R-of H-zinnen) vereist volgens de Verordening (EG) Nr. 1272/2008.

2.3 Andere gevaren

Geen bijzonderheden.

3 Samenstelling en informatie over de bestanddelen

3.1 Stoffen

Samenstelling (gewichtsperscentage op basis van droge stof):

Productnaam	CAS nummer	EC nummer	% w/w droge stof
IJzer(III)oxide hydraat ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)	1309-37-1	215-168-2	<80 – 99,9

Aanvullende informatie over de samenstelling (% w/w droge stof):

Inert (SiO_2)	<0,1 - 10
Ca	<0,1 - 5
Mn	<0,1 - 4
P	<0,1 - 4
Mg	<0,1 - 0,5
Al	<0,1 - 0,3
Droge stof gehalte vloeibaar waterijzer	8 - 12
Droge stof gehalte steekvast waterijzer	30 - 40

4 Eerstehulpmaatregelen

4.1 Beschrijving van de eerstehulpmaatregelen

Bij normaal gebruik niet van toepassing.

Na inademen: N.v.t.

Na huidcontact: N.v.t.

Na oogcontact: Spoelen met water; arts raadplegen

Na inslikken: Bij zeer grote hoeveelheden arts raadplegen.

4.2 Vermelding van de vereiste onmiddellijke medische verzorging en speciale behandeling

Geen

5 Brandbestrijdingsmaatregelen

5.1 Blusmiddelen

Alle gangbare blusmiddelen kunnen toegepast worden.

5.2 Speciale gevaren die door de stof of het mengsel worden veroorzaakt

Geen, waterijzer is onbrandbaar.

5.3 Advies voor brandweerlieden

Geen bijzonderheden.

6 Maatregelen bij het accidenteel vrijkomen van de stof

6.1 Persoonlijke voorzorgsmaatregelen, beschermingsmiddelen en noodprocedures

Geen.

6.2 Milieuvoorzorgsmaatregelen

Geen.

6.3 Insluitings- en reinigingsmethoden en -materiaal

Wegspoelen met water.

7 Hantering en opslag

7.1 Voorzorgsmaatregelen voor het veilig hanteren van de stof of het mengsel

Geen bijzonderheden.

7.2 Voorwaarden voor een veilige opslag, met inbegrip van incompatibele producten

Grootschalige opslag bij voorkeur in bunker/silo's of depotvorming met behulp van keerwanden.

8 Maatregelen ter beheersing van blootstelling/ persoonlijke bescherming

8.1 Controleparameters

Er zijn geen grenswaarden voor ijzer(III)oxide hydraat. Bij het drogen en vervolgens bewerken van waterijzer zijn grenswaarden voor hinderlijk en schadelijk stof te betrachten. In Nederland zijn er geen nationale (publieke) grenswaarden voor respirabel/inhaleerbaar hinderlijk stof. In België geldt een grenswaarde van 10 mg/m³.

8.2 Maatregelen ter beheersing van blootstelling

Bij het verwerken van gedroogd waterijzer maatregelen treffen tegen de blootstelling aan stof. Verwerk zoveel mogelijk in afgedichte installaties en/of zorg voor voldoende ventilatie om de stofbelasting onder de aanbevolen grenzen op de werkplek te houden. Anders een geschikte veiligheidsuitrusting dragen.

Oogbescherming:	Veiligheidsbril met zijschermen bij stofvorming
Ademhalingsbescherming:	Stofmasker bij stofvorming
Huidbescherming:	Geen
Handbescherming:	Handschoenen aanbevolen

9 Fysische en chemische eigenschappen

Fysische toestand:	Steekvast of waterige suspensie
Kleur:	Geel tot roodbruin
Geur:	Neutraal
pH (opgelost):	7-8 bij 25 °C
Smeltpunt	1.556 °C
Kookpunt	Smelt boven 300 °C

Vlampunt:	N.v.t. (anorganische stof)
Verdampingssnelheid	N.v.t.
Ontvlambaarheid:	Niet brandbaar
Zelfontbrandingstemperatuur:	> 400°C
Oxiderende eigenschappen:	Geen op basis chemische structuur
Ontploffingseigenschappen:	Niet ontplofbaar
Dampspanning en dampdichtheid:	N.v.t. op basis smeltpunt
Relatieve dichtheid:	droge stof: 5.25 gr/cm ³ product: 1,05 - 1,20 gr/cm ³ (afhankelijk gehalte aan droge stof)
Oplosbaarheid water:	< 1 µg/l Fe bij 20°C
Verdelingscoëfficiënt n-octanol/water:	N.v.t (anorganische stof)
Ontledingstemperatuur	N.v.t (anorganische stof)
Viscositeit:	N.v.t. (vast)

10 Stabiliteit en reactiviteit

10.1 Reactiviteit

Geen bijzonderheden.

10.2 Chemische stabiliteit

De stof is stabiel.

10.3 Mogelijke gevaarlijke reacties

Geen bijzonderheden.

10.4 Te vermijden omstandigheden

Geen bijzonderheden.

10.5 Chemisch op elkaar inwerkende materialen

Geen bijzonderheden.

11 Toxicologische informatie

Er zijn geen aanwijzingen voor acute of chronische toxiciteit.

Acute toxiciteit:	Niet waargenomen in studies.
Huidcorrosie/-irritatie:	Niet waargenomen in studies.
Ernstig oogletsel/ oogirritatie:	Niet waargenomen in studies.
Sensibilisatie van de luchtwegen/de huid:	Niet waargenomen in studies.
Mutageniteit in geslachtscellen:	Niet waargenomen in studies.
Carcinogeniteit:	Niet waargenomen in studies.
Giftigheid voor de voortplanting:	Onvoldoende data.
STOT bij eenmalige blootstelling:	Niet waargenomen in studies.
STOT bij herhaalde blootstelling:	Niet waargenomen in studies.

12 Ecologische informatie

12.1 Toxiciteit

Niet waargenomen in studies.

12.2 Persistentie en afbreekbaarheid

N.v.t. voor anorganische stoffen.

12.3 Bioaccumulatie

N.v.t. voor anorganische stoffen.

12.4 Mobiliteit in de bodem

N.v.t.

12.5 Resultaten of PBT and vPvB assessment

De stof is niet beoordeeld als PBT of vPvP.

13 Instructies voor verwijdering

Verwijdering volgens nationale regelgeving voor niet-gevaarlijke, niet-brandbare stoffen.

14 Informatie m.b.t. vervoer

Vervoeren volgens nationale, Europese (EU) en internationale (OECD, ADR, IMDG, IATA) regelgeving voor niet-gevaarlijke stoffen.

15 Regelgeving

Voor deze stof is een chemische veiligheidsbeoordeling uitgevoerd.

16 Overige informatie

Dit is versie 2. Wijzigingen: nieuwe lay-out, naamswijziging Reststoffenunie naar AquaMinerals, ontbrekende rubrieken toegevoegd, uitbreiding gebruik.

Disclaimer

Bovenstaande gegevens beschrijven de veiligheidsinformatie voor het product waterijzer. Alle gegevens zijn gebaseerd op de huidige kennis. De informatie is bedoeld als richtlijn voor het veilig omgaan met dit product evenals opslag, verwerking, transport en verwijdering ervan. Het is niet toegestaan de informatie te wijzigen of de informatie te gebruiken voor andere producten. Bij mengen, malen en/of verwerken van waterijzer met andere producten is de informatie mogelijk niet meer in zijn geheel van toepassing op het nieuwe materiaal. Het is de eigen verantwoordelijkheid van de gebruiker de nodige voorzorgsmaatregelen te treffen alsmede er zorg voor te dragen dat de informatie compleet en toereikend is voor veilig gebruik van dit product.



Fosfaatverliezen naar het oppervlaktewater beperken

Uitwerking maatregelen voor drie percelen in Losser

D. van Rotterdam

R. Postma

© 2023 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Verspreiding

Mevr. Hissink, provincie Overijssel

digitaal

Inhoudsopgave

1	Aanleiding en beschrijving situatie	2
1.1	Vochtige Alluviale bossen, Snoeyinksbeek en nutriënten	2
1.2	Nutriëntenbronnen	3
1.3	Maatregelen	3
1.4	Uitwerking maatregelen provincie Overijssel en dhr. Snippert	4
1.5	Doelstelling opdracht NMI	5
2	Uitgangspunten maatregelen	6
2.1	Fosfaat verliezen naar het oppervlaktewater	6
2.2	Streefwaarde fosfaattoestand van de bodem	7
2.3	Verlagen fosfaattoestand van de bodem door uitmijnen	9
2.4	Definitie landbouwgrond	9
2.5	Alternatieve maatregel	10
3	Percelen en uitwerking maatregelen	12
3.1	Beschrijving 3 percelen	12
3.2	Maatregelen per perceel	14
	Literatuurlijst	19

1 Aanleiding en beschrijving situatie

De provincie Overijssel heeft de opgave om in het Natura 2000-gebied Landgoederen Oldenzaal onder andere het habitatype vochtig alluviaal bos (beekbegeleidend bos) langs de Snoeyinksbeek te beschermen. Hiervoor moeten de risico's die de ontwikkeling en instandhouding van dit doel in de weg staan worden verwijderd. Van drie percelen van dhr. Snippert te Losser, die buiten het N2000-gebied liggen, is bepaald dat deze een verhoogd risico geven op verliezen van fosfor (P) naar de Liesketbeek. Dit is een zijloop van de Snoeyinksbeek waar het N2000 habitatype vochtig alluviaal bos langs ligt. Achtergronden, doelen en de uitwerking van maatregelen staan beschreven in het Inrichtingsplan Landgoederen Oldenzaal 6 mei 2019, Stroomgebiedsrapportage Snoeyinksbeek bovenloop 8 november 2018, Natura 2000 beheerplan Landgoederen Oldenzaal 2016. Hieronder volgt een samenvatting van het beekbegeleidend bos langs de Snoeyinksbeek in relatie tot de drie percelen die in voorliggend onderzoek nader zijn onderzocht.

1.1 Vochtige Alluviale bossen, Snoeyinksbeek en nutriënten

Wat betreft voedselrijkdom zijn licht tot matig voedselrijke omstandigheden de optimale abiotische randvoorwaarden voor het habitatype Vochtige Alluviale bossen (Profielbeschrijvingen habitatype 91E0). Dit is door Alterra (De Waal en Hommel, 2017) nader onderbouwd tot een matige invloed van vermessing op dit habitatype (Stroomgebiedsrapportage, Snoeyinksbeek bovenloop, 2018).

Naast dat het gebied om de Snoeyinksbeek N2000 is, is de Snoeyinksbeek ook een KRW-waterlichaam. KRW stuurt op herstel en behoud van een goede ecologische waterkwaliteit. Nutriënten zijn hierin ondersteunend. Voor de Snoeyinksbeek worden de ecologisch doelen niet gehaald omdat de beek in de zomer droog valt. Desalniettemin worden nutriëntennormen gehanteerd voor fosfor van 0,1 mg/L P-totaal en voor stikstof van 2,3 mg/L N-totaal. De waterkwaliteitsgegevens (1995 – 2015) tonen aan dat de KRW-normen voor stikstof en fosfor in het stroomgebied van de Snoeyinksbeek niet gehaald worden (Stroomgebiedsrapportage, Snoeyinksbeek bovenloop, 2018).

In 2016 zijn in zijlopen van de Snoeyinksbeek aanvullende analyses gedaan van de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater. De N-totaal en P-totaal concentraties in de Liesketbeek (4 meetpunten in 2016) zijn van dezelfde ordegrootte als van de eerdere metingen in de Snoeyinksbeek. P-totaal is gemiddeld voor de 4 metingen in de Liesketbeek 0,36 mg/L.

Op basis van expert judgement is ingeschat dat deze hoge nutriëntenconcentraties van stikstof en fosfor een bedreiging vormen voor de instandhouding van de aanwezige Vochtige alluviale bossen. Dit geldt met name als deze bossen worden geïnundeerd met nutriëntenrijk oppervlaktewater uit de Snoeyinksbeek. Fosfor wordt als groter knelpunt ervaren dan stikstof.

In de bovenloop van de Snoeyinksbeek is de verspreiding van de ruigtesoorten grote brandnetel en gewone braam groot en plaatselijk is er sprake van dominantie. Deze soorten gedijen onder met name stikstofrijke situaties. Dit lijkt daarom een effect van externe eutrofiëring. Het is niet altijd duidelijk of deze kenmerken doorslaggevend zijn voor het succesvol instandhouden van het habitat of dat het systeemkenmerken betreft (van nature voorkomende ruigtes).

1.2 Nutriëntenbronnen

Op basis van de conclusie dat met name de fosfor (P) concentratie in het oppervlaktewater een risico zou kunnen vormen voor het Vochtig alluviaal bos langs de Snoeyinksbeek is nagegaan welke bovenstrooms gelegen percelen een verhoogd risico geven op P-emissies naar het oppervlaktewater. Hier is de bemestingsmaatregelenwijzer (Groenendijk et al, 2016) voor gebruikt.

Uit deze analyse kwamen drie percelen van dhr. Snippert naar voren (Figuur 1, perceelnr 5823, 6990, 6771). De percelen, samen 5 ha, zijn in gebruik voor continu maïs. De rest van de percelen van het melkveebedrijf van dhr. Snippert zijn in gebruik als grasland. Van de graspercelen is het risico van P-emissies naar het watersysteem als laag beoordeeld.



Figuur 1. Ligging van de percelen van dhr. Snippert (drie oranje gekleurde percelen) ten noorden van Losser en percelen waarvan mogelijk de vervangende bouwvoor kan worden betrokken.

1.3 Maatregelen

In de studie 'Uitwerking stroomgebied Snoeyinksbeek bovenloop, 2018' (Bijlage 4, Inrichtingsplan Oldenzaal 2019) zijn maatregelen voorgesteld die passend zijn bij de knelpunten. Voor herstel en behoud van het beekbegeleidend bos langs de Snoeyinksbeek wordt onderbouwd dat herstel van de hydrologie belangrijk is. Voor herstel en behoud is het gefaseerd verondiepen van de Snoeyinksbeek een belangrijke maatregel zodat het bos periodiek kan inunderen. Door de aanwezigheid van keileem is er geen/ beperkte aanvoer van diepere watervoerende pakketten. De Snoeyinksbeek wordt geheel gevoed door regenwater en ondiepe stroombanen uit de directe omgeving en door de wateraanvoer via zijlopen van de beek.

Naast deze hydrologische maatregel moeten ook maatregelen worden getroffen die aansluiten bij het Knelpunt 'Externe eutrofiëring door toestroming nutriëntenrijk grond- en oppervlaktewater door bemesting intrekgebied binnen en buiten Natura 2000-gebied (K6)'. Deze worden nodig geacht op basis van de waterkwaliteitsgegevens, de bemestingswijzer en het onderzoek naar eutrofiëring. Voorgestelde maatregelen zijn afhankelijk van de ligging en topografie van een perceel:

- Aanleg randdam met infiltratiegreppel

- Bufferstroken van 10 meter langs watergangen
- Permanent grasland
- Scheurverbod
- Uitrijden van mest beperkt tot de periode tussen 1 april en 1 september
- Geen bemesting binnen retentiegebied

De inhoudelijke onderbouwing in het inrichtingsplan dat de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater van de Snoeyinksbeek beperkend zijn voor de ontwikkeling en behoud van het beekbegeleidend bos zijn grotendeels gebaseerd op 'expert judgement'. Een relatie tussen fosfor concentraties in het oppervlaktewater en de abiotische randvoorwaarden van het beekbegeleidend bos wordt niet expliciet gelegd in het inrichtingsplan. Dit is ook lastig omdat de bindingscapaciteit van de bodem bepalend is voor de daadwerkelijke beschikbaarheid van het fosfor voor de vegetatie dat met het inundatiewater wordt aangevoerd. De bindingscapaciteit van de bodem wordt bepaald door de aanwezigheid van ijzer- en aluminium (hydr-)oxiden in de bodem. Er zijn daarom geen grenswaarden voor stikstof of fosfor in het oppervlaktewater in relatie tot beekbegeleidend bos. Om die reden wordt teruggevallen op normen die worden gehanteerd voor KRW in de Snoeyinksbeek van 0,1mg P/L. KRW heeft tot doel ecologisch herstel (flora en fauna) van de waterkwaliteit. Nutriënten zijn geen KRW-doel maar zijn ondersteunend aan de ecologie. Dat het ecologische KRW-doel in de Snoeyinksbeek niet wordt gehaald komt doordat de beek droogvalt in de zomer. Desalniettemin worden de nutriëtnormen uit de KRW aangehouden als opgave en wordt ingezet op het verlagen van de aanvoer van nutriënten uit het omliggende gebied dat direct of indirect afwatert op de Snoeyinksbeek.

Door gebruik te maken van de bemestingsmaatregelenwijzer is bepaald dat drie percelen met continue maïs van dhr. Snippert die afwateren op een zijloop van de Snoeyinksbeek een risico vormen voor de P-belasting van het beekbegeleidend bos. De bemestingsmaatregelenwijzer kan als handreiking worden gebruikt om richting te geven aan relatieve risico's en om maatwerk maatregelen af te leiden.

1.4 Uitwerking maatregelen provincie Overijssel en dhr. Snippert

In 2019 is het provinciaal inrichtingsplan (Pip) definitief vastgesteld door Provinciale Staten van Overijssel. Dhr. Snippert heeft beroep aangetekend. Op 30 juni 2021 is dhr. Snippert door de Raad van State in het gelijk gesteld omdat hem onvoldoende perspectief is geboden door de provincie. Inhoudelijk hebben de maatregelen wel stand gehouden. De beoogde maatregelen waren:

1. Maïspercelen worden omgezet in permanent grasland, inclusief scheurverbod
2. Periode van mest uitrijden beperkt tot de periode van 1 april tot 1 september
3. Geen drainage
4. Bemestingsvrije zone tot 10 meter breed langs beek met de aanleg van een randdam. Op de bemestingsvrije zone dient wel gemaaid en afgevoerd te worden.
5. Sterk verlagen van de fosfaattoestand van de bodem door uitmijnen. Hierbij mag geen dierlijke mest op de percelen worden geplaatst en moet fosfaatonttrekking worden bevorderd door toedienen van stikstof en kalium in de vorm van minerale meststoffen en het gewas maximaal te maaien en af te voeren. De doelstelling hierbij is om de beschikbare fosfaat bodemvoorraad te verlagen tot P-AL =< 25 mg P₂O₅/100g.

De reactie van dhr. Snippert is dat de eerste vier maatregelen goed zijn uit te voeren. De maatregel uitmijnen zou echter ingrijpende gevolgen hebben voor zijn bedrijfsvoering waarbij hij de percelen, plus de daarbij horende mestplaatsingsruimte, 12 jaar kwijt zou zijn.

De adviseur van dhr. Snippert heeft een alternatief voor uitmijnen voorgesteld waarbij de bouwvoor van de percelen wordt afgegraven en vervangen door een andere bouwvoor met een lagere P-toestand. De

gedachte hierachter is dat dit zou moeten leiden tot een laag risico van P-emissie en de bedrijfsvoering kan worden voortgezet met alleen bovenstaande vier restricties. Mondeling zijn de provincie Overijssel en dhr. Snippert overeengekomen (april 2022) dat de eerste vier maatregelen worden uitgevoerd en dat de maatregel uitmijnen wordt vervangen door afgraven en vervangen bouwvoor.

1.5 Doelstelling opdracht NMI

Provincie Overijssel heeft Nutriënten Management Instituut (NMI) gevraagd om een advies te geven over het verlagen van de fosfaattoestand van de bodem van drie landbouwpercelen om de negatieve impact op het nabijgelegen habitatype vochtig alluviaal bos (beekbegeleidend bos) langs de Snoeyinksbeek te voorkomen. De gekozen oplossingsrichting is om in meer of mindere mate de bodem af te graven en deze in meer of mindere mate opnieuw aan te vullen. De vraag die nu voorligt is om perceelsspecifiek aan te geven tot welke diepte grond moet worden afgegraven en hoeveel moet worden opgebracht en aan welke eisen een vervangende grond moet voldoen? Deze oplossingsrichting zal in samenspraak met de provincie Overijssel, dhr. Snippert en zijn adviseur van ForFarmers concreet worden uitgewerkt.

Naar aanleiding van een overleg tussen provincie Overijssel, dhr Snippert, zijn adviseurs van ForFarmers en NMI op 2 juni 2023 wordt naast deze oplossingsrichting ook nagegaan wat de knelpunten en kansen zijn voor uitmijnen. Daarnaast is een alternatieve methode voorgesteld waarmee ijzeroxideslib wordt opgebracht in plaats van bodem.

2 Uitgangspunten maatregelen

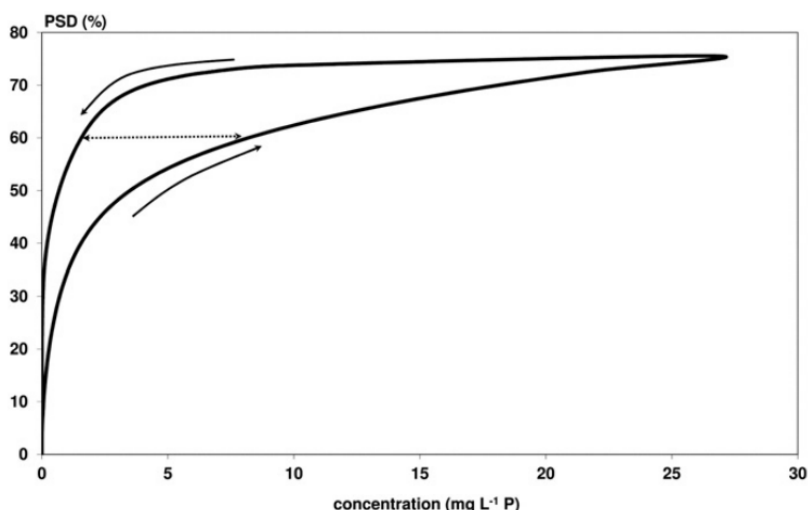
2.1 Fosfaat verliezen naar het oppervlaktewater

Het risico van P-emissie uit landbouwpercelen naar een aangrenzende beek kan nader worden gespecificeerd door drie processen:

1. Het risico op directe verliezen uit mestgiftten door onjuiste timing, dosis, omstandigheden en plaatsing van de mestgift
2. Het risico op oppervlakkige afspoeling en ondiepe uitspoeling door een combinatie van een hoge fosfaatbeschikbaarheid in de bodem en korte transportroutes naar de beek, dat wordt versterkt door ondoorlatende bodemlaag (ondiep keileem) een relatieve steile helling, lage fosfaat bindingscapaciteit van de bodem, zwart liggen perceel; en
3. Het risico op erosie van met P verrijkte bodemdeeltjes door afkalvende oevers, steile hellingen, intensieve grondbewerking en zwart liggen van de grond.

De beoogde maatregelen voor de drie percelen van dhr. Snippert grijpen in op al de drie bovenbeschreven processen. Voor de drie percelen van dhr. Snippert is met name het risico op oppervlakkige afspoeling en ondiepe uitspoeling van belang (proces 2). De percelen hebben een fosfaattoestand die landbouwkundig wordt geclassificeerd als ruim tot hoog, liggen op een helling richting de beek en hebben ondiepe keileem waardoor water en opgelost fosfaat snel oppervlakkig kan afspoelen en ondiep kan uitspoelen naar de aangrenzende beek. Voor deze percelen zijn bemestingsvrije bufferstroken en randdam, in combinatie met maaien en afvoeren van de vegetatie en het omzetten naar permanent grasland de meest effectieve maatregelen om de nutriëntenbelasting van de Liesketbeek te beperken. Deze maatregelen grijpen effectief in op het beperken van afspoeling en uitspoeling (proces 2) en erosie (proces 3). Door de uitrijperiode van mest te beperken tot de periode met een neerslagtekort (in een normaal jaar) wordt ook het risico op directe verliezen uit mestgiftten (proces 1) sterk verkleind. Het omzetten van maïs naar permanent grasland verlaagt het risico op een verhoogde P-emissie uit de percelen omdat permanent graspercelen niet worden gescheurd, jaarrond groen zijn en een hogere P-onttrekking hebben dan maïs. Dit zorgt voor een betere sponswerking en water- en nutriëntenhuishouding in de bodem. Aanvullend mogen deze percelen niet zijn gedraineerd om versnelde afvoer van water en nutriënten te voorkomen.

In aanvulling op deze maatregelen is in eerste instantie Uitmijnen als maatregel opgenomen om ook de risico's van verliezen uit actuele mestgift (1) en afspoeling en uitspoeling (2) naar de Liesketbeek te beperken. In de meest intensieve vorm van Uitmijnen wordt geen P-bemesting toegepast maar wordt met N en K aanvoer via meststoffen de gewasproductie gestimuleerd. Door intensief maaien en afvoeren wordt daarmee ook P afgevoerd. Het voordeel van uitmijnen is dat vooral de directe P-beschikbaarheid in de bodem sterk daalt, waardoor het risico van uit- en afspoeling van P ook snel daalt. Bij de opbouw van de fosfaattoestand stijgt de concentratie in de oplossing harder naarmate de bodem verder wordt opgeladen. Bij uitmijnen daalt de P-concentratie in de oplossing echter veel sneller dan mag worden verwacht op basis van de relatie bij het opbouwen van de fosfaattoestand (Schoumans en Chardon 2015, zie Figuur 2-1). Dit beperkt P-verliezen via proces 2. Een minder intensieve versie van uitmijnen is het aanbrengen van een negatieve P-balans op de bodem. Dit betekent dat nog wel P-aanvoer met mest



Figuur 2-1. Relatie tussen fosfaatverzadigingsgraad van de bodem (y-as) en de directe P-beschikbaarheid in de bodemoplossing (x-as). Bij de opbouw van de fosfaattoestand (pijl naar rechts) stijgt de concentratie in de oplossing steeds harder naar mate de bodem verder wordt opgeladen. Bij uitmijnen daalt de P-concentratie in de oplossing echter veel sneller dan mag worden verwacht op basis van de relatie bij het opbouwen van de fosfaattoestand (Schoumans en Chardon 2015).

mogelijk is, maar dat meer P met het gewas wordt onttrokken dan met bemesting wordt aangevoerd. Ook bij deze maatregel (negatieve P-balans) zal, met name, de directe P-beschikbaarheid in de bodem dalen.

Door de adviseur van dhr. Snippert is voorgesteld om de maatregel uitmijnen te vervangen door 'Afgraven en vervangen van de bouwvoor' (5 ha land).

De maatregelen Vervangen toplaag bodem en Uitmijnen zijn de twee maatregelen die hier nader zullen worden beschouwd. Deze maatregelen zijn onderdeel van een breder maatregelenpakket (zoals beschreven in paragraaf 1.4) dat ingrijpt op het afvangen van nutriënten uit de afwatering van het perceel.

2.2 Streefwaarde fosfaattoestand van de bodem

Zoals hierboven is beschreven zijn de maatregelen waar consensus over is tussen de provincie Overijssel en dhr. Snippert effectief voor het sterk reduceren van het risico van P-verliezen van de drie maïspercelen naar het oppervlaktewater. De reden is dat de maatregelen permanent grasland dat niet wordt gescheurd en gedraineerd, beperking uitrijperiode mest en brede bufferstrook met randdam effectief ingrijpen op zowel de mogelijke bronnen als op de transportroutes van P naar het oppervlaktewater. De maatregel die onder discussie ligt, is een aanvullende bronmaatregel om de fosfaattoestand van de bodem te verlagen.

Een belangrijke vraag hierbij is tot welk niveau de fosfaattoestand verlaagt dient te worden, in de context dat ook de andere vier maatregelen worden uitgevoerd. De belangrijkste transportroute is, zoals gezegd, oppervlakkige afspoeling en ondiepe uitspoeling van het perceel naar de beek. Afspoelen van meststoffen en erosie van deeltjes is ondervangen door de andere maatregel. Voor het verlagen van de fosfaattoestand van de bodem is het daarom vooral van belang de directe P-beschikbaarheid te verlagen. Het direct beschikbaar P in het bodemvocht kan met het neerslagoverschot getransporteerd worden richting de beek. P-CaCl₂ is een maat voor de directe P-beschikbaarheid in de bodem. Het is een gestandaardiseerde methode voor de P-concentratie in het bodemvocht. Deze methode hanteert een schudverhouding van 1 eenheid grond op 10 eenheden 0.01M CaCl₂. Groenendijk et al. (2016) geven aan dat waarden van P-CaCl₂ < 0,5 mg P/kg zeer laag zijn en dat bij deze waarden het risico van P-emissie zeer gering is. Op de percelen met een hoge P-CaCl₂ (>1 mg/kg) is het risico van P-afspoeling en uitspoeling groter. Het daadwerkelijke risico wordt echter gerelateerd aan de afstand tot, en connectiviteit met, het te beschermen natuurgebied en de gevoeligheid van de te beschermen habitat.

Voor de Snoeyinkbeek is de streefwaarde een P-concentratie van 0,1mg P/L, bepaald op basis van de KRW-doelstelling omdat er voor beekbegeleidend bos geen streefwaarde is. Dit betekent dat P-CaCl₂ van 1 mg P/kg voldoende laag is omdat dit gelijk staat aan een P-concentratie in het bodenvocht van 0,1mg P/L. De P-concentratie in het bodenvocht dat met het neerslagoverschot uitspoelt is dan niet hoger dan 0.1 mg/L. Elke methode heeft echter een meetfout, die standaard ongeveer 20% is. Het is vanuit dit perspectief redelijk om een streefwaarde te hanteren van een P-CaCl₂ van 1,2 mg P/kg grond. Hierbij is rekening gehouden dat met de overige maatregelen die zijn voorgenomen en uitgevoerd zullen worden P verliezen via de andere transportroutes effectief worden voorkomen.

De drie betreffende maïspancelen blijven echter landbouwgrond. In Nederland is het gebruiksnormen stelsel voor fosfaat gebaseerd op de fosfaattoestand van de bodem. Deze gebruiksnormen worden per perceel bepaald maar op bedrijfsniveau afgerekend. Een agrariër heeft de mogelijkheid om de totale gebruiksruijnte naar eigen inzichten te verdelen over zijn percelen. De fosfaatgebruiksnorm heeft echter tot doel dat bij een hoge fosfaattoestand de balans negatief (P-gift is kleiner dan de onttrekking door het gewas) is en dat bij een lage fosfaattoestand deze positief (P-gift is groter dan de onttrekking door het gewas) is. Bij een neutrale toestand is deze in principe neutraal. Wanneer de fosfaattoestand van de bodem in de categorie Arm valt mag jaarlijks reparatiebemesting worden toegepast omdat de fosfaattoestand beperkend is voor de gewasopbrengst (Tabel 2-1). Wanneer de fosfaattoestand beperkend is voor het gewas, gaat dit ten koste van de benutting van andere nutriënten als de bemesting niet wordt aangepast. Een andere mogelijkheid dan reparatiebemesting is om een lagere gewasopbrengst te accepteren in de vorm van bijvoorbeeld kruidenrijk grasland en de daarbij horende gebalanceerde bemesting toe te passen. Om reparatiebemesting te voorkomen, en het risico op P-verliezen uit de directe mestgift, zou voor deze percelen het streven niveau Laag moeten zijn en niet Arm. De grenswaarde voor P-CaCl₂ die hierbij wordt aangehouden is 1,4 mg P/kg bij een P-AL van 21 t/m 30.

Tabel 2-1 Tabel met de gebruiksnormen van grasland gebaseerd op de gecombineerde indicator van P-AL en P-CaCl₂ als maat voor respectievelijk de beschikbare P-voorraad en de directe P-beschikbaarheid in de bodem.

Indeling klassen P-CaCl - getal (mg P/ kg)	Fosfaattoestand en Fosfaatnormen (kg P2O5/ha) grasland				
	Indeling klassen P-AL getal (mg P2O5/100 gr)				
	< 21	21 t/m 30	31 t/m 45	46 t/m 55	> 55
<0,8	arm (120)	laag (105)	laag (105)	neutraal (95)	ruim (90)
0,8 t/m 1,4	arm (120)	laag (105)	neutraal (95)	ruim (90)	ruim (90)
1,5 t/m 2,4	laag (105)	neutraal (95)	ruim (90)	ruim (90)	hoog (75)
2,5 t/m 3,4	neutraal (95)	ruim (90)	ruim (90)	hoog (75)	hoog (75)
> 3,4	ruim (90)	ruim (90)	hoog (75)	hoog (75)	hoog (75)

Het gekozen uitgangspunt voor de bronmaatregelen Vervangen bouwvoor of Uitmijnen is het streven naar het verlagen van de directe P-beschikbaarheid in de bovengrond zoals bepaald met P-CaCl₂ naar 1,2 mg P/kg grond. Deze streefwaarde is gebaseerd op de streefwaarde van 0,1mg P/L in het oppervlaktewater (voor het betreffende N2000-gebied met matig gevoelig habitat) met een correctie voor de meetfout. Naast deze uiteindelijk streefwaarde van 1,2 mg/kg wordt een tussentijdse streefwaarde voorgesteld van P-CaCl₂ 2,4 mg/kg. Een tussentijds doel wordt gehanteerd omdat met het nemen van maatregelen het risico op P-verliezen afneemt. De tussentijdse streefwaarde zou trapsgewijs de eerste doelstelling moeten zijn voor het verlagen van de fosfaattoestand van de bodem om het hoge risico van oppervlakkige afspoeling en ondiepe uitspoeling te verlagen. De intensiteit van de maatregelen kunnen dan ook worden aangepast aan het lagere risico. Voor deze specifieke situatie is deze trapsgewijze streefwaarde een compromis tussen het beperken van P-verliezen door oppervlakkige afspoeling en ondiepe uitspoeling, de landbouwkundige gebruikswaarde en verliezen door een hoge P-mestgift wanneer de fosfaattoestand van de bodem in de klasse Arm komt. Uitgangspunt is dat de productie op peil blijft en dat het uitspoelingsrisico daarbij zoveel mogelijk wordt beperkt. De andere vier maatregelen (permanent grasland, dat niet wordt gescheurd en zonder drainage met een beperkte periode waarin de bemesting

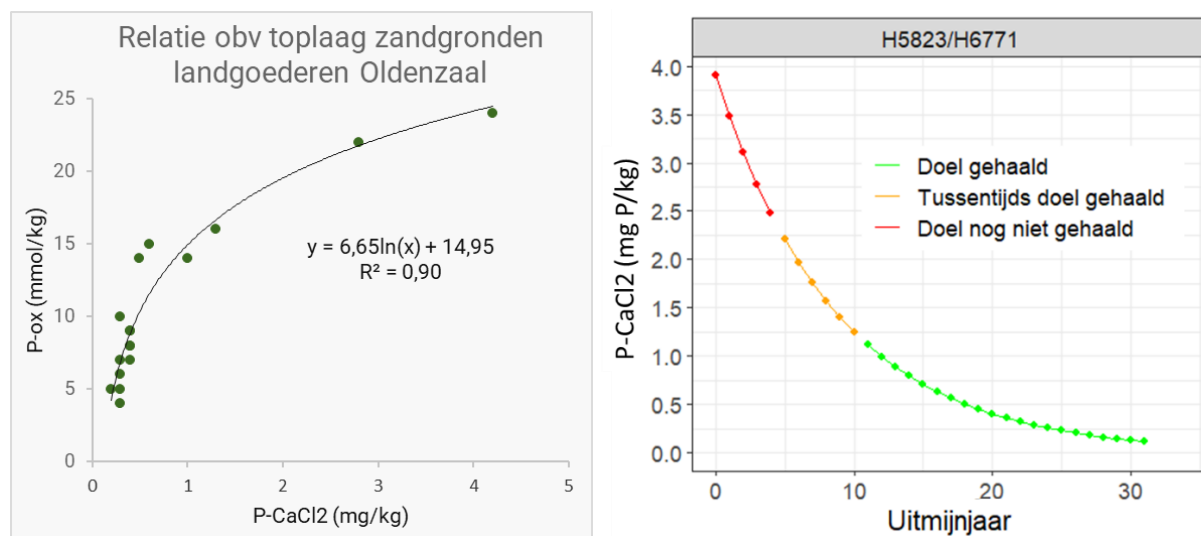
plaatsvindt en met brede bufferzone met randdam) zijn samen effectief en doelmatig in het voorkomen van eventuele P-verliezen van de percelen naar de Liesketbeek.

2.3 Verlagen fosfaattoestand van de bodem door uitmijnen

Doelstelling van uitmijnen is om in de betreffende drie percelen de directe P-beschikbaarheid in de bodem te verlagen. In een eerdere studie zijn meerdere landbouwpercelen in de Landgoederenzone Oldenzaal onderzocht (Postma et al., 2016). In de toplaag van deze percelen is een goede relatie af te leiden tussen de totaal beschikbare P-voorraad in de bodem (P-ox) en de direct beschikbare P-fractie zoals gemeten met P-CaCl₂ (linker Figuur 2-2). Eerder onderzoek heeft aangetoond dat met uitmijnen P-ox een goede indicator is voor het totaal beschikbare P-voorraad in de bodem (Van Rotterdam et al., 2021). De P bodemvoorraad (P-ox) daalt dan met de hoeveelheid P dat met uitmijnen wordt onttrokken uit de bodem. De relatie tussen P-CaCl₂ en P-ox kan vervolgens worden gebruikt om het effect op de verlaging van P-CaCl₂ te bepalen.

Bij een jaarlijkse verwachte grasopbrengst van 13 ton drogestof/ha en een P-gehalte in het gras van initieel 2,9 mg P/kg drogestof wordt 86 kg P₂O₅/ha per jaar verwijderd (dit is een schatting op basis van de P-onttrekking op de wat hoger gelegen zandgronden in een 10-jarige veldproef in een beekdal in Drenthe, Van Rotterdam et al., 2021).

Op basis van bovenstaande uitgangspunten die specifiek voor deze gronden van toepassing zijn, is een inschatting gemaakt van hoe snel P-CaCl₂ over de tijd zal dalen (rechter Figuur 2-2). De initiële P-CaCl₂ is hier ingeschat op basis van de meting in 2016. In 2022 was de gemeten P-CaCl₂ een eenheid hoger. Daarmee is de verwachte tijd die het duurt om P-CaCl₂ te doen dalen naar het tussentijdse doel van 2,4 en het streefdoel van 1,2 mg/kg respectievelijk 5 jaar en ruim 10 jaar.



Figuur 2-2 Linker figuur: Relatie tussen de totaal beschikbare P-voorraad in de bodem en de direct beschikbare P-fractie in de toplaag van de bodem van zand percelen in landgoederen Oldenzaal (data uit Postma et al., 2016). Rechter figuur is een inschatting van de daling in P-CaCl₂ over de tijd als gevolg van uitmijnen (zie tekst voor uitgangspunten).

2.4 Definitie landbouwgrond

De maatregel 'Uitmijnen' is door de dhr. Snippert en zijn adviseur als onwenselijk beschouwd omdat de grond niet langer als landbouwgrond zou mogen worden bestempeld, waarmee ook de aan landbouwgrond gekoppelde gebruiksnormen voor dierlijke mest, fosfaat en werkzame stikstof zouden

vervallen. Dit zou verregaande consequenties hebben voor de mestplaatsingsruimte en indirect daarmee ook voor het aantal dieren die gehouden mogen worden.

Het knelpunt zit in de definitie “Tot het bedrijf behorende oppervlakte landbouwgrond” uit de meststoffenwet: Tot het bedrijf behorende oppervlakte landbouwgrond: in Nederland gelegen oppervlakte landbouwgrond, die in het kader van een normale bedrijfsvoering bij het bedrijf in gebruik is. In deze definitie wordt gesproken over een normale bedrijfsvoering. Het is te beargumenteren dat de drie percelen geen ‘normale bedrijfsvoering’ hebben wanneer wordt uitgemijnd. In de uitwerking door RVO wordt nader ingegaan op ‘normale bedrijfsvoering’ door op te nemen dat als er niet wordt bemest en het land ook niet wordt gebruikt om te oogsten of te beweiden het areaal niet meetelt als landbouwgrond.

In voorliggende advies hanteren we het uitgangspunt dat de drie betreffende percelen wél landbouwgrond blijven en dat daarmee ook de mestplaatsingsruimte en het aantal dieren op bedrijfsniveau niet wordt beperkt. Het doel van uitmijnen is namelijk expliciet wél oogsten (zoveel mogelijk gras) en ook bemesten (N en K) en daarmee blijft de definitie landbouwgrond van kracht. Daarmee blijven de genoemde gebruiksnormen voor dierlijke mest, fosfaat en werkzame stikstof voor deze percelen ongewijzigd. Er worden alleen aanvullende afspraken gemaakt over de daadwerkelijke aanwending van meststoffen (vooral fosfaat) op de betreffende percelen. Voor het gehele bedrijf blijft de gebruiksruiimte ongewijzigd, wat betekent dat de (fosfaathoudende) mest die niet op deze 3 percelen worden toegepast, elders op het bedrijf kunnen worden ingezet. Ondanks dat de adviseurs van dhr Snippert het eens zijn dat de percelen landbouwgrond blijven, krijgen de betreffende percelen wel een aparte status bij RVO. Dit kan ertoe leiden dat de percelen alsnog niet mogen worden meegeteld en dat er zelfs een boete wordt opgelegd als we bovenstaand uitgangspunt hanteren. De adviseur van dhr. Snippert gaf aan dat RVO geen uitsluitel heeft kunnen geven in deze (overleg op 17 juli 2023). Dit leidt ertoe dat uitmijnen alsnog een risico is.

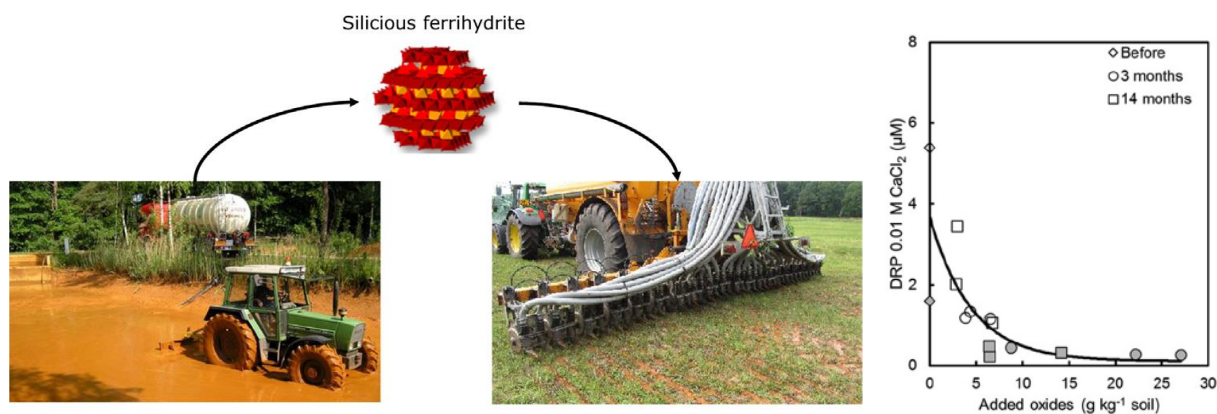
2.5 Alternatieve maatregel

Een alternatieve maatregel voor het opbrengen van grond is het inbrengen van ijzeroxideslib. In de bodem wordt de directe beschikbaarheid van P in de bodem bepaald door de mate waarin de bindingscapaciteit van de bodem is opgeladen met P (de fosfaatverzadigingsgraad). Het toedienen van ijzeroxideslib verhoogt de P-bindingscapaciteit van de bodem, en verlaagt daarmee de fosfaat verzadigingsgraad. Als gevolg daalt ook de directe P-beschikbaarheid.

Naast verschillende lab-experimenten is ook in de praktijk geëxperimenteerd met het toedienen van ijzeroxideslib aan een zandgrond (Figuur 2-3, Koopmans et al., 2020). Het gebruikte product is een industrieel bijproduct van de productie van drinkwater in een waterzuiveringsinstallatie van Brabant Water B.V.. Het ijzeroxideslib werd oppervlakkig in de bodem geïnjecteerd met behulp van een sleepvoetsysteem (Middelste Figuur 2-3). Vervolgens werd het met een cultivator door de bovenste 20 cm van de bodem gemengd.

Door de ultra-kleine deeltjesgrootte van het ijzeroxide nam de P-bindingscapaciteit sterk toe in de bodem. Het toevoegen van 10 g Fe leidde tot een afname van de directe P-beschikbaarheid met 1 mg P/kg (omgerekend van rechter Figuur 2-3). Wanneer de directe P-beschikbaarheid bijvoorbeeld met 2,5 mg P/kg (P-CaCl₂ van 5 naar 2,5) is 25 g Fe nodig per 10cm grond. Dit komt overeen met ongeveer 35 ton product/ha. De verlaging directe P-beschikbaarheid is na ruim een jaar vergelijkbaar met de daling na 3 maanden. Het eenmalig toedienen van ijzeroxideslib is daarmee een maatregel om voor de lange termijn de P-beschikbaarheid te verlagen.

Om te voorkomen dat de fosfaattoestand direct te veel zou dalen – dit zou via bemesting weer mogen worden aangevuld - zou in eerste basis gift kunnen worden aangehouden om daarna te controleren wat er in de praktijk gebeurt (andere grond en ander product dan gebruikt in Brabant). Mogelijk is een kleine extra gift nodig. Door het in stappen toe te voegen en tussen door te meten kan worden nagegaan hoe de bodem reageert en kan worden voorkomen dat de fosfaattoestand te veel daalt.



In-situ immobilization: Increase in soil reactive surface area

Figuur 2-3 Foto's van het experiment met het toedienen van ijzeroxideslib aan een zandgrond (links) en het effect op de directe P-beschikbaarheid als functie van de hoeveelheid ijzeroxideslib dat is toegepast. De meest linkse foto is het basin waar het ijzeroxideslib uit wordt gepompt in de vrachtwagen. In de rechter foto wordt het toegediend op een grasperceel.

Het slib is een natuurlijk product dat vrijkomt als restproduct tijdens ontijzering van anaeroob grondwater voor de productie van drinkwater; het is gevormd uit hetzelfde ijzer dat als kwelwater aan het oppervlak komt. In Nederland wordt circa 60% van het drinkwater geproduceerd uit grondwater; hierbij ontstaat een forse, doorlopende reststroom van ijzerslib (Koopmans et al., 2010). Aquaminerals en Vitens zijn bedrijven die in Nederland restproducten van de drinkwatervoorziening verwaarden en vermarkten. Het ijzeroxideslib is door heel Nederland verkrijgbaar in verschillende kwaliteiten.

Chardon et al. (2014) beschrijven een aantal andere praktische aspecten van het ijzerslib in relatie tot de bodemkwaliteit. Ijzerslib is een schoon restproduct: het bevat slechts kleine hoeveelheden zware metalen zoals arseen, cadmium, koper, nikkel, lood en zink. De gehalten daarvan liggen rond de achtergrondgehalten in de bovenste 10 centimeter van de Nederlandse bodem en door de grote bindingscapaciteit van de ijzeroxiden in het slib komen deze metalen nauwelijks vrij (Koopmans et al., 2010). Andere bodemkwaliteitsparameters zoals organische stof zullen naar verwachting niet meetbaar en merkbaar worden beïnvloed. De bodemstructuur verandert ook niet merkbaar na het toedienen van ijzerslib (persoonlijk contact Dr. Koopmans). Door de licht basische zuurgraad van het slib (pH=7,6) zorgt het toedienen van de benodigde hoeveelheden voor een lichte pH stijging van de bodem (op twee gronden van resp. 5,6 naar 6,9 en van 4,5 naar 6,8 (Chardon et al., 2014). De licht basische pH wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het hoge kalkgehalte in het voor deze proef gebruikte ijzerslib (20%), afkomstig van marmerkorrels in het filterbed (Koopmans et al., 2010). Als gevolg van deze stijging van de zuurgraad nam de mineralisatie van organische stof in de bodem toe. Daarbij was het stikstofleverend vermogen (NLV) van de bodem tijdelijk hoger dan verwacht op basis van de bodemanalyse resultaten. Hier zou in de mestgift voor gecorrigeerd kunnen worden.

In hoofdstuk 3 worden de drie verschillende maatregelen per perceel uitgewerkt; vervangen bouwvoor, uitmijnen en ijzer-oxideslib toedienen.

3 Percelen en uitwerking maatregelen

3.1 Beschrijving 3 percelen

Tabel 3-1 geeft een overzicht van kenmerken van de 3 percelen van dhr. Snippert (5823, 6771 en 6990) en een nabijgelegen perceel waarvan mogelijk een vervangende bouwvoor kan worden betrokken (3994) (grondonderzoek uitgevoerd door Eurofins-agro, voorjaar 2022).

Twee van de drie percelen, 6990 en 5823, zijn eerder onderzocht in een studie die door NMI is uitgevoerd (Postma et al., 2016). De resultaten zijn vergelijkbaar met de resultaten uit 2022. De fosfaattoestand in de bovenste 30 cm wordt op de percelen 5823 en 6771 geclassificeerd als Hoog en op perceel 6990 als Ruim/ Neutraal (Tabel 2-1). In het onderzoek van Postma et al., 2016 is ook de diepere bodemlaag gemeten. De fosfaattoestand is aanzienlijk lager in de 30-60 cm bodemlaag.

Opvallende zaken:

- De directe P-beschikbaarheid is vooral hoog op perceel 6771 en 5823 (P-CaCl₂ 5,1-5,3 mg P/kg; P-AL 66-67 mg P₂O₅/100 g) en een stuk lager op perceel 6990 (P-CaCl₂ 1,7; P-AL 43).
- De textuur wordt op alle drie de percelen op basis van het labonderzoek geclassificeerd als lemig zand, maar in het veld geeft het beperkte verschil in gemeten lutumgehalte grote waargenomen verschillen (visueel en manueel) in bodemstructuur. Perceel 6990 met het hoogst gemeten lutumgehalte (7%), maar met 70% zand en 20% silt, heeft in werkelijkheid een kleiige en harde structuur. Dit perceel heeft ook het laagste organische stofgehalte (2,3%). Terwijl de twee andere percelen (5823 en 6771) met slechts iets lagere gemeten lutumgehaltes (3 en 5%) en vrijwel dezelfde zand- en siltgehaltes van resp. 70-71% en 20-22% duidelijk zandgronden zijn. Tijdens het veldbezoek in juni 2023 ontstond de sterke indruk dat de gemeten verschillen in textuur tussen de percelen onderschat zijn.
- De twee meer zandige percelen (5823 en 6771) percelen zijn esgronden, die bodemkundig worden geclassificeerd als enkeerdgronden. Perceel 5823 is een ongeveer 50cm diepe enkeerdgrond, en perceel 6771 heeft een eerdlaag van ongeveer 70 tot 80cm dikte. Perceel 6990 heeft geen eerddek.
- Op alle drie de percelen is direct onder de A-horizont het slecht doordringbare keileem aanwezig. Wortels kunnen niet tot zeer beperkt in deze laag doordringen en ook zorgt het voor oppervlakkige en ondiepe uitspoeling van het neerslagoverschot.
- Het perceel van Natuurmonumenten (3994) dat eventueel in aanmerking zou kunnen komen voor het verwijderen van de toplaag voor een toepassing op perceel 6990 heeft een ondiepe toplaag van 15-20cm organisch stofrijk zand. Gezien de beperkte laagdikte van deze toplaag, lijkt de praktische uitvoerbaarheid van afgraven van de toplaag beperkt. Direct onder de toplaag is keileem aanwezig. Met het verwijderen van de toplaag zou de groeimogelijkheid voor vegetatie ook worden verwijderd of sterk worden beperkt. Het keileem zou aan de oppervlakte komen, waarbij een harde 'ondoordringbare plaat' zou overblijven.

Tabel 3-1 overzicht van de bodemopbouw, fosfaattoestand en gewas op de drie percelen van dhr. Snippert en het nabij gelegen perceel van Natuurmonumenten (NM).

	Tegenover huis 5823	Driehoek 6990	Perceel grenzend aan stal 6771	Perceel NM 3994
Foto bodemopbouw				
Fosfaat-toestand jan 2022	Toplaag (0-30cm) Hoog; P-AL=67 en P-CaCl ₂ = 5,3	Toplaag (0-30cm) Ruim; P-AL=43 en P-CaCl ₂ = 1,7	Toplaag (0-30cm) Hoog; P-AL=66 en P-CaCl ₂ = 5,1	Toplaag (0-30cm) Arm; P-AL=7 en P-CaCl ₂ = 0,5
Fosfaat-toestand 2016*	Toplaag (0-30cm) Hoog; P-AL=79 en P-CaCl ₂ = 4,2 Laag 30-60 cm Laag; P-AL=33 en P-CaCl ₂ = 0,7	Toplaag (0-30cm) Neutraal; P-AL=45 en P-CaCl ₂ = 1,3 Laag 30-60 cm Arm; P-AL=8 en P-CaCl ₂ = 0,3		
Risico P-emissie door:*	Afspoeling: Hoog en ondiepe uitspoeling: Vrij hoog	Afspoeling: Matig en ondiepe uitspoeling: Matig		
Toplaag	tot +/- 50cm. Matig organisch stofrijk zand met matig tot redelijke structuur	tot 30-40cm donker kleiig, harde grond, slechte structuur. Deel vh perceel te nat	tot 70-80cm organisch stofrijk, zand met goede structuur	15-20cm goed doorworteld zand
Direct onder toplaag	Keileem	Keileem, Fe-rijk en veel stenen. Slechte afwatering	Keileem	Fe-rijk keileem. Keileem vertoont gleyverschijnselen
Gewas	Mais	Mais	Mais	Witbol dominant, klaver en grassen

* Postma et al., 2016

3.2 Maatregelen per perceel

In onderstaande drie tabellen worden de kenmerken, risico's en adviezen voor de drie percelen één voor één besproken. Hierbij wordt voor elk per perceel de combinatie aan effectieve maatregelen geschetst en wordt de maatregel 'verlagen van de directe P-beschikbaarheid van de bodem' uitgewerkt in de maatregelen Uitmijnen, Vervangen/ ophogen toplaag en Inbrengen van ijzeroxideslib.

Perceel	Tegenover huis 5823
Bodem-gesteldheid	De A-horizont is +/- 50cm dik. De bodem bestaat uit matig organisch stofrijk zand met matig tot redelijke structuur. Het keileem is aanwezig onder de eerdlaag. De bodem is geclassificeerd als enkeerdgrond.
Hydrologie	Het perceel is gevoelig voor oppervlakkige afspoeling van water en daarin opgeloste nutriënten. Het ligt op een helling naar de Liesketbeek en keileem is ondiep (+/-50cm) aanwezig.
Fosfaat-toestand	De fosfaattoestand wordt landbouwkundig geclassificeerd als Hoog (Tabel 2-1). De directe beschikbaarheid van P is met P-CaCl ₂ 5,3 mg/kg hoog (2022). In een eerder onderzoek (2016) was de directe P-beschikbaarheid ook hoog (P-CaCl ₂ was 4,2 mg P/kg. In de bodemlaag 30-60cm onder maaiveld was de directe P-beschikbaarheid laag (P-CaCl ₂ 0,7).
Maatregelen om P-emissies van perceel naar Liesketbeek te voorkomen	De combinatie van een hoge directe fosfaatbeschikbaarheid en ondiepe af- en uitspoeling leiden tot een verhoogd risico op P-verliezen naar de Liesketbeek. De meest effectieve maatregelen zijn: Afvangen nutriënten in afstromend en ondiep uitspoelend water door een jaarrond begroeide en beheerde 10m brede bufferstrook inclusief een lage randdam. Maaibeheer is gericht op verschralen van de bodem door afvangen van nutriënten met een relatief diep wortelend gras-kruidenvegetatie. Op het perceel jaarrond groen voor waterberging en nutriëntenretentie door omzetten naar permanent grasland, dat ook niet wordt gescheurd en niet is gedraineerd. - Trapsgewijs verlagen van de directe P-beschikbaarheid in de bodem naar een P-CaCl₂ naar 2,4 en vervolgens naar 1,2 mg P/kg grond (zie paragraaf 'Doelstelling fosfaattoestand van de bodem').
Uitmijnen	Uitmijnen heeft tot doel om de P-onttrekking door het gewas te maximaliseren om zo de directe fosfaatbeschikbaarheid in de bodem te verlagen. Gewasgroei wordt gemaximaliseerd door het toedienen van stikstof, kalium en zwavel en de zuurgraad van de bodem op orde te houden. De aanwezigheid van een 50cm dikke eerdlaag met een redelijk goede structuur is ideaal voor een goede grasvegetatie. Wanneer wordt ingezaaid met grasklaver is bemesting gericht op voldoende Kalium (K) en een kleine Stikstof (N) gift. De pH moet hierbij voldoende hoog worden gehouden en maairegime worden aangepast aan het handhaven van het klaverbestand. N en K kunnen worden toegediend in de vorm van minerale meststoffen. Een andere optie is het mechanisch scheiden van mest en op dit perceel alleen de dunne fractie gebruiken. De gift is afhankelijk van de samenstelling van het product. De hoogte van de N-en K-gift worden bepaald op basis van bemestingsadvies.nl waarin de gift wordt afgestemd op het N-leverend vermogen van de bodem (NLV is voor dit perceel 65 kg N/ha), gewas (gras of gras/klaver), zwaarte van de maaisnedes en droogtegevoeligheid. De verwachting is dat de directe P-beschikbaarheid binnen 5 jaar sterk is gedaald tot de tussentijdse streefwaarde van P-CaCl₂ 2,4 (zie paragraaf 2.3). Nadat deze tussentijdse streefwaarde is bereikt kan de intensiteit van uitmijnen worden aangepast naar een gewasafvoer op basis van minimaal 3 maaisnedes en een negatief fosfaatbodemoverschot van minimaal 40 kg P₂O₅ per hectare. Na ongeveer 10 jaar is de verwachting dat de streefwaarde van P-CaCl₂ van 1,2 mg/kg is gehaald.

	De aanbeveling is regelmatig, bijvoorbeeld elke 2 tot 4 jaar, bodemonderzoek uit te voeren om de daling van de fosfaattoestand, met name P-CaCl ₂ , te monitoren.
Vervangen/ ophogen toplaag	Het vervangen van de toplaag is voor dit perceel een ingrijpende maatregel, waarvan men zich af kan vragen of die wel in verhouding staat tot het beoogde doel. Het roept het beeld op van 'het kind dat met het badwater wordt weggegooid'. Te meer omdat ook andere doelmatige maatregelen worden getroffen en het knelpunt van de (te) hoge fosfaatbeschikbaarheid relatief eenvoudig op een andere manier is op te lossen. Het verwijderen van de toplaag heeft op dit perceel een aantal bezwaren. Vanuit cultuurhistorisch perspectief is het verwijderen van de toplaag onwenselijk omdat de A-horizont een 50cm dikke eerdlaag is. Vanuit landbouwkundig oogpunt wordt de dikke organische stofrijke (3,8% OS) toplaag ook positief gewaardeerd. Ook bestaat het risico dat de landbouwkundige waarde van dit perceel na het aanbrengen van een vervangende bouwvoor blijvend op een lager niveau ligt dan nu het geval is. Als, ondanks de bezwaren, toch wordt gekozen voor deze oplossingsrichting, is het aan te bevelen de toplaag zo beperkt mogelijk te verwijderen en deze te 'verdunnen' door andere grond op te brengen en door de bouwvoor te mengen. Deze op te brengen grond heeft idealiter een fosfaattoestand in de klasse Arm en een directe P-beschikbaarheid P-CaCl₂ kleiner dan 0,5 mg P/kg. In deze situatie zou 15cm grond moeten worden verwijderd en 20cm grond moeten worden opgebracht en gemengd om de tussentijdse streefwaarde van P-CaCl₂ van 2,4 mg/kg te bereiken. Nadat deze tussentijdse streefwaarde is bereikt is het streven een negatief fosfaatbodemoverschot van minimaal 40 kg P₂O₅ per hectare om de directe P-beschikbaarheid verder te doen dalen naar 1,2 mg/kg. Deze op te brengen grond zou een organische stofrijke zandgrond moeten zijn met de specificaties organische stofgehalte van 3-4% en lutumgehalte <5%, waarbij de fijnheid van de zandfractie zoveel mogelijk overeen komt met die van de huidige bodem. De pH ligt bij voorkeur tussen 5 en 6 en de K-toestand wijkt ook niet teveel af van de huidige bodem (K-bodemvoorraad 2,5-3,5 mmol/kg en K-plant beschikbaar 125-150 mg K/kg). De grond mag geen zaden bevatten van soorten die schadelijk zijn voor vee en mag niet milieukundige verontreinigd zijn.
Inbrengen van ijzeroxideslib	Het inbrengen van ijzeroxideslib lijkt een simpele en effectieve maatregel om het beoogde doel – verlagen van de directe P-beschikbaarheid in de toplaag van de bodem – snel te bereiken. Bij een gewenste daling tot de tussentijdse streefwaarde van 2,4 mg P/kg (van P-CaCl₂ 5,3) is 29 g Fe nodig per 10cm grond. Dit komt overeen met ongeveer 40 ton product/ha. Deze dosis zou als eerste basis gift kunnen worden aangehouden. De verwachting is dat mogelijk een kleine extra gift nodig is. Door het in stappen toe te voegen en tussen door te meten kan worden nagegaan hoe de bodem reageert en kan worden voorkomen dat de fosfaattoestand te sterk daalt. Toedienen en inwerken kan na de maïsoogst en voor de inzaai van vanggewas of gras. Voor toedienen is bodemonderzoek nodig om de variatie binnen het perceel en hoogte van de ijzeroxideslib-gift te bepalen.

Perceel	Driehoek 6990
Bodem-gesteldheid	De A-horizont is slechts 30-40cm dik. De A-horizont heeft een slechte structuur, een beperkt organische stofgehalte en bevat zichtbaar veel ijzer(hydr)oxides. De bodemstructuur is slecht; bodemaggregaten zijn hoekig en hard. Het keileem is oppervlakkig aanwezig
Hydrologie	Op het perceel zijn duidelijk plassen zichtbaar. Het perceel is gevoelig voor oppervlakkige afspoeling van water en daarin opgeloste nutriënten. Het ligt op een helling naar de Liesketbeek en keileem is ondiep aanwezig. Bodemstructuur en beworteling van de toplaag zijn matig wat de benutting van water en nutriënten beperkt.

Fosfaat-toestand	De fosfaattoestand wordt landbouwkundig geclassificeerd als ruim (Tabel 2-1). De directe beschikbaarheid van P is met P-CaCl ₂ 1,7 mg/kg, niet heel hoog
Maatregelen om P-emissies van perceel naar Liesketbeek te voorkomen	De bodemstructuur en waterhuishouding zijn op dit perceel slecht. Het risico op P-emissie door afspoeling en ondiepe uitspoeling zijn ingeschat als matig (Postma et al., 2016). De meest effectieve maatregelen om het matige risico verder te verlagen zijn: - Afvangen nutriënten in afstromend en ondiep uitspoelend water door een jaarrond begroeide en beheerde 5 meter brede bemestingsvrije bufferstrook langs de westelijke bermsloot en een 10 meter brede bemestingsvrije bufferstrook met randdam aan de oost en zuidzijde. Maaibeheer is gericht op verschrallen van de bodem door afvangen van nutriënten met een relatief diep wortelend gras-kruidenvegetatie. - Op het perceel jaarrond groen voor waterberging en nutriëntenretentie door omzetten naar permanent grasland, dat ook niet wordt gescheurd. De drainage wordt onklaar gemaakt. - Verbeteren benutting water en nutriënten, door verbetering van de bodemstructuur en beworteling door aanvoer effectief (langzaam afbreekbaar) organische stof in de vorm van bodemverbeteraar zoals compost of vaste mest. - Verlagen fosfaattoestand van de bodem door een negatief P-bodemoverschot waarbij aanvoer structureel lager is dan onttrekking. Doel is een verlaging van het direct beschikbaar P in het uit de bodem spoelend water. Richtlijn hierbij is een streefwaarde voor de directe P-beschikbaarheid in de bodem, P-CaCl₂ van 1,2 mg P/kg grond.
Uitmijnen	Op dit perceel is het verschil tussen de actuele en gewenste directe P-beschikbaarheid klein. Het gewenste resultaat kan naar verwachting snel worden gerealiseerd. Daarbij is uitmijnen door het handhaven van een netto negatieve P-balans voldoende. Niet alleen minerale meststoffen, maar ook organisch stofrijke meststoffen toedienen is op dit perceel ook wenselijk vanuit het oogpunt van bodemkwaliteit. Het verbeteren van de slechte bodemstructuur en slechte hydrologische omstandigheden werkt positief door op de gewasgroei – en daarmee op de P-onttrekking – en op de nutriëntenbenutting. Dit kan bijvoorbeeld door de aanvoer van compost of vaste mest. Compost en vaste mest bevatten P maar de directe beschikbaarheid is laag. In experimenten is aangetoond dat met name op gronden met een hoge fosfaattoestand het toedienen van compost niet leidt tot een verhoging van de uitspoeling van P uit deze grond ten opzichte van het geval waarbij geen P wordt toegediend (Van Rotterdam en Veeken, 2019). Advies is om de eerste drie jaar een sterk negatief P-bodemoverschot te hanteren van ongeveer 60 kg P₂O₅/ha. Bij een verwachte grasopbrengst van 13 ton drogestof/ha en een P-gehalte in het gras van initieel 2,9 mg P/kg drogestof wordt 86 kg P₂O₅/ha verwijderd (dit is een schatting op basis van de P-onttrekking op de wat hoger gelegen zandgronden in een 10-jarige veldproef in een beekdal in Drenthe, Van Rotterdam et al., 2021). Het toedienen van ongeveer 25 kg P₂O₅/ha in de vorm van compost komt overeen met een compost gift van 20 ton compost (3,5 kg P₂O₅/ton product, 25% werkzaam) per ha per jaar. De aanbeveling is regelmatig, bijvoorbeeld elke 2 jaar, bodemonderzoek uit te voeren om de daling van de fosfaattoestand, met name P-CaCl₂, te monitoren.
Vervangen/opphogen toplaag	Op dit perceel is het verwijderen en vervangen van de toplaag onwenselijk omdat de A-horizont slechts 35-40cm dik is en zoals hierboven beschreven van een beperkte kwaliteit. Daarnaast is de fosfaattoestand verhoogd maar deze wordt landbouwkundig geclassificeerd als ruim (niet als hoog), en het risico van uit- en afspoeling van fosfaat is ingeschat als matig. Afgraven en vervangen van de huidige bouwvoor is daarmee een disproportioneel zware maatregel. Als optie om de fosfaattoestand te verlagen zou grond met een fosfaattoestand die wordt geclassificeerd als Laag of Arm kunnen worden opgebracht en door de bovenste 30cm worden doorgewerkt. Om de bodemkwaliteit van het huidige perceel

	te verbeteren zou deze grond een organisch stofrijke zandgrond moeten zijn met de specificaties organische stofgehalte >4% en lutumgehalte <4%. Met het handhaven van de huidige bodemkwaliteit als uitgangspunt zou een lager organische stofgehalte volstaan en als ook een hoger lutumgehalte (6-8%). De gewenste pH ligt op een niveau rond de 6 (5,5-6,5). De grond mag geen zaden bevatten van soorten die schadelijk zijn voor vee en mag niet milieukundige verontreinigd zijn.
Inbrengen van ijzeroxideslib	Het inbrengen van ijzeroxideslib lijkt op dit perceel niet wenselijk. De gewenste daling in $P-CaCl_2$ is zo klein dat de toe te dienen hoeveelheid te klein is om praktisch hanteerbaar te zijn.

Perceel	Tegenover de stal 6771
Bodem-gesteldheid	De A-horizont is +/- 70 – 80cm dik. De bodem bestaat uit organisch stofrijk zand met een goede structuur. Het keileem is aanwezig onder de eerdlaag. De bodem is geclassificeerd als enkeerdgrond.
Hydrologie	Het perceel is gevoelig voor oppervlakkige afspoeling van water en daarin opgeloste nutriënten. Het ligt op een helling naar de Liesketbeek en keileem is ondiep (+/- 70-80cm) aanwezig.
Fosfaat-toestand	De fosfaattoestand van de bovenste 30cm wordt landbouwkundig geclassificeerd als Hoog (Tabel 2-1). De directe beschikbaarheid van P is met $P-CaCl_2$ 5,1 mg/kg hoog (2022). Op basis van eerder onderzoek (2016) op een vergelijkbaar perceel (H5823) is de verwachting dat in de bodemlaag 30-60cm onder maaiveld de directe P-beschikbaarheid laag zal zijn.
Maatregelen om P-emissies van perceel naar Liesketbeek te voorkomen	De combinatie van een hoge directe fosfaatbeschikbaarheid en ondiepe af- en uitspoeling leiden tot een verhoogd risico op P-verliezen naar de Liesketbeek. De meest effectieve maatregelen zijn: Afvangen nutriënten in afstromend en ondiep uitspoelend water door een jaarrond begroeide en beheerde 10m brede bufferstrook inclusief een randdam (wat ter plaatse gevormd wordt door het kavelpad). Maaibeheer is gericht op verschrallen van de bodem door afvangen van nutriënten met een relatief diep wortelend gras-kruidentvegetatie. Op het perceel jaarrond groen voor waterberging en nutriëntenretentie door omzetten naar permanent grasland, dat ook niet wordt gescheurd en niet is gedraineerd. Trapsgewijs verlagen van de directe P-beschikbaarheid in de bodem naar een $P-CaCl_2$ naar 2,4 en vervolgens naar 1,2 mg P/kg grond (zie paragraaf 'Doelstelling fosfaattoestand van de bodem').
Uitmijnen	De aanwezigheid van een 70 tot 80cm dikke eerdlaag met een goede structuur is ideaal voor een goede grasvegetatie. De P-onttrekking wordt gemaximaliseerd door de grasopbrengst te optimaliseren door N, K, en op dit perceel ook S toe te dienen en de zuurgraad van de bodem op orde te houden door bekalken. Wanneer wordt ingezaaid met grasklaver is bemesting gericht op voldoende Kalium (K) en een kleine Stikstof (N) gift. De pH moet hierbij voldoende hoog worden gehouden en maairegime worden aangepast aan het handhaven van het klaverbestand. N en K kunnen worden toegediend in de vorm van minerale meststoffen. Een andere optie is het mechanisch scheiden van mest en op dit perceel alleen de dunne fractie gebruiken. De N-en K-gift worden bepaald op basis van bemestingsadvies.nl waarin de gift wordt afgestemd op het N-leverend vermogen van de bodem (NLV is voor dit perceel 70 kg N/ha), gewas (gras of gras/klaver), zwaarte van de maai-snedes en droogtegevoeligheid. De verwachting is dat de directe P-beschikbaarheid binnen 5 jaar sterk is gedaald tot de tussentijdse streefwaarde van $P-CaCl_2$ 2,4 (zie paragraaf 2.3). Nadat deze tussentijdse streefwaarde is bereikt kan de intensiteit van uitmijnen worden aangepast naar een gewasafvoer op basis van minimaal 3 maaisnedes en een

	negatief fosfaatbodemoverschot van minimaal 40 kg P₂O₅ per hectare. Na ongeveer 10 jaar is de verwachting dat de streefwaarde van P-CaCl₂ van 1,2 mg/kg is gehaald. Door de ligging van dit perceel tussen de stal en de beweidingspercelen is het voor dhr. Snippert wenselijk om het vee door het perceel te laten gaan naar de achterliggende wedepercelen, en om dit perceel ook voor beweiding te gebruiken. Waar het koeienpad komt te liggen wordt nader uitgewerkt. Het is de eerste jaren wenselijk dat de P-onttrekking wordt gemaximaliseerd door maaien en afvoeren. In relatie tot het maatregelen pakket als geheel, is het geen bezwaar als het vee door het perceel naar de achterliggende percelen loopt. Hierbij zullen de koeien slechts beperkt gras eten. Wanneer de tussentijdse streefwaarde van P-CaCl₂ 2,4 is bereikt zal een negatieve P-balans voldoende zijn om het risico op hoge P-verliezen te beperken. Minimaal 3 keer per jaar maaien en afvoeren met beperkt beweiden is dan voldoende om de directe P-beschikbaarheid langzaam te doen dalen. De aanbeveling is regelmatig, bijvoorbeeld elke 2 tot 4 jaar, bodemonderzoek uit te voeren om de daling van de fosfaattoestand, met name P-CaCl₂, te monitoren.
Vervangen/ ophogen toplaag	Het vervangen van de toplaag is voor dit perceel een ingrijpende maatregel, waarvan men zich af kan vragen of die wel in verhouding staat tot het beoogde doel. Het roept het beeld op van 'het kind dat met het badwater wordt weggegooid'. Te meer omdat ook andere doelmatige maatregelen worden getroffen en het knelpunt van de (te) hoge fosfaatbeschikbaarheid relatief eenvoudig op een andere manier is op te lossen. Het verwijderen van de toplaag heeft op dit perceel een aantal bezwaren. Vanuit cultuurhistorisch perspectief is het verwijderen van de toplaag onwenselijk omdat de A-horizont een 70-80cm dikke eerdlaag is. Vanuit landbouwkundig oogpunt wordt de dikke organische stofrijke (5,1% OS) toplaag ook positief gewaardeerd. Ook bestaat het risico dat de landbouwkundige waarde van dit perceel na het aanbrengen van een vervangende bouwvoor blijvend op een lager niveau ligt dan nu het geval is. Als, ondanks de bezwaren, toch wordt gekozen voor deze oplossingsrichting, is het aan te bevelen de toplaag zo beperkt mogelijk te verwijderen en deze te 'verdunnen' door andere grond op te brengen en door de bouwvoor te mengen. Deze op te brengen grond heeft idealiter een fosfaattoestand in de klasse Arm en een directe P-beschikbaarheid P-CaCl₂ kleiner dan 0,5 mg P/kg. In deze situatie zou 15cm grond moeten worden verwijderd en 20cm grond moeten worden opgebracht en gemengd om de tussentijdse streefwaarde van P-CaCl₂ van 2,4 mg/kg te bereiken. Nadat deze tussentijdse streefwaarde is bereikt is het streven een negatief fosfaatbodemoverschot van minimaal 40 kg P₂O₅ per hectare om de directe P-beschikbaarheid verder te doen dalen naar 1,2 mg/kg. Deze op te brengen grond zou een organische stofrijke zandgrond moeten zijn met de specificaties organische stofgehalte van meer dan 3-4% en lutumgehalte <5%, waarbij de fijnheid van de zandfractie zoveel mogelijk overeen komt met die van de huidige bodem. De pH ligt bij voorkeur tussen 5 en 6 en de K-toestand wijkt ook niet teveel af van de huidige bodem (K-bodemvoorraad 2,5-3,5 mmol/kg en K-plant beschikbaar 125-150 mg K/kg). De grond mag geen zaden bevatten van soorten die schadelijk zijn voor vee en mag niet milieukundige verontreinigd zijn.
inbrengen van ijzeroxideslib	Het inbrengen van ijzeroxideslib lijkt een simpele en effectieve maatregel om het beoogde doel – verlagen van de directe P-beschikbaarheid in de toplaag van de bodem – snel te bereiken. Bij een gewenste daling tot de tussentijdse streefwaarde van 2,4 mg P/kg (van P-CaCl₂ 5,1) is 27 g Fe nodig per 10cm grond. Dit komt overeen met ongeveer 38 ton product/ha. Deze dosis zou als eerste basis gift kunnen worden aangehouden. Mogelijk is een kleine extra gift nodig. Door het in stappen toe te voegen en tussen door te meten kan worden nagegaan hoe de bodem reageert en kan worden voorkomen dat de fosfaattoestand te ver daalt. Toedienen en inwerken kan na de maïsoogst en voor de inzaai van vanggewas of gras. Voor toedienen is bodemonderzoek nodig om de variatie binnen het perceel en hoogte van de ijzeroxideslib-gift te bepalen.

Literatuurlijst

- Chardon, Groenendijk en Koopmans (2014) Immobiliseren fosfaat met ijzerslib. Landschap 2014/3
- Groenendijk P, Kros H, Postma R & Van Rotterdam D (2016) Handreiking bemesting PAS Natura 2000-gebieden in Overijssel. Alterra, Wageningen, 75 pp.
- Koopmans, G.F., W.J. Chardon & J.E. Groenenberg, 2010. Karakterisatie van ijzerslib en -zand. Rapport 2047, Alterra Wageningen.
- Koopmans G.F., T. Hiemstra, C. Vaseur, W.J. Chardon, A. Voegelin, J.E. Groenenberg (2020) Use of iron oxide nanoparticles for immobilizing phosphorus in-situ: Increase in soil reactive surface area and effect on soluble phosphorus. *Science of the Total Environment* 711 135220
- Postma R, Van Rotterdam D & De Pater J (2016) Tweede bodemonderzoek landbouwpercelen Landgoederen Oldenzaal. NMI-rapport 1645.16, NMI, Wageningen, 26 pp.
- Postma R, Van Rotterdam D & De Pater J (2016) Tweede bodemonderzoek landbouwpercelen Landgoederen Oldenzaal. NMI-rapport 1645.16, NMI, Wageningen, 26 pp.
- Provincie Overijssel (2019) Inrichtingsplan Landgoederen Oldenzaal. Provincie Overijssel, Zwolle, 132 pp + bijlagen.
- Provincie Overijssel (2018) Stroomgebiedsrapportage, Landgoederen Oldenzaal, Uitwerkingsgebied Snoeijinkbeek Bovenloop
- Schoumans, O. F., & Chardon, W. J. (2015). Phosphate saturation degree and accumulation of phosphate in various soil types in The Netherlands. *Geoderma*, 237–238, 325–335.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.08.015>
- Van Rotterdam D, R. Postma, M van Doorn 2021, Natuurontwikkeling Roeghoorn; Resultaten van 10 jaar uitmijnen en verschralen in het beekdal van het Oostervoortschediep, Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1802.N.21, pp 45



Nutriënten Management Instituut BV
Nieuwe Kanaal 7c
6709 PA Wageningen

tel: (06) 29 03 71 03
e-mail: nmi@nmi-agro.nl
website: www.nmi-agro.nl

Toepassen ijzeroxideslib

Effect op uitspoeling zware metalen en bestrijdingsmiddelen

Debby van Rotterdam, Harm Gelderblom & Noud van Dam

Introductie

Op twee agrarische percelen in De Lutte, Overijssel wordt het toedienen van ijzeroxideslib aan de bodem voorbereid. Deze percelen hebben een hoge directe fosfaat (P) beschikbaarheid in de bouwvoor van de bodem. Beide percelen liggen op een helling naar de Liesketbeek en de aanwezigheid van keileem in de ondiepe ondergrond (+/- 50cm) maakt dat de percelen gevoelig zijn voor oppervlakkige afspoeling van fosfaat (P) naar de Liesketbeek. Deze beek mondt uit in de Snoeijinksbeek, een nabijgelegen Natura2000 gebied met een beekbegeleidend bos (vochtig alluviaal bos).

Met het aanbrengen van ijzeroxideslib wordt de hoeveelheid beschikbaar P ($P-CaCl_2$) in de bodem verlaagd om zo de af- en uitspoeling van fosfaat sterk te beperken. Ijzeroxideslib zorgt voor een toename van de P-bindingscapaciteit in de bodem. Hierdoor zal het negatief geladen P binden aan het positief geladen ijzer(hydr)oxide, waardoor de P-beschikbaarheid omlaag gaat. Voor de twee agrarische percelen in de Lutte is het doel om de directe P-beschikbaarheid ($P-CaCl_2$) te verlagen tot een streefwaarde van 1,2 mg P/kg. Het ijzeroxideslib zal gecontroleerd in twee keer worden toegediend om de $P-CaCl_2$ in stappen te verlagen. De exacte hoeveelheid wordt experimenteel bepaald. Deze stapsgewijze toediening is nodig om dat het proces waarmee P door het Fe-slib wordt gebonden onomkeerbaar is.

Eén van de twee percelen ligt in een grondwaterbeschermingsgebied (kadastraal perceel 5823). Speciaal voor dit perceel wordt in deze notitie dieper ingegaan op wat de mogelijke effecten van het toedien van ijzeroxideslib op vervuiling van het grondwater met zware metalen en/ of pesticiden kunnen zijn.

Vraagstelling

1. Wat is het effect van ijzeroxide op de mogelijke uitspoeling van zware metalen naar het grondwater?
2. Wat is het effect van waterijzer op de beschikbaarheid en uitspoeling van pesticiden

Methoden

De bovenstaande vraagstellingen worden beantwoord in de sectie resultaten. Deze resultaten zijn tot stand gekomen na literatuuronderzoek.

Ijzeroxideslib

Het ijzeroxideslib is een natuurlijk product dat vrijkomt als restproduct tijdens ontijzering van anaeroob grondwater voor de productie van drinkwater. Het is gevormd uit hetzelfde ijzer dat als kwelwater aan het oppervlak komt en is een verdunde suspensie van ijzer(hydr)oxide-deeltjes ($Fe(OH)_3$). In Nederland wordt circa 60% van het drinkwater geproduceerd uit grondwater; hierbij ontstaat een forse, doorlopende reststroom van ijzerslib (Koopmans et al., 2010).

Het ijzeroxideslib is licht- tot roodbruin van kleur, stabiel, geurloos en pH-neutraal tot licht basisch (7 – 8; AquaMinerals, 2016). Het is een vloeibare substantie met een droge stof gehalte van 7-8% (Aquamaterials, 2016). Sommige productielocaties van drinkwaterbedrijven worden gekenmerkt door hogere Ca-gehalten in het grondwater. Het waterijzer afkomstig van deze productielocaties bevat ten hoogste 12-13% droge stof calciumcarbonaat (Reststoffenunie, 2009).

Grondwater bevat lage concentraties zware metalen. Bij het onttrekken van ijzeroxideslib uit het grondwater komen deze elementen meer geconcentreerd in het ijzerslib terecht. Relevant zijn hier de zware metalen: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb en Zn, met als kritische stoffen kwik (Hg) en arseen (As). Onderzoek wijst uit dat in een enkele productielocatie sprake is van een overschrijding van vrijwel alle zware metalen bij toepassing op de bodem op basis van de natuurlijke achtergrondwaarden (besluit Bodemkwaliteit, Dorland et al., 2017). In dat onderzoek ging het om 52 ton waarbij de normen voor zware metalen werden overschreden, op een totale productie van 71189 ton product. Wat neerkomt op 0.07% van de totale productie tussen 2014 en 2016. In 99,3% van de gevallen voldoet het ijzeroxideslib aan de eisen die gesteld zijn aan het toedienen van zware metalen aan de bodem. Door de (sterk) bindende werking van ijzerhydroxide worden de zware metalen aan het slib gebonden (KWR et al., 2017; van der Grift, 2023). Door de lage oplosbaarheid blijven deze zware metalen preferent in deze vaste fase.

De samenstelling is weergegeven in onderstaande tabel (veiligheidsinformatieblad waterijzer Aquamaterials). De relatief hoge calciumgehalte is waarschijnlijk afkomstig van de marmerkorrels die worden gebruikt in het filterbed (Koopmans et al., 2010). Dit veroorzaakt waarschijnlijk ook de neutrale tot licht basische pH van het product. Dorland et al. (2017) geven aan dat voor de toepassing om P te binden in de bodem de verhouding tussen ijzer en P lager moet zijn dan 0.1. Dorland et al. (2017) geven verder aan dat andere verontreinigende stoffen (PAK's enz.) niet aanwezig zijn in ijzeroxideslib in meetbare en/of schadelijke concentraties.

Tabel 1. Samenstelling ijzeroxideslib (waterijzer, veiligheidsinformatieblad waterijzer Aquamaterials)

Samenstelling (gewichtspersentase op basis van droge stof):

Fe ₂ O ₃ ·3H ₂ O	:	80	-	100%
Inert (zand)	:	1	-	10%
Ca	:	<0,1	-	5%
P	:	0,1	-	4%
Al	:	<0,1	-	0,3%
Mg	:	<0,1	-	0,3%
Mn	:	<0,1	-	4%
Droge stof	:	7,5	-	30%

Toevoegen ijzeroxideslib aan de bodem en beschikbaarheid zware metalen

De hoeveelheid Fe dat wordt toegevoegd aan de bodem in verhouding tot de hoeveelheid Fe die reeds in de bodem aanwezig is (zeer) klein, en hangt af van zowel de dosis Fe-slib als van het initiële Fe gehalte in de bodem. In het betreffende perceel in de Lutte (kadastraal perceel 5823) is de hoeveelheid Fe in de vorm van ijzeroxides in de bodem 1900 mg Fe/kg grond in de bovenste 30cm (gemeten met een oxalaat extractie, Postma et al., 2016). Koopmans et al., (2020) hebben een veldproef uitgevoerd, waarbij een ijzertoevoeging van 10-15 g Fe/kg grond werd toegediend. Uitgaande van deze hoeveelheid is de hoeveelheid Fe dat wordt toegediend een factor 150 lager dan het Fe dat in de vorm van ijzer(hydr)oxiden in de bodem aanwezig is. Binnen de omstandigheden (voldoende zuurstof en voldoende hoge zuurgraad) van een landbouwbodem in het algemeen en ook het betreffende perceel is dit ijzeroxide stabiel.

Via het ijzerslib worden ook zware metalen in lage concentraties aan de bodem toegevoegd. Relevant zijn hier de zware metalen: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb en Zn, met als kritische stoffen kwik (Hg) en arseen (As). Het eenmalig toedienen van ijzeroxideslib en daarmee ook van zeer kleine hoeveelheden zware

metalen zal tot een toename leiden in de totaal gehalten van deze elementen in de bodem. Omdat deze elementen van nature ook in de bodem voorkomen is het afhankelijk van de Ausgangssituatie en de dosering afhankelijk of de totaal gehalten meetbaar toenemen. De gehalten die worden toegediend liggen echter rond de achtergrondgehalten in de bovenste 10 centimeter van de Nederlandse bodem (Chardon et al., 2014).

Totaalgehalten zijn echter in termen van beschikbaarheid voor gewas en watersysteem niet relevant. Totaalgehalten zijn geen maat voor de hoeveelheid die in de bodemoplossing beschikbaar is voor plant opname of voor uitspoeling naar het watersysteem. Daarom is het relevanter om het biobeschikbare gehalte te meten. In de studie van Dorland (2017) leidde het toedienen van ijzerslib tot gelijkblijvende of zelfs lagere direct beschikbaar gehalten zoals gemeten in een 0.01M CaCl₂ extract, voor: Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn. Significant was dit effect voor Al, As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, en Zn.

De gelijkblijvende of lagere biobeschikbaarheid van de zware metalen door het toedienen van ijzeroxideslib is het gevolg van de binding van deze elementen aan het ijzeroxideslib. Niet alleen de zware metalen die via het ijzeroxideslib worden toegediend werden dus gebonden maar ook de zware metalen die al in de bodemoplossing aanwezig waren. Een waarschijnlijke aanvullende reden waarom de biobeschikbaarheid gelijk bleef of afnam in de bodem is de verandering van de zuurgraad.

De zuurgraad van de bodem is een belangrijk sturend mechanisme voor biobeschikbaarheid van de verschillende elementen in de bodem. Het ijzeroxideslib heeft een pH tussen de 7 en 8 (Aquaminerals, 2016). De pH verhoging in de bodem hangt af van ijzeroxideslib dosering, van de initiële pH van de bodem en van de zuur bufferende werking van de bodem. Wanneer de initiële pH en zuurbuffering van de bodem laag is zal de pH verhoging aanzienlijk kunnen zijn, aangezien het verschil in pH tussen de bodem en het Fe-slib groter is. In eerdere studies is een (tijdelijke) verhoging van de bodem pH met 2,5 pH-eenheden tot een pH van 7 waargenomen (Koopmans et al., 2020, Chardon et al., 2014 Dorland et al., 2017). Deze studies toonden ook aan dat de pH verhoging sterk is gedurende de eerste 3-6 maanden. Daarna daalde de pH weer, maar bleef alsnog wel hoger dan initiële waarde. Uit praktijkproeven met ijzeroxideslib bleek dat verhoogde pH van de bodem ertoe leidde dat de reeds in de bodem aanwezige metalen sterker werden gebonden en daardoor verminderd direct beschikbaar werden (Dorland et al., 2017).

Bij het stijgen van de pH van de bodem veranderen de pH afhankelijke ladingen van bodemdeeltjes. Dit zijn vooral de ladingen van minerale kleiranden en organische stof (Gu et al., 2019; Harter, 1983). Deze worden meer negatief geladen. Als gevolg worden de zware metalen (= positief geladen) sterker gebonden waardoor de beschikbaarheid zal gaan dalen. De toename in de binding van zware metalen is al zichtbaar bij pH stijgingen vanaf een pH van 5 en dit fenomeen neemt toe bij hogere pH (pH 7-7.5, Harter, 1983).

Andere bodemkwaliteitsparameters zoals organische stof zullen naar verwachting niet meetbaar en merkbaar worden beïnvloed. De bodemstructuur verandert ook niet merkbaar na het toedienen van ijzerslib (persoonlijk contact Dr. Koopmans). Als gevolg van deze stijging van de zuurgraad nam de mineralisatie van organische stof in de bodem toe. Daarbij was het stikstofleverend vermogen (NLV) van de bodem tijdelijk hoger dan verwacht op basis van de bodemanalyse resultaten. Hier zou in de mestgift voor gecorrigeerd kunnen worden.

Ijzeroxideslib en het effect op pesticiden

Het effect van ijzeroxideslib op de biobeschikbaarheid en uitspoeling van pesticiden hangt af van een aantal factoren. Sommige pesticiden adsorberen aan kleimineralen en organische stof, waarbij vooral de adsorptie aan kleimineralen domineert (Iglesias et al., 2010). Het kleipercantage van het betreffende perceel is relatief laag (3%) en het organische stofgehalte is relatief hoog (5%). Door de verwachte verhoging van de bodem pH is de verwachting dat de binding van bestrijdingsmiddelen aan de klei- en organische stof eerder groter dan minder wordt.

De binding van bestrijdingsmiddelen aan het ijzeroxideslib zelf zal naar verwachting verwaarloosbaar klein zijn. Mogelijk zou een indirect effect kunnen optreden. IJzeroxiden kunnen complexen vormen met organische stof (Di Iorio et al., 2022). Wat het effect hiervan is op de beschikbaarheid (verhogend of verlagend) is niet bekend.

Daarnaast is het van belang dat op het betreffende perceel alleen ingezet zal gaan worden voor permanent grasland. Op permanent grasland is het gebruik van pesticiden zeer minimaal en vele malen kleiner dan in akkerbouwgewassen (Van den Hout et al., 2023). Sporadisch en lokaal kunnen herbiciden worden ingezet tegen soorten die giftig zijn voor het vee.

Effect ijzeroxideslib op het grondwater

Het betreffende perceel (kadastraal perceel 5823) ligt op een helling naar de Liesketbeek en keileem is ondiep (+/-50 cm) aanwezig. Hierdoor is de kans op uitspoeling naar het grondwater gering.

Ondanks dat er zware metalen aan de bodem worden toegevoegd met het ijzeroxideslib zal het risico op uitloging van zware metalen door het toedienen van ijzeroxideslib gelijk blijven of afnemen (Koopmans et al., 2010, 2020; Dorland et al., 2017). Voor het risico op uitloging zijn niet totaalgehalten relevant maar de beschikbaarheid van deze elementen in de bodem. Door de bindingscapaciteit van het ijzeroxideslib en de verhoging van de bodem pH blijft de biobeschikbaarheid van zware metalen in de bodem gelijk of neemt deze af.

Door het toedienen van ijzeroxideslib zal de beschikbaarheid van pesticiden naar verwachting ook gelijk blijven of mogelijk afnemen. De kans dat bestrijdingsmiddelen in het grondwater terechtkomen op het betreffende perceel is klein omdat de ondoordringbare keileem laag in de ondiepe ondergrond ervoor zorgt dat er geen directe verbinding is met het grondwater.

Conclusie

IJzeroxideslib is een natuurlijk restproduct van de drinkwaterwinning. Chemisch gezien is het product stabiel. Onder de heersende bodemomstandigheden die nodig zijn voor agrarische productie (ontwaterd en zuurgraad tussen 5 en 7,5) zal dit product ook stabiel blijven.

IJzerrijk drinkwaterslib heeft de status van bijproduct. Voor het toedienen ervan als product om fosfaat te binden in bodems gelden de Wet Natuurbescherming en de zorgplicht bodem (Dorland et al, 2017). Onderzoek heeft aangetoond dat de toepassing van drinkwaterslib geen nadelige effecten heeft op de bodem. Door bij de selectie van geschikte drinkwaterslibben de concentraties aan zware metalen als één van de selectiecriteria mee te nemen, wordt voorkomen dat de natuurlijke achtergrondwaarden voor deze metalen worden overschreden (Dorland et al., 2017).

Het gevaar dat de uitspoeling van zware metalen toeneemt als gevolg van het toedienen van ijzeroxideslib is afwezig. Ondanks dat er zware metalen aan de bodem worden toegevoegd met het ijzeroxideslib zullen de Fe-oxiden in het slib de metalen sterk binden. Bovendien zal de verhoging van de pH van de bodem door de toevoeging van het licht basische ijzeroxideslib zorgen voor een hogere bindingscapaciteit van organische stof en kleimineralen voor zware metalen die initieel al aanwezig zijn in de bodem.

Het effect van ijzeroxideslib op de beschikbaarheid en uitspoeling van pesticiden is onzeker. In theorie zou van bepaalde stoffen de beschikbaar, en daarmee de uitspoeling, afnemen door een sterkere binding aan klei en organische stof als gevolg van een verhoging van de bodem pH. Dit is niet onderzocht. Het gevaar voor de drinkwatervoorziening zal voor dit perceel echter gering zijn aangezien er minimaal direct contact is met het grondwater door de aanwezigheid van een ondiepe (+/- 50cm diepte) ondoordringbare keileemlaag. Daarnaast zal het betreffende perceel alleen nog worden ingezet als permanent grasland waar het gebruik van pesticiden zeer beperkt is.

Literatuur

Aquaminerals. (2016). *Veiligheidsinformatieblad Waterijzer.*

Chardon, W. J., Groenenberg, J. E., & Koopmans, G. F. (2014). *Immobiliseren fosfaat met ijzerslib.* January.

Claudio, C., Iorio, E., Liu, Q., Jiang, Z., & Barrón, V. (2018). *Iron Oxide Nanoparticles in Soils : Environmental and Agronomic Importance Iron Oxide Nanoparticles in Soils : Environmental and Agronomic Importance.* January. <https://doi.org/10.1166/jnn.2018.15294>

Di Iorio, E., Circelli, L., Angelico, R., & Tan, W. (2022). *Chemosphere Environmental implications of interaction between humic substances and iron oxide nanoparticles : A review.* 303(March). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135172>

Gu, S., Kang, X., Wang, L., Lichtfouse, E., & Wang, C. (2019). Clay mineral adsorbents for heavy metal removal from wastewater : a review. *Environmental Chemistry Letters*, 17(2), 629–654. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0813-9>

Harter, R. D. (1983). *Effect of Soil pH on Adsorption of Lead, Copper, Zinc, and Nickel.* 1130. <https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700010009x>

Iglesias, A., López, R., Gondar, D., Antelo, J., Fiol, S., & Arce, F. (2010). Adsorption of paraquat on goethite and humic acid-coated goethite. *Journal of Hazardous Materials*, 183(1–3), 664–668. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.07.077>

Koopmans, G. F., Chardon, W. J., & Groenenberg, J. E. (2010). *Karakterisatie van ijzerslib en-zand.* Alterra Report, 2047.

Koopmans, G. F., Hiemstra, T., Vaseur, C., Chardon, W. J., Voegelin, A., & Groenenberg, J. E. (2020). Science of the Total Environment Use of iron oxide nanoparticles for immobilizing phosphorus in-situ : Increase in soil reactive surface area and effect on soluble phosphorus. *Science of the Total Environment*, 711, 135220. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135220>

KWR, Alterra WUR, & BWare. (2017). *Toepassing van drinkwaterslib op fosfaatrijke gronden natuurontwikkeling.*

Reststoffenunie. (2009). *Verzoek tot plaatsing Waterijzer op bijlage Aa Uitvoeringsregeling Meststoffenwet.*

Van der Grift, B. (2023). *Rol van droogte en vernatting bij mobiliteit metalen in het landelijk gebied.*

Van den Hout M., J. de Wit, M. Bruinenberg, N. Hoekstra, P. Struyk, J. Pijlman, N. van Eekeren (2023) *Grasland maakt het verschil. Extra waarden -boven productie- in stikstofdiscussies en verder.* Louis Bolk Instituut Publicatienummer 2023-013 LbD.

Samenstelling ijzeroxideslib in relatie tot normstelling bodemkwaliteit

Om te toetsen of het toedienen van ijzeroxideslib uit St Jans klooster voldoet aan de normen ter bescherming van de bodemkwaliteit zijn de volgende stappen toegepast.

1. Dosering is op basis van literatuur en de drogestofgehalte (9%) en het ijzergehalte (340 g Fe/kg ds) van het slib omgerekend naar kg product per kg grond. De literatuur beoogde de P-CaCl₂ zo laag mogelijk te krijgen. Dat is bij dhr. Snippert expliciet niet het geval. Hier moet de directe P-beschikbaarheid dalen tot een concentratie van in eerste instantie rond 2,4 mg P/kg en in tweede instantie richting 1,2 mg P/kg. De dosering komt hierbij zeer nauw. Waar in de literatuur een dosering van 10-15 g Fe-oxide per kg grond werd gehanteerd is het uitgangspunt hier dat 1 tot 5 g Fe-oxide per kg grond wordt gedoseerd. Dit leidt tot een range van 20 tot 100 g product per kg grond (licht groen gearceerd in onderstaande tabellen).
2. Voor arseen en de verschillende zware metalen is voor de verschillende doseringen berekent hoeveel van dit element per kg grond zou worden toegediend.
3. Deze gehalten uitgedrukt per kg grond zijn vergeleken met de normstelling en bodemkwaliteitsbeoordeling (donker groen in onderstaande figuur) die zijn overgenomen uit de landelijke referentiewaarden ter onderbouwing van maximale waarden in het bodembeleid (<https://www.bodemplus.nl/onderwerpen/wet-regelgeving/bbk/@131970/nobo-normstelling-bodemkwaliteitsbeoordeling/>)

De conclusie is dat bij de te hanteren doseringen geen van de zware metalen of arseen de normstelling vanuit de wet bodembescherming overschrijdt.

g FeOx/kg grond	g Fe/kg grond	kg product /kg grond
15	9,6	0,31
10	6,4	0,21
5	3,2	0,10
2,5	1,6	0,05
1	0,6	0,02

Samenstelling ijzeroxideslib St Jans klooster				mg element/kg grond bij een dosering kg product/ kg soil van:					Normstelling** mg/kg grond
Anorganis parameters	mg/kg ds	mg/kg product*		0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	
arseen (As)	110	9,9		2,97	1,98	0,99	0,50	0,20	20
barium (Ba)	730	65,7		19,71	13,14	6,57	3,29	1,31	190
cadmium (Cd)	< 0,2	0,018		0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,6
chrom (Cr)	21	1,89		0,57	0,38	0,19	0,09	0,04	55
kobalt (Co)	3,8	0,342		0,10	0,07	0,03	0,02	0,01	15
koper (Cu)	< 5	0,45		0,14	0,09	0,05	0,02	0,01	40
kwik (niet v (Hg)	< 0,05	0,0045		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15
lood (Pb)	< 10	0,9		0,27	0,18	0,09	0,05	0,02	50
molybdeen (Mo)	< 1,5	0,135		0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	1,5
nikkel (Ni)	6	0,54		0,16	0,11	0,05	0,03	0,01	30
zink (Zn)	< 20	1,8		0,54	0,36	0,18	0,09	0,04	140
aluminium (Al)	800	72		22	14	7	4	1	
calcium (Ca)	57000	5130		1539	1026	513	257	103	
fosfor als f (P ₂ O ₅)	16000	1440		432	288	144	72	29	
ijzer (Fe)	340000	30600		9180	6120	3060	1530	612	
magnesium (Mg)	1700	153		46	31	15	8	3	
mangaan (Mn)	2900	261		78	52	26	13	5	

* Drogestofgehalte van 9%

**Normstelling bodemkwaliteitsbeoordeling; landelijke referentiewaarden ter onderbouwing van maximale waarden in het bodembeleid

Reactie op uitwerking en voorwaarden omgevingsdienst Twente op toepassing waterijzer

Auteurs D. van Rotterdam en L. van Schöll

Inleiding

Omgevingsdienst Twente heeft een advies verstrekt voor het toepassen van ijzeroxideslib (waterijzer) als fosfaatbindende maatregel op landbouwpercelen in grondwaterbeschermingsgebied Enschede-Losser (zaaknummer Z2023-ODT-015008). De omgevingsdienst stemt, onder voorwaarden, in met het toepassen van waterijzer voor deze toepassing. Dit besluit en onderliggende voorwaarden zijn door de omgevingsdienst Twente onderbouwd aan de hand van drie vragen:

1. Mag ijzer(hydr)oxideslib afkomstig van de drinkwatersector (drinkwaterslib) worden toegepast op landbouwgrond als maatregel ter vermindering van uit- en afspoeling van fosfaat (in en buiten het grondwaterbeschermingsgebied Enschede-Losser)? Zo ja, onder welke voorwaarden?
2. Welke goedkeuring(en) heeft Vitens (van de Omgevingsdienst) nodig om de afvalstof drinkwaterslib (ijzerhydroxideslib) in de markt te mogen zetten als (bij-) product (productnaam: waterijzer)?
3. Is een REACH-registratie voldoende om de afvalstof drinkwaterslib (ijzerhydroxideslib) in de markt te mogen zetten (en transporteren) als (bij-)product (productnaam: waterijzer)?

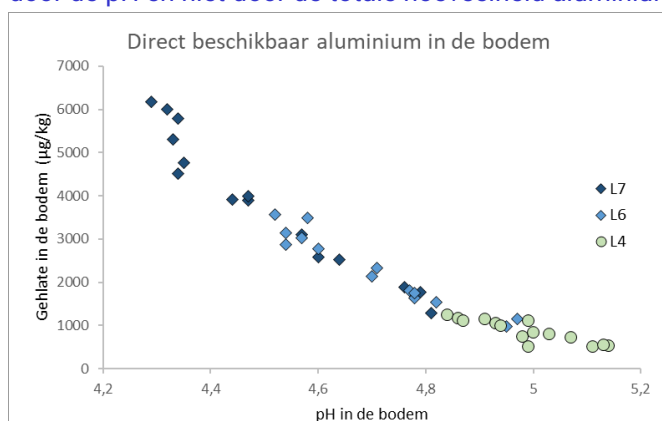
Deze drie vragen heeft de omgevingsdienst Twente afzonderlijk beantwoord, inclusief de randvoorwaarden. Daarnaast zijn een drietal algemene voorwaarden geformuleerd op basis van een aantal uitgangspunten. In deze notitie worden achtereenvolgens de overwegingen, de voorwaarden en de beantwoording van de drie vragen besproken. [De reactie van het NMI op één van deze onderdelen is in deze notitie in kobalt blauw geschreven.](#)

Overwegingen omgevingsdienst Twente

- Doel van het toepassen van het waterijzer is het binden van fosfaat aan de bodem zodat dit niet langer uitspoelt naar oppervlakte water en grondwater.
- Het waterijzer heeft geen constante samenstelling, de gehalten aan zware metalen kunnen variëren. Over het algemeen geldt: hoe hoger het percentage onopgeloste stof, hoe hoger de concentratie zware metalen, hoe beter de werking.
- Voor het toepassen van waterijzer is de Wet bodembescherming - artikel 13 zorgplicht van toepassing. Voor toepassen binnen een grondwaterbeschermingsgebied is de zorgplicht van artikel 3.1.1.2 Omgevingsverordening Overijssel 2017 eveneens van toepassing
- Het lozen van afvalwater op de bodem buiten inrichtingen is geregeld in Besluit lozen buiten inrichtingen (Blbi): in artikel 1 van het Blbi wordt een definitie van lozen gegeven. Voor het waterijzer is een REACH-verklaring afgegeven, zodat er geen sprake is van afvalwater. Het Blbi is niet van toepassing.
- Door de samenstelling (hoge ijzergehalte) van het slib kan het niet worden aangemerkt als grond/baggerspecie. Het Besluitbodembodemkwaliteit is voor de toepassing als grond/baggerspecie niet

van toepassing. Toepassen als bouwstof is niet mogelijk aangezien bij een bouwstof terugneembaarheid een vereiste is.

- Het toepassen van het slib leidt tot een verhoging van de pH-waarde, waardoor ook zware metalen beter aan de bodem gebonden worden. De omgevingsdienst formuleert het aandachtspunt dat het pH-effect mogelijk tijdelijk is en zware metalen na verloop van tijd weer uitspoelen. Doordat extra zware metalen worden toegevoegd, kan deze uitspoeling versterkt plaatsvinden. Een mestgift kan de pH verlagen, geadviseerd wordt de percelen waar het waterijzer wordt toegepast niet meer te bemesten.
 - De pH van de bodem is in principe aan verandering onderhevig. Echter, de bodemchemie werkt zo dat de verandering van de pH wordt gebufferd; in kalkloze zandgronden zorgt de uitwisseling aan het klei-humuscomplex ervoor dat de verandering langzaam gaat en het in oplossing gaan van ijzer- en aluminium (hydr-)oxiden zorgt ervoor dat de pH van de bodem niet onder een bepaald niveau komt. Met de toevoeging van waterijzer worden zeer kleine hoeveelheden metalen toegevoegd ten opzichte van de hoeveelheid ijzer(hydr-)oxide. De ijzer(hydr-)oxide verhoogt ook de buffering van de zuurgraad. Het is niet de verwachting dat de zuurgraad weer zal dalen.
 - Daarnaast is het ook niet de verwachting dat extra metalen zullen uitspoelen wanneer de pH mogelijk weer daalt tot het originele niveau. Dit komt omdat het in oplossing gaan van metalen óók wordt gebufferd door chemische processen in de bodem. Voor deze processen is de pH vaak sturend. Dit is in onderstaande figuur getoond voor de drie deelgebieden waar het waterijzer zal worden toegepast. De hoeveelheid direct beschikbaar aluminium wordt bepaald door de pH en niet door de totale hoeveelheid aluminium in de bodem.



- In de betreffende percelen zal de verandering van de zuurgraad na het toepassen van waterijzer worden gemonitord. Wanneer de pH toch daalt, zal een passende kalkgift worden gegeven waardoor de pH weer stijgt en de beschikbaarheid van de metalen in de bodemoplossing (sterk) daalt.
- Organische mest is basisch. Het toevoegen van organische mest zorgt niet voor een verlaging van de bodem pH. Sommige vormen van kunstmest hebben wel een verzurende werking in de bodem. In de normale agrarische praktijk wordt daarom ook standaard onderhoudsbekalking gehanteerd. Voor alle biologische en chemische processen in de bodem en voor een goede beworteling van het gewas is een agronomisch optimale zuurgraad van toepassing. Op zandgrond is een pH tussen 5 en 6 optimaal. Agrariërs sturen daarop door te bekalken. Deze percelen zijn landbouwpercelen waar bemesting is toegestaan. Het niet toestaan van bemesting is niet aan de orde en ook niet nodig om uitspoeling van metalen te beperken.
- IJzerwaterslib is zonder problemen alleen toepasbaar op droge zandgronden. De bodemopbouw op de toepassingslocatie bestaat in de bovenste circa 0,5 meter uit zandgrond, met daaronder keileem. Deze zandlaag laag lijkt geschikt voor de toepassing. Voor de onderliggende keileemlaag is deze methode niet geschikt. **De omgevingsdienst formuleert het aandachtspunt dat het organische stof gehalte van 5%, mogelijk voor een mindere werking van het waterijzer zorgt.**

- Om de dosering optimaal af te stemmen op de bodemsamenstelling ter plaatse zijn twee sporen bewandeld. In het eerste spoor zijn de percelen opgedeeld in kleinere deelgebieden op basis van hoogteligging (AHN4) en historisch landgebruik (topotijdreis.nl). Per deelgebied is de bodemsamenstelling en fosfaattoestand in detail onderzocht. Alleen die deelgebieden waar de directe beschikbaarheid van fosfaat in de bodemoplossing te hoog is, zal waterijzer worden toegepast. In het tweede spoor is per deelgebied een doseringsproef uitgevoerd waarin het waterijzer in verschillende doseringen is toegepast op bodemonsters van de verschillende deelgebieden. Zo is bepaald waar toepassing van het waterijzer nodig is, en welke dosis het gewenste effect sorteert zonder het milieu te verontreinigen.
- Door de methode wordt P niet verwijderd, het is niet meer biologisch beschikbaar. De bindingen die met fosfaat worden gevormd zijn stabiel, ook onder veranderende pH-omstandigheden. Het is niet de verwachting dat fosfaat na verloop van tijd weer gaat uitspoelen. Door eventuele nieuwe inspoeling van fosfaat van buiten de locatie zijn mogelijk nieuwe injecties met ijzerwaterslib noodzakelijk. Door die nieuwe injecties kan een accumulerend effect van zware metalen optreden dat ongewenst is. De kans dat overschrijdingen van de achtergrondwaarden met zware metalen in de bodem optreden die op den duur uitspoelen naar het grondwater wordt daarmee vergroot. Daarmee lijkt het toepassen van ijzerwaterslib vooral een korte termijn oplossing.
 - Het toepassen van waterijzer is eenmalig (zo nodig in meerdere doseringen om overdosering te voorkomen) omdat het de bindingscapaciteit van de bodem voor fosfaat ter plaatse blijvend verhoogt. Fosfaat is een molecuul dat sterk bindt aan de bodem, in meer detail aan het oppervlak van ijzer(hydr-)oxide in de bodem. Door de sterke binding is fosfaat heel weinig mobiel. Alleen bij hoge verzadiging van het oppervlak dat fosfaat bindt, neemt de fosfaatconcentratie in de bodemoplossing toe en daarmee het risico dat het uitspoelt naar het oppervlaktewater. Nieuwe inspoeling van fosfaat van buiten de locatie is NIET relevant. Buiten deze deelgebieden is de directe fosfaatbeschikbaarheid laag.

Voorwaarden omgevingsdienst Twente

Omgevingsdienst Twente stelt de volgende voorwaarden aan de toepassing van drinkwaterslib in het kader van natuurherstel als fosfaatbindende maatregel binnen het grondwaterbeschermingsgebied:

1. De toepasser van drinkwaterslib moet kunnen aantonen dat de producent/leverancier over de benodigde certificaten beschikt om drinkwaterslib als bijproduct te mogen leveren voor het beoogde doel;
 - Het waterijzer wordt vermarkt door Aquaminerals. Een certificaat van Aquaminerals betreffende de bijproduct status van waterijzer is toegevoegd.
2. De toepasser van drinkwaterslib moet kunnen onderbouwen wat het nut is van de toepassing en dat er niet meer ijzerwater wordt toegepast dan nodig om het beoogde doel te bereiken;
 - **Nut van de toepassing:** Het doel van het toepassen van het waterijzer is het verlagen van de directe beschikbaarheid van fosfaat in de bodem om zo het risico op uitspoeling naar het oppervlaktewater te voorkomen. De beek waar de percelen op afwateren is een zijloop van de Snoeijinksbeek. Langs de Snoeijinksbeek is N2000 beekbegeleidend bos dat beschermt dient te worden tegen de aanvoer van te veel nutriënten. Deze maatregel beoogt het beschermen van dit beekbegeleidend bos (N2000).
 - **Dosering waterijzer:** zoals hierboven beschreven is de dosering zo zorgvuldig als mogelijk vastgesteld. Zo is bepaald waar toepassing van het waterijzer precies nodig is, en welke dosis het gewenste effect sorteert. Percelen zijn opgedeeld in deelgebieden en per deelgebied is de dosering afgestemd op de fosfaatbeschikbaarheid. Daarbij is ook onderzocht wat het effect is op de beschikbaarheid van metalen. Resultaten zijn in de bijlage gepresenteerd.
3. In het toe te passen drinkwaterslib mogen geen zware metalen, organische microverontreinigingen of bij het productieproces gebruikte hulpstoffen zitten boven de detectielimiet.

- Het toe te passen product (waterijzer uit de drinkwaterwinning in Spannenburg) heeft geen organische verontreinigingen boven de detectielimiet. Van de metalen zijn arseen, cadmium, chroom, kobalt, koper, kwik, lood, molybdeen, nikkel en zink onder de detectielimiet (zie onderstaande tabel uit het analyserapport van het product). Enkele metalen liggen niet onder de detectielimiet. Dit zijn aluminium, barium, calcium, ijzer, magnesium en mangaan.
 - Calcium en magnesium zijn gewenste toevoegingen omdat deze bijdragen aan de basenbezetting van het klei-humuscomplex, wat de zuurbuffering en bodemvruchtbaarheid van de bodem verhoogt.
 - IJzer is uiteraard ook gewenst want daar is het in deze toepassing om te doen. De verhouding tussen fosfor en ijzer moet in het product zo laag mogelijk zijn voor deze toepassing. In dit product is (omgerekend naar moleculen) 300 keer zoveel ijzer als fosfor aanwezig. De verzadiging van het ijzer met fosfor is 3%. Dit is laag en gunstig voor deze toepassing.
 - Wat overblijft is dat aluminium, barium en mangaan boven de detectielimiet aanwezig zijn in het product. Voor aluminium en mangaan zijn geen normen vastgelegd, niet vanuit bodemkwaliteitsbeoordeling, en ook niet vanuit de mestwetgeving. Voor barium is vanuit bodemkwaliteit een normstelling van 190 mg/kg GROND. Bij de maximale dosering van 80 ton product per hectare leidt dit tot een bariumgehalte dat 37 keer onder deze norm ligt.

Anorganische parameters - metalen		
aluminium (Al)	mg/kg ds	160
Q arseen (As)	mg/kg ds	< 4,0
Q barium (Ba)	mg/kg ds	1300
Q cadmium (Cd)	mg/kg ds	< 0,20
calcium (Ca)	mg/kg ds	54000
Q chroom (Cr)	mg/kg ds	< 10
fosfor als P ₂ O ₅	mg/kg ds	29000
Q ijzer (Fe)	mg/kg ds	380000
Q kobalt (Co)	mg/kg ds	< 3,0
Q koper (Cu)	mg/kg ds	< 5,0
Q kwik (Hg) (niet vluchtig)	mg/kg ds	< 0,05
Q lood (Pb)	mg/kg ds	< 10
magnesium (Mg)	mg/kg ds	820
Q mangaan (Mn)	mg/kg ds	2000
Q molybdeen (Mo)	mg/kg ds	< 1,5
Q nikkel (Ni)	mg/kg ds	< 4
Q zink (Zn)	mg/kg ds	< 20

- In de doseringsproef is onderzocht wat het effect is van het toepassen van waterijzer op de beschikbaarheid van verschillende metalen. Voor alle metalen nam de beschikbaarheid af door het toedienen van waterijzer. De resultaten zijn getoond in de bijlage van dit document.
- Geconcludeerd wordt dat met het toepassen van waterijzer in een maximum dosering van 100 ton product per hectare (wat slechts op 1 van de 4 deelgebieden van toepassing is) de normen van geen van de metalen wordt overschreden en de beschikbaarheid van de metalen in de bodem – en daarmee het risico op uitspoeling naar het watersysteem verlaagd wordt.

Reactie en advies omgevingsdienst Twente op de drie vragen

Vraag 1.

Mag ijzer(hydr)oxideslib afkomstig van de drinkwatersector (drinkwaterslib) worden toegepast op landbouwgrond als maatregel ter vermindering van uit- en afspoeling van fosfaat (in en buiten het grondwaterbeschermingsgebied Enschede-Losser)? Zo ja, onder welke voorwaarden?

Reactie. Ja, ijzer(hydr)oxideslib afkomstig van de drinkwatersector (drinkwaterslib) mag worden toegepast op landbouwgrond als maatregel ter vermindering van uit- en afspoeling van fosfaat (in en buiten het grondwaterbeschermingsgebied Enschede-Losser). Het toepassen van het

ijzer(hydr)oxideslib mag niet leiden tot overschrijdingen van de AW2000-waarden voor zware metalen. Op de langere termijn lijkt het (meervoudig) toepassen van ijzerwaterslib geen goede oplossing.

Voorwaarden. De voorwaarden die gesteld worden in uw vraagstelling moeten aangevuld worden met de volgende voorwaarden:

1. Toepassen van het slib mag niet leiden tot verslechtering van de bodem en grondwaterkwaliteit (zorgplicht artikel 13 Wbb en artikel 3.1.1.2 Omgevingsverordening Overijssel 2017).
 - De verwachte dosering van het toe te passen waterijzer zal niet leiden tot een verslechtering van de bodem- en grondwaterkwaliteit. Dit is gebaseerd op:
 - De samenstelling van het product uit de drinkwaterwinning Spannenburg;
 - De gemeten effecten van het toedienen van het product aan de bodem op de beschikbaarheid van fosfaat en metalen (zie bijlage);
 - De lokale hydrologische setting waarin het perceel niet direct afwatert op het grondwater, maar op het oppervlaktewater.
2. Om de toegestane hoeveelheid ijzer(hydr)oxideslib die mag worden toegepast te kunnen bepalen is het noodzakelijk dat de nulsituatie voor grond en grondwater wordt vastgelegd.
 - De nulsituatie voor grond is vastgesteld. In eerste instantie is het perceel als geheel onderzocht. Met het uitwerken van de toepassing van waterijzer zijn deelgebieden binnen de percelen nader onderzocht. Voor deze deelgebieden zijn de algemene bodemkenmerken (organische stof, klei-, silt-, zandgehalte en kleihumuscomplex) bepaald. Daarnaast is de zuurgraad en de zuurbuffering bepaald. Voor alle nutriënten én metalen zijn meerdere fracties bepaald: totaal, uitwisselbare fractie dat aan het kleihumuscomplex is gebonden en de direct beschikbare fractie.
 - De nulsituatie voor grondwater is niet vastgesteld. Voor het betreffende perceel is dit ook niet van toepassing omdat door de aanwezigheid van een niet tot zeer slecht doorlatende keileemlaag en de helling in het perceel, deze niet direct op het grondwater afwatert. Het perceel watert via ondiepe stroombanen of op de aangrenzende beek. Het grondwater is niet bemonsterd omdat daarvoor door de keileemlaag heen geboord moet worden en de meting geen relatie heeft met het daar boven liggende perceel.
3. Na injectie moet de bodemkwaliteit worden bepaald
 - Om de dosering zorgvuldig te doen wordt beoogd om het ijzerwater niet in een keer te doseren. De vastlegging van fosfaat is onomkeerbaar en een overdosering is onwenselijk. Na de eerste dosering – waarin de helft van de totaal dosering wordt toegediend – vindt een bemonstering van de bodem plaats. In deze bemonstering wordt niet alleen de directe beschikbaarheid van fosfaat gemeten maar ook de pH en de concentratie metalen. Na de tweede dosering gebeurt dit nogmaals.
4. Na afloop moet de eindsituatie worden bepaald. Gemonitord moet worden of de natuurlijke pH-waarde zich herstelt en wat voor invloed dat heeft op uitspoeling van zware metalen.
 - Om de ontwikkelingen en het doelbereik goed in de gaten te houden wordt op de deelgebieden waar het ijzerwater is toegepast gemonitord. Dit gebeurt 1 en 2 jaar na toedienen van het ijzerwater. In de bodem worden naast de fosfaattoestand ook de zuurgraad en de metaalgehalten in de bodem gemeten. Aanvullend op het bodemonderzoek wordt het eerste en tweede jaar ook voederwaarde onderzoek uitgevoerd. Hiermee wordt de samenstelling van het gras gemonitord. Naast het fosforgehalte zullen ook metaalgehalten in het gras worden gemeten. Dit wordt gedaan voor de eerste en tweede snede waarbij per perceel twee plukmonsters worden genomen.
5. Tevens moet een fall-back scenario worden opgesteld met maatregelen die genomen kunnen worden indien blijkt dat grond en grondwater verontreinigd raken.

- Het fall-back scenario zal worden opgesteld. Gezien het sterke verband tussen de beschikbaarheid van de metalen en de zuurgraad van de bodem zal de mitigerende maatregel zijn gebaseerd op het geven van een kalkgift om de bodem pH weer te verhogen.
6. Het drinkwaterslib moet met minimale verstoring van de bodemstructuur worden geïnjecteerd. Aanbevolen wordt om een zodenbemester te gebruiken die is uitgerust met zogenaamde 'ganzenvoeten'
- Om het ijzerwater goed door de bodem te kunnen mengen, moet de bodemstructuur van de toplaag van de bodem (bovenste 25 cm) worden verstoord. Er zal zorg worden gedragen dat de bodemstructuur niet wordt beschadigd door niet onder natte omstandigheden te werken. Door het agrarisch gebruikt zijn de betreffende percelen regelmatig geploegd waardoor de toplaag van de bodem is gemengd. Voor de toediening is de aanpak dat het product bovengronds wordt uitgereden om een optimale verspreiding te waarborgen. Daarna wordt het goed door de toplaag goed gemengd. Deze werkwijze heeft de voorkeur boven een ganzenvoet omdat het homogeen door de bodem wordt gemengd en niet in banen op een bepaalde diepte wordt ingebracht.
7. Na injectie van het slib mag het perceel alleen worden gebruikt als grasland.
- Het perceel zal alleen worden gebruikt als grasland.

Vraag 2.

Welke goedkeuring(en) heeft Vitens (van de Omgevingsdienst) nodig om de afvalstof drinkwaterslib (ijzerhydroxideslib) in de markt te mogen zetten als (bij-)product (productnaam: waterijzer)?

Reactie.

Voor ijzer(hydr)oxideslib/waterijzer zijn momenteel noch een Europese verordening, noch een Nederlandse ministeriële regeling van kracht met criteria op basis waarvan een bijproductstatus kan worden bepaald. Dit betekent dat voor iedere toepassing van waterijzer een toetsing zal moeten plaatsvinden op basis van de in artikel 1.1, ~~zesde~~ vierde lid, van de Wm gestelde voorwaarden (zie kader), om te bepalen of wordt voldaan aan de criteria voor bijproduct. Het vierde lid van artikel 1.1 is van toepassing op bijproducten, het zesde lid geeft de voorwaarden voor een 'einde afval' status. Dat laatste is niet van toepassing.

Wat betreft de toepassing van het waterijzer op landbouwgrond blijkt uit het verzoek dat wordt voldaan aan de voorwaarden onder a, b en c (zie kader). Wat betreft de voorwaarden onder d. moet nog nadere informatie aangeleverd worden waaruit blijkt dat het specifieke gebruik niet zal leiden tot over het geheel genomen ongunstige effecten op het milieu of de menselijke gezondheid. Zie ook de voorwaarden die gesteld worden bij onze reactie bij vraag 1. Zie reacties bij vraag 1.

De voorwaarde onder Wm lid 1.1. lid 4d luidt "verder gebruik is rechtmatig, inhoudende dat de stoffen, mengsels of voorwerpen voldoen aan alle voorschriften inzake producten, milieu en gezondheidsbescherming voor het specifieke gebruik en zal niet leiden tot over het geheel genomen ongunstige effecten op het milieu of de menselijke gezondheid".

Voor de beoordeling van de effecten van een toepassing waterijzer op een landbouwbodem kan gebruik gemaakt worden van het beoordelingskader voor meststoffen in de Meststoffenwetgeving. In het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet (UBm) worden maximale waarden gegeven voor zware metalen en arseen die in meststoffen aanwezig mogen zijn. De hier bedoelde toepassing van het waterijzer is vergelijkbaar aan een toepassing als meststof of bodemverbeteraar, met het verschil dat de hier beoogde toepassing eenmalig is, terwijl een toediening met een meststof een jaarlijkse herhaling is. Voor één van de deelgebieden is een maximale dosering van 80 ton waterijzer vastgesteld voor het bedoelde effect op de percelen. De andere deelgebieden hebben een lagere dosering.

Uit de onderstaande tabel is aangegeven dat bij een dosering van 80 ton waterijzer de hoeveelheid zware metalen en arseen onder de maximale toelaatbare dosering blijft. Daarbij moet bedacht worden dat de dosering met ijzerwater eenmalig is, terwijl de toetsing is gebaseerd op een jaarlijkse toediening. Voor de gehalten aan zware metalen en arseen in het product is uitgegaan van de detectielimiet voor deze elementen. Dit is een maximum, de daadwerkelijke waarden in het product zijn (veel) lager.

Voor aluminium, barium en mangaan is in de meststoffenwet geen maximale dosering vastgesteld. De meststoffenwet stelt enkel grenswaarden voor elementen waarvan aannemelijk is dat deze in een overmaat in meststoffen voor zouden kunnen komen en dat dit schadelijke effecten heeft op de bodem en milieu. Aluminium is een hoofdbestanddeel van de bodem waardoor een achtergrondwaarde niet is vastgesteld. Mangaan is een meststof en daarmee niet gemaximeerd. Barium is niet geïdentificeerd als een risicostof in meststoffen.

Element	Dosering			Maximaal toelaatbare dosering UBm	
IJzerwater	Ton per ha		80		
Cd	g per ha	<	1,3	2,5	52%
Cr	g per ha	<	66	150	44%
Cu	g per ha	<	33	150	22%
Hg	g per ha	<	0,33	1,50	22%
Ni	g per ha	<	26	60	44%
Pb	g per ha	<	66	200	33%
Zn	g per ha	<	131	600	22%
As	g per ha	<	26	30	87%

** In de Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet, bijlage II, tabellen 1 en 2 worden maximale waarden gegeven. De waarden zijn uitgedrukt per waardegevende bestanddeel en gekoppeld aan referentiegiften van deze waardegevende bestanddelen. De hier weergegeven maximale gehalten zijn hieruit berekend.*

Op de vraag of Vitens het waterijzer “in de markt” mag zetten als bijproduct is onze reactie dat dit kan wanneer de toepassing bekend is en er voor die specifieke toepassing een positieve beoordeling heeft plaatsgevonden aan de voorwaarden van artikel 1.1, zesde vierde lid, van de Wm (zie kader).

Artikel 1.1, eerste lid van de wet milieubeheer

Een bijproduct is per definitie geen afvalstof. Het begrip afvalstof is gedefinieerd in artikel 1.1, eerste lid van de wet milieubeheer (hierna ‘Wm’). Alle stoffen, preparaten [mengsels] of voorwerpen, waarvan de houder zich ontdoet, voornemens is zich te ontdoen of zich moet ontdoen. Het kernelement “zich ontdoen” is niet nader gedefinieerd in de wet. Wel blijkt uit de rechtspraak van het Hof van Justitie van de Europese Unie dat dit begrip dient te worden uitgelegd door alle omstandigheden van het geval in aanmerking te nemen. Hierbij dient onder meer te worden gelet op de tweeledige milieudoelstelling van het afvalstoffenrecht, zoals verwoord in artikel 1 van Richtlijn 2008/98 betreffende afvalstoffen (hierna “Kaderrichtlijn afvalstoffen” of “Kra”):

- voorkoming en vermindering van afvalproductie en de negatieve gevolgen van afvalproductie;
- beheer; en - beperking van de algehele gevolgen van het gebruik van hulpbronnen en de verbetering van de efficiëntie van dergelijk gebruik.

Voor het kunnen aanmerken van een stof, mengsel of materiaal als bijproduct moet worden voldaan aan hetgeen hierover is vastgelegd. Indien er Europese of nationale bijproductcriteria zijn vastgesteld, moet de bijproductstatus worden beoordeeld op basis van deze bijproductcriteria. Als er geen bijproductcriteria zijn vastgesteld kan de status van een afvalstof worden bepaald op basis van artikel 1.1, zesde vierde lid van de Wm: “Stoffen, mengsels of voorwerpen die het resultaat zijn van een productieproces dat niet in de eerste plaats is bedoeld voor de productie van die stoffen, mengsels

of voorwerpen worden niet als afvalstoffen maar als bijproducten beschouwd indien wordt voldaan aan de volgende voorwaarden:

- a. het is zeker dat de stoffen, mengsels of voorwerpen zullen worden gebruikt;
- a. de stoffen, mengsels of voorwerpen kunnen onmiddellijk worden gebruikt zonder enige verdere behandeling anders dan die welke bij normale productie gangbaar is;
- b. de stoffen, mengsels of voorwerpen worden geproduceerd als een integraal onderdeel van een productieproces;
- c. verder gebruik is rechtmatig, inhoudende dat de stoffen, mengsels of voorwerpen voldoen aan alle voorschriften inzake producten, milieu en gezondheidsbescherming voor het specifieke gebruik en zal niet leiden tot over het geheel genomen ongunstige effecten op het milieu of de menselijke gezondheid."

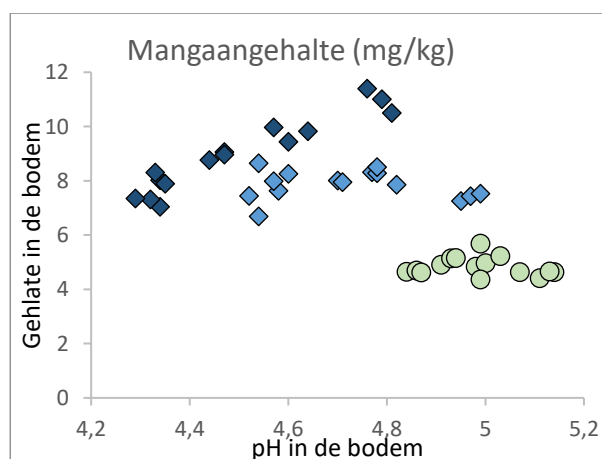
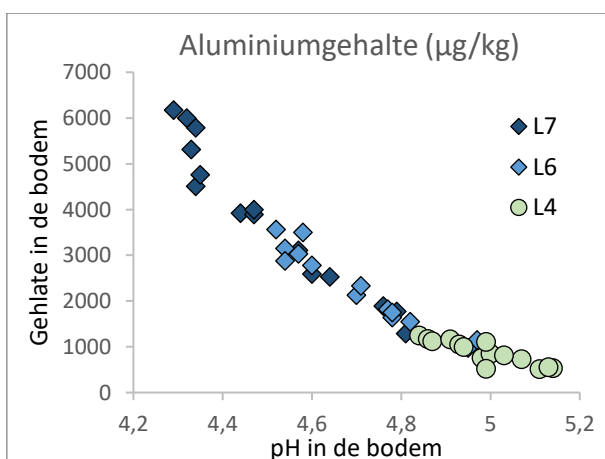
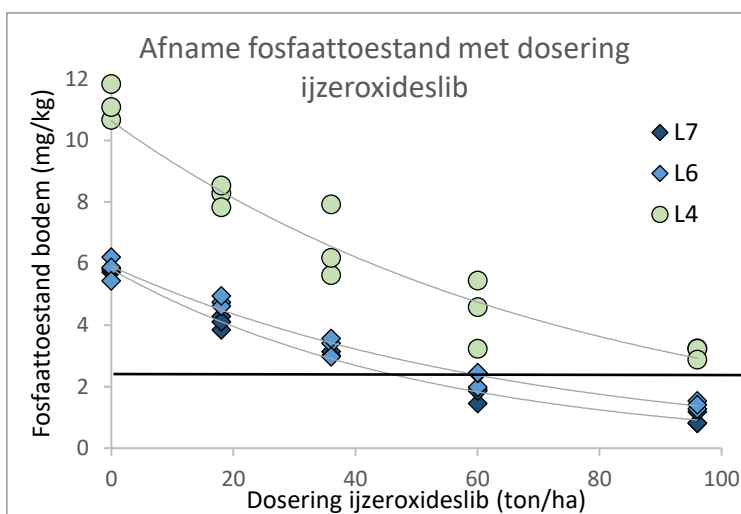
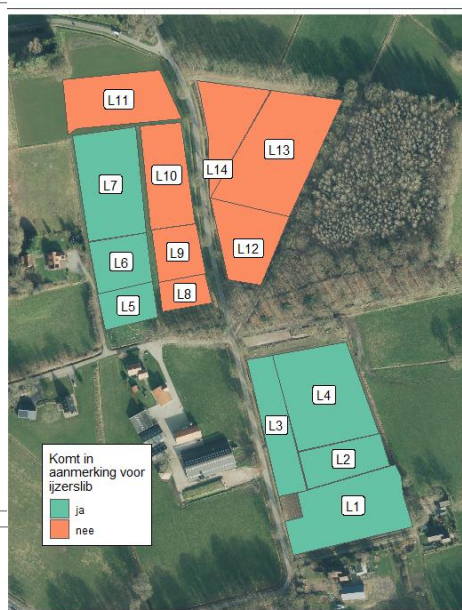
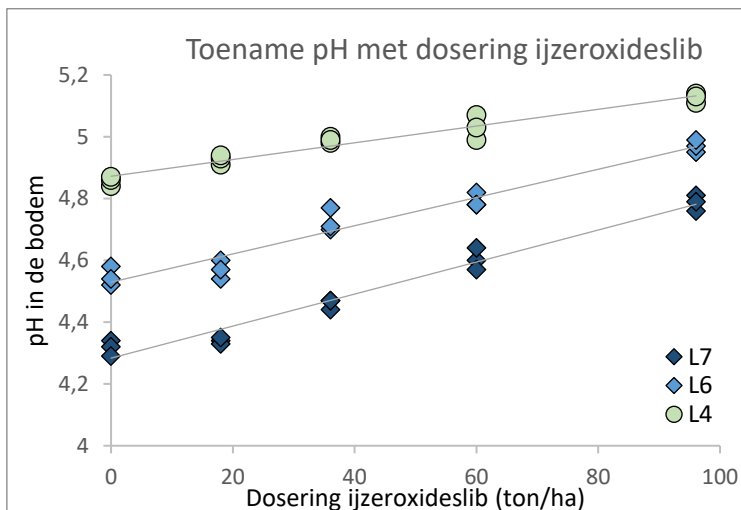
Vraag 3.

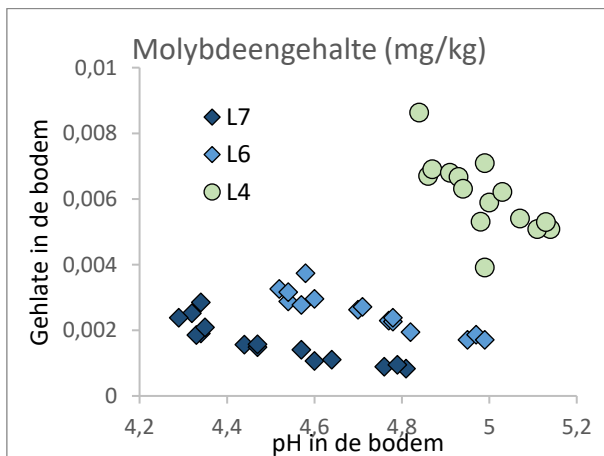
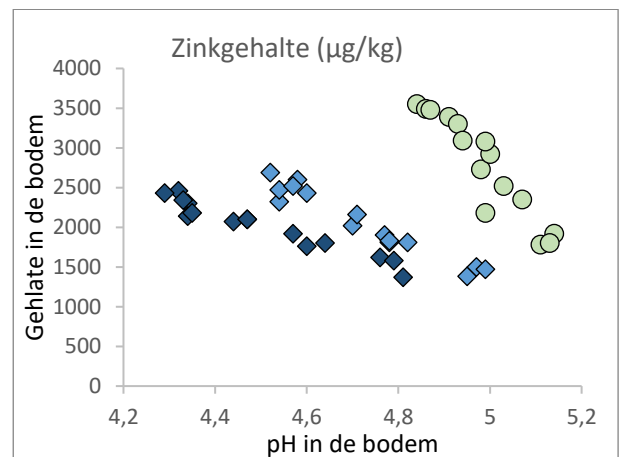
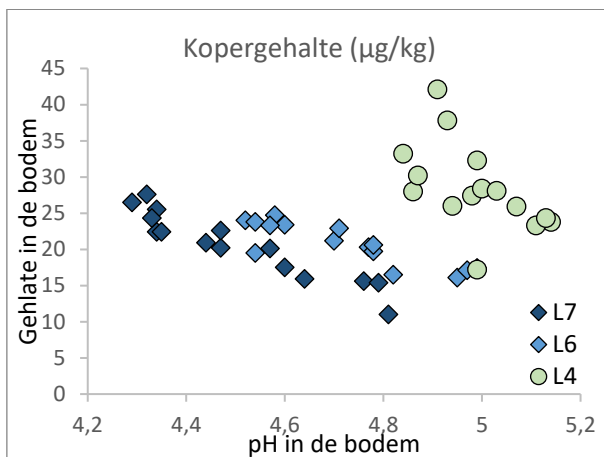
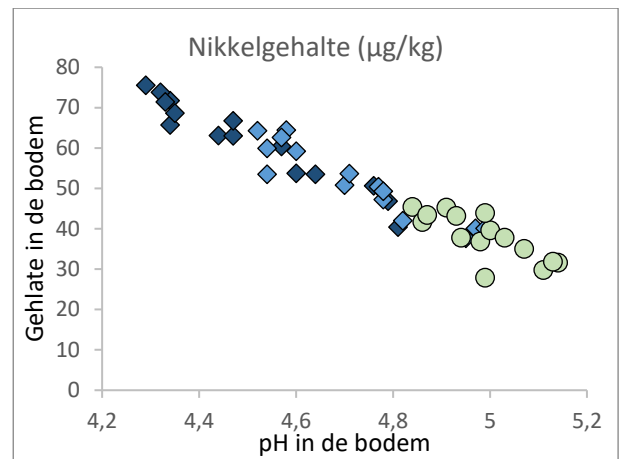
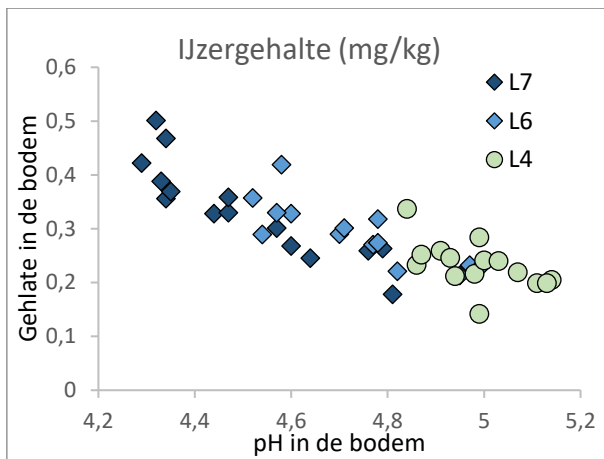
Is een REACH-registratie voldoende om de afvalstof drinkwaterslib (ijzerhydroxideslib) in de markt te mogen zetten (en transporteren) als (bij-)product (productnaam: waterijzer)?

Reactie. De REACH Verordening bepaalt dat producenten en importeurs de chemische stoffen en mengsels die zij importeren, produceren en verkopen in de EU moeten registreren. Is de chemische stof of het mengsel niet geregistreerd, dan mag deze sinds 1 juni 2018 niet meer op de Europese markt worden gebracht. De REACH registratie is een voorwaarde om het product op de markt te mogen brengen. Voor transport is een specifieke verklaring bijproductstatus nodig, die aangeeft welk product vervoerd wordt. Daarnaast moet voor de specifieke toepassing een beoordeling plaatsvinden aan de voorwaarden van artikel 1.1, ~~zesde~~ **vierde** lid, van de Wm. [Zie beoordeling onder vraag 2.](#)

Bijlage

Onderstaande figuren laten de relatie zien tussen het toevoegen van waterijzer aan de bodem en het effect op pH en de beschikbaarheid van fosfaat. Daaronder staan figuren met de relatie tussen beschikbare gehalten van metalen in de bodem in relatie tot pH van de bodem in dezelfde doseringsproef. De doseringsproef is uitgevoerd voor de deelgebieden L1, L3, L5, L6 en L7 (zie onderstaande kaart). Alleen de resultaten van L4, L6 en L7 zijn getoond omdat in de deelgebieden L1 en L5 de directe fosfaat beschikbaarheid al laag is en iet beperkend voor de waterkwaliteit. Op deze deelgebieden zal daarom ook geen waterijzer worden toegepast.







Fosfaattoestand percelen te Losser

Ruimtelijke variatie in de fosfaatbeschikbaarheid en het beperken van fosfor uitspoeling met ijzeroxideslib

D. van Rotterdam

M. van Doorn

D. Thijssen

H. Gelderblom

Referaat

Van Rotterdam, D., van Doorn, M., Thijssen, D., Gelderblom, H., 2024, Fosfaattoestand percelen te Losser. Ruimtelijke variatie in de fosfaatbeschikbaarheid en het beperken van fosfor uitspoeling met ijzeroxideslib, Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1992.N.23, pp 23.

© 2024 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Verspreiding

Mevr. Hissink, provincie Overijssel

digitaal

Inhoudsopgave

Samenvatting en conclusies	2
1 Inleiding	4
1.1 Doelstelling huidig onderzoek	5
2 Theoretisch kader	7
2.1 Het gedrag van fosfaat in de bodem	7
2.2 Het verlagen van de directe P beschikbaarheid middels het toedienen van ijzeroxideslib	8
3 Aanpak	11
3.1 Ruimtelijke variatie	11
3.2 Het verlagen van de directe P beschikbaarheid middels het toedienen van ijzeroxideslib	13
4 Resultaten en discussie	15
4.1 Ruimtelijke variatie	15
4.2 Toedienen van ijzeroxideslib	19
4.2.1 Het verlagen van de directe P beschikbaarheid	19
4.2.2 Beschikbaarheid metalen	21
5 Conclusies	23
Literatuur	24
Bijlage I Productblad waterijzer Aquaminerals	25
Bijlage II Samenstelling waterijzer Aquaminerals	27
Bijlage III Grove incubatieproef	39
Bijlage IV Analyseresultaten bodem	41
Bijlage V IJzeroxideslib en beschikbaarheid metalen	44

Samenvatting en conclusies

De provincie Overijssel heeft de opgave om in het Natura 2000-gebied Landgoederen Oldenzaal onder andere het habitatype vochtig alluviaal bos (beekbegeleidend bos) langs de Snoeyinksbeek te herstellen en te beschermen. Hiervoor moeten de risico's die de ontwikkeling en instandhouding van dit doel in de weg staan zoveel mogelijk worden weggenomen. Van drie percelen van mts. Snippert te Losser (die buiten het N2000-gebied liggen), is in een eerder onderzoek bepaald dat deze een verhoogd risico geven op verliezen van fosfor (P) naar een zijloop van de Snoeyinksbeek (Liesketbeek). De provincie en mts. Snippert zijn een aantal maatregelen overeengekomen die gericht zijn op het verlagen van het risico op fosfaatverliezen van de percelen naar de Liesketbeek. Sluitstuk binnen deze maatregelen is het doel om de directe P beschikbaarheid in de bodem volvelds te verlagen. Uit een voorgaand onderzoek (Van Rotterdam et al., 2023) leek voor twee van de drie percelen (5823 en 6771) het toedienen van ijzeroxideslib een kansrijke maatregel om dit doel snel en kosteneffectief te bereiken. Voor het derde perceel (H6990) is het verschil tussen de actuele en gewenste directe P-beschikbaarheid klein. Het toedienen van ijzeroxideslib is hier niet van toepassing. Mts. Snippert wordt de optie geboden om een aan perceel 5823 grenzend perceel aan te schaffen (voorheen kadastraal perceel 7845). Dit perceel is in 2023 opgedeeld in de kadastrale percelen 10622 en 10624 ten oosten en noorden van perceel 5823.

Het doel van voorliggend onderzoek is:

1. Voor de twee percelen met een verhoogde P-beschikbaarheid (kadastrale percelen 5823, 6771) de ruimtelijke variatie binnen deze percelen in bodemeigenschappen, en met name de fosfaatbeschikbaarheid, in beeld te brengen.
2. Voor deze twee percelen (5823, 6771) de toepassing en dosering van ijzeroxideslib nader te onderbouwen voor de deelgebieden waar dit een kansrijke maatregel is.
3. Voor het perceel waar de directe P-beschikbaarheid slechts beperkt is verhoogd (6990) een advies op te stellen om de slechte bodemstructuur en slechte hydrologische omstandigheden te verbeteren.
4. De fosfaattoestand van het nieuw aan te kopen perceel (10622 en 10624) te onderzoeken.

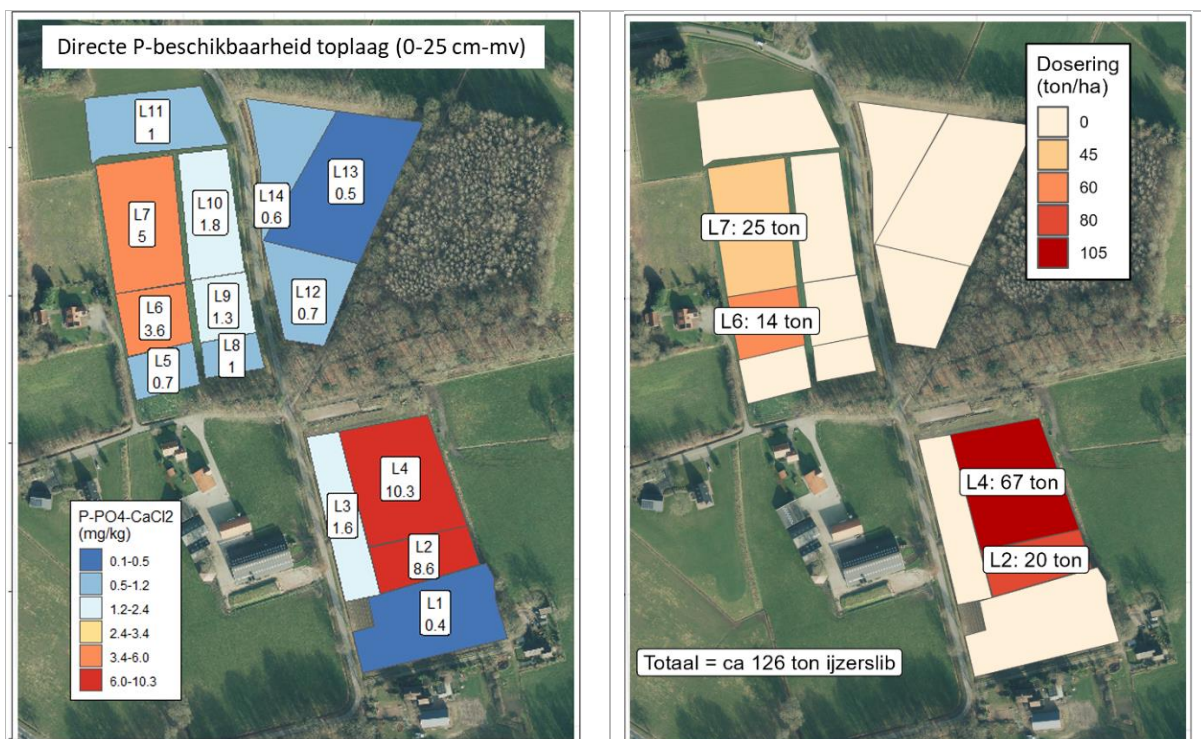
Om de ruimtelijke variatie in bodemeigenschappen in beeld te brengen zijn de te onderzoeken percelen in 14 deelgebieden onderverdeeld en is per deelgebied de bodem op twee dieptes (0-25cm en 25cm tot de onderzijde van de A-horizont/begin van de keileemlaag) bemonsterd. De grondmonsters zijn onder andere geanalyseerd op meerdere fosfaatfracties (P_{CaCl2} , P_{AL} , P_{OX} , FVG), parameters die belangrijk zijn voor fosfaatbinding (Fe_{OX} , Al_{OX}), het organische stofgehalte, pH en textuur. Om de dosering van ijzeroxideslib te bepalen zijn incubatieproeven uitgevoerd met grond van vijf deelgebieden (0-25cm bodemlaag) en ijzeroxideslib van de Aquaminals-locatie Sint Jansklooster. Bij de incubatieproef is de grond van elk deelgebied met vijf verschillende doseringen ijzeroxideslib geïncubeerd (in triplo). Hierna is naast het effect op de directe P-beschikbaarheid (P_{CaCl2}) ook het effect op zuurgraad (pH_{CaCl2}) en beschikbaarheid van metalen bepaald.

Het onderzoek heeft tot de volgende inzichten geleid:

- De directe P-beschikbaarheid (P_{CaCl2}) van de bodem varieert sterk tussen en binnen percelen:
 - Op de twee percelen 5823 en 6771 was in eerder onderzoek de fosfaatbeschikbaarheid hoog en leek het toedienen van ijzeroxideslib kansrijk. Dit nader onderzoek toont aan dat de directe P-beschikbaarheid sterk varieert binnen deze percelen. Op enkele delen (deelgebieden L2 en L4 op perceel 6771 en L6 en L7 op perceel 5823) is de directe P-beschikbaarheid hoog (P_{CaCl2} van 3.9-9.6 mg kg⁻¹ in de bovenste 25cm van de bodem) en is de toepassing van ijzeroxideslib kansrijk om de directe P-beschikbaarheid te verlagen. Op andere delen (deelgebied L5 perceel 5823 en deelgebieden L1 en L3 perceel 6771) is echter de directe P-beschikbaarheid dusdanig

laag (P_{CaCl_2} 0.9-1.5 mg kg⁻¹ in de bovenste 25cm van de bodem) dat het risico op fosforverliezen laag is en het toedienen van ijzeroxideslib niet nodig is.

- Op de percelen 10624 en 6990 is de directe P-beschikbaarheid laag tot neutraal (P_{CaCl_2} 0.5-2.0 mg kg⁻¹ in de bovenste 25cm van de bodem) en is de toepassing van ijzeroxideslib niet nodig.
- De incubatieproeven laten een duidelijke afname zien in de directe P-beschikbaarheid na het toedienen van ijzeroxideslib, waarbij het effect van de toediening deelgebied-specifiek is door verschillen in de initiële P-beschikbaarheid en maximale P-bindingscapaciteit van de bodem.
- Voorgesteld wordt de directe P-beschikbaarheid in twee stappen tot het gewenste niveau te verlagen. Als eerste dosering wordt een ijzeroxideslib toediening van 20 ton (80 ton ha⁻¹) op deellocatie L2, 67 ton (105 ton ha⁻¹) op deellocatie L4, 14 ton (60 ton ha⁻¹) op deellocatie L6 en 25 ton (45 ton ha⁻¹) op deellocatie L7 geadviseerd. In totaal is daarmee circa 126 ton ijzeroxideslib nodig. De doseringen zijn gebaseerd op het verlagen van de directe P-beschikbaarheid naar een P_{CaCl_2} tussendoel van 2.4 mg kg⁻¹. Na monsternamen van de bodem zal de hoogte van de tweede gift worden bepaald, die als doel heeft om de directe P-beschikbaarheid tot het einddoel van circa 1.2 mg kg⁻¹ (P_{CaCl_2}) te verlagen.
- De doseringsproeven tonen aan dat de beschikbaarheid van zware metalen in de bodem afneemt met het toedienen van ijzeroxideslib als gevolg van de lichte stijging in de pH van de bodem.



Figuur 1 Directe P-beschikbaarheid in de onderzochte percelen en deelgebieden (links) en de aanbevolen eerste dosering ijzeroxideslib om de directe P beschikbaarheid (P_{CaCl_2}) te verlagen (rechts). Doseringen zijn zowel in ton/ha (kleuren) en in totaal aantal ton (label, omgerekend op basis van het oppervlak van de deelgebieden) weergegeven.

- Voor het driehoekige perceel (kadastraal perceel 6990), is, in tegenstelling tot eerder onderzoek, de directe P-beschikbaarheid lager dan de streefwaarde ($P_{CaCl_2} < 1.2$ mg kg⁻¹) die nodig is om het risico van P-uitspoeling maximaal te beperken. Geadviseerd wordt om de bodemstructuur op dit perceel te verbeteren. Advies is om voor inzaai van het gras in het voorjaar van 2024 een compostgift van 50 ton ha⁻¹ toe te passen en goed te mengen door de bouwvoor.
- Het perceel dat mogelijk kan worden overgenomen door mts. Snippert (kadastrale percelen 10622 en 10624) heeft een vrij hoge beschikbare bodemvoorraad, maar de directe P-beschikbaarheid is laag. Er worden geen aanvullende maatregelen geadviseerd om de directe P-beschikbaarheid te verlagen, het voorkomen van erosie van bodemdeeltjes naar de aangrenzende beek is voldoende.

1 Inleiding

De provincie Overijssel heeft de opgave om in het Natura 2000-gebied Landgoederen Oldenzaal onder andere het habitatype vochtig alluviaal bos (beekbegeleidend bos) langs de Snoeyinksbeek te beschermen. Hiervoor moeten de risico's die de ontwikkeling en instandhouding van dit doel in de weg staan worden verwijderd. Van drie percelen van mts. Snippert te Losser, die buiten het N2000-gebied liggen, is bepaald dat deze een verhoogd risico geven op verliezen van fosfor (P) naar de Liesketbeek. Dit is een zijloop van de Snoeyinksbeek waar het N2000 habitatype vochtig alluviaal bos langs ligt. Achtergronden, doelen en de uitwerking van maatregelen staan beschreven in het Inrichtingsplan Landgoederen Oldenzaal 5 december 2023 (Provincie Overijssel, 2023), Stroomgebiedsrapportage Snoeyinksbeek bovenloop 8 november 2018 (Provincie Overijssel, 2018), Natura 2000 beheerplan Landgoederen Oldenzaal 2016 (Provincie Overijssel, 2016).

De provincie Overijssel en mts. Snippert zijn het eens over de beoogde maatregelen voor de drie percelen die een verhoogd risico vormen voor fosfor verliezen naar de Liesketbeek:

- Maïspelden omzetten naar permanent grasland, inclusief scheurverbod;
- Geen drainage;
- Bemestingsvrije zone tot 10 meter breed langs beek met de aanleg van een randdam. Op de bemestingsvrije zone dient wel jaarlijks gemaaid en afgevoerd te worden.

Voor de drie percelen is met name het risico op oppervlakkige afspoeling en ondiepe uitspoeling van fosfor naar het oppervlaktewater van belang. De percelen hebben een fosfaattoestand die landbouwkundig wordt geclassificeerd als ruim tot hoog. Ze liggen op een helling richting de beek en hebben ondiepe keileem waardoor water met opgelost fosfaat snel oppervlakkig kan afspoelen en ondiep kan uitspoelen naar de aangrenzende beek. Voor deze percelen zijn bemestingsvrije bufferstroken en een randdam in combinatie met maaien en afvoeren van de vegetatie en het omzetten naar permanent grasland de meest effectieve maatregelen om de nutriëntenbelasting van de Liesketbeek te beperken. Deze maatregelen grijpen effectief in op het beperken van afspoeling, uitspoeling en erosie van bodemdeeltjes. Het omzetten van maïs naar permanent grasland verlaagt het risico op een verhoogde P-emissie uit de percelen omdat permanente graspercelen niet worden gescheurd, jaarrond groen zijn en een hogere P-onttrekking hebben dan maïs. Dit zorgt voor een betere sponswerking en water- en nutriëntenhuishouding in de bodem. Aanvullend mogen deze percelen niet zijn gedraineerd om versnelde afvoer van water en nutriënten te voorkomen.

Aanvullend op deze maatregelen heeft het Nutriënten Management Instituut (NMI) in opdracht van Provincie Overijssel een advies gegeven over het verlagen van de fosfaattoestand van de bodem en meer specifiek de directe fosfaatbeschikbaarheid in de bodem (Van Rotterdam en Postma, 2023). Voor twee van de drie percelen is het toedienen van ijzeroxideslib aan de bodem als geschikte oplossingsrichting benoemd. Dit betreft de kadastrale percelen 5823 en 6771 (Figuur 1.1). Door de grote fosfaatbindingscapaciteit van dit product wordt het gemakkelijk beschikbaar fosfaat in de bodem snel en effectief verlaagd.

Voor het derde perceel (kadastraal perceel 6990 in Figuur 1.1) is het verschil tussen de actuele en gewenste directe P-beschikbaarheid klein. Het toedienen van ijzeroxideslib is hier niet van toepassing.

Het gewenste resultaat kan naar verwachting snel worden gerealiseerd door het handhaven van een netto negatieve P-balans. Niet alleen minerale meststoffen, maar juist ook het toedienen van organische stofrijke meststoffen / bodemverbetersaars is op dit perceel wenselijk vanuit het oogpunt van bodemkwaliteit. Het verbeteren van de slechte bodemstructuur en slechte hydrologische omstandigheden werkt positief door op de gewasgroei – en daarmee op de P-onttrekking – en op de nutriëntenbenutting.

Mts. Snippert wordt de optie geboden om een aan perceel 5823 grenzend perceel aan te schaffen (kadastrale percelen 10622 en 10624 in Figuur 1.1). Voor deze percelen is nog geen bodemonderzoek uitgevoerd. Onderzoek is nodig om het risico op fosforverliezen te bepalen en welke daarbij horende mitigerende maatregelen nodig zijn, mits de mts. daaraan medewerking wil verlenen.



Figuur 1.1 Ligging van de percelen van mts. Snippert (drie oranje gekleurde percelen) ten noorden van Losser en percelen die in de bemestingsmaatregelenwijzer zijn geïdentificeerd als percelen met een verhoogd risico op P-emissies naar het oppervlaktewater. Aan te kopen percelen (perceelnummers 10622 en 10624) zijn groen gemarkeerd. De kadastrale perceelgrenzen zijn wit omlinnend.

1.1 Doelstelling huidig onderzoek

Het doel van voorliggend onderzoek is:

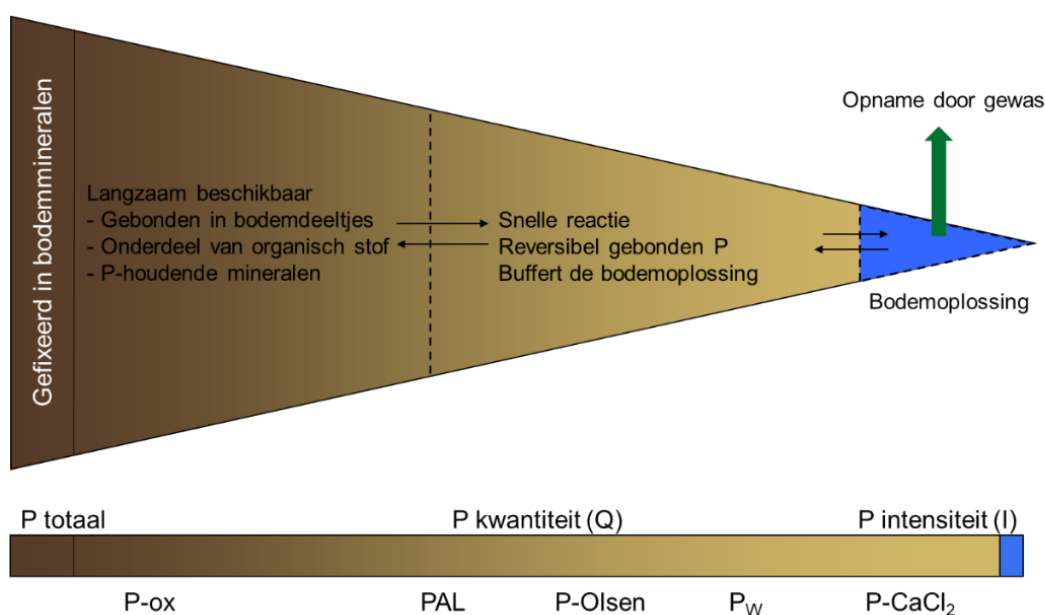
1. Voor de twee percelen met een verhoogde P-beschikbaarheid (5823, 6771) de ruimtelijke variatie binnen deze percelen in bodemeigenschappen, en met name de fosfaatbeschikbaarheid, in beeld brengen.
2. Voor de twee percelen met een verhoogde P-beschikbaarheid (5823, 6771) de toepassing en dosering van ijzeroxideslib nader onderbouwen voor de deelgebieden waar dit een kansrijke maatregel is om de directe P beschikbaarheid tot een gewenst niveau te verlagen.
3. Voor het perceel waar de directe P-beschikbaarheid slechts beperkt is verhoogd (6990) een advies opstellen om de slechte bodemstructuur en slechte hydrologische omstandigheden te verbeteren.
4. De fosfaattoestand van het nieuw aan te kopen perceel (kadastrale percelen 10622 en 10624) onderzoeken.

2 Theoretisch kader

2.1 Het gedrag van fosfaat in de bodem

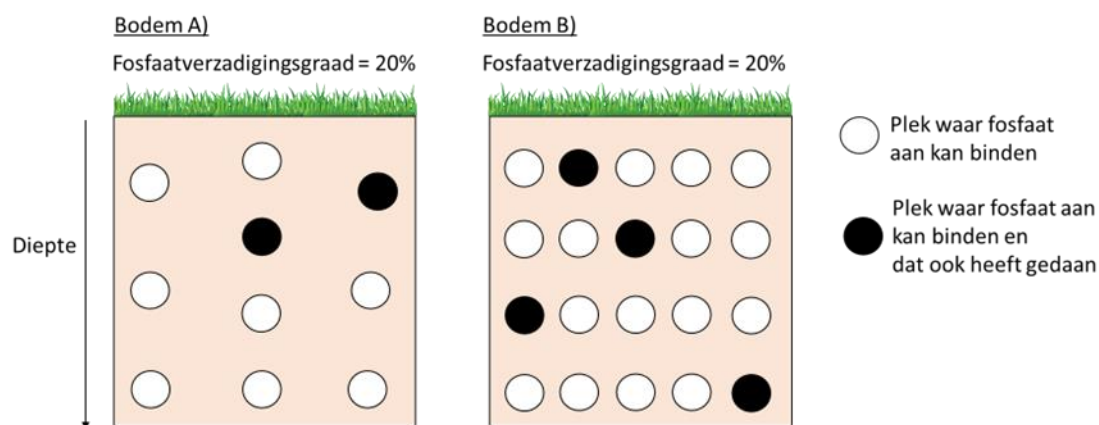
Fosfaat zit in meerdere vormen in de bodem, waarbij onderscheid gemaakt kan worden in hoe sterk het gebonden is aan bodemdeeltjes. Om grip te krijgen op de verschillende vormen van fosfaat wordt onderscheid gemaakt tussen drie groepen:

- Direct beschikbaar fosfaat (rechterkant van de driehoek in Figuur 2.1). Dit betreft fosfaat wat in de bodemoplossing aanwezig is en daarom direct door een plant kan worden opgenomen. Deze vorm van fosfaat wordt gemeten met een calcium chloride extractie (P_{CaCl_2}) en wordt ook wel P-intensiteit genoemd.
- Reversibel gebonden fosfaat (midden van de driehoek in Figuur 2.1). Deze vorm van P is matig sterk gebonden aan het oppervlak van bodemdeeltjes en kan ook snel weer in een beschikbare vorm vrijkomen (desorberen). Dit is relevant voor het aanvullen van het direct beschikbaar fosfaat (P_{CaCl_2}) wanneer dit door een plant wordt onttrokken. Deze vorm van P wordt gemeten met een ammoniumlactaat-azijnzuur extractie (P_{AL}) en wordt ook wel P-kwantiteit genoemd. Verschillende methodes kunnen worden gebruikt om de P-kwantiteit te meten, elk met zijn eigen (analytische) voor- en nadelen.
- Sterk gebonden fosfaat dat slechts langzaam beschikbaar kan komen (linkerkant van de driehoek in Figuur 2.1). Deze vorm van fosfaat maakt deel uit van bodemdeeltjes of is daar sterk aan gebonden. Deze vorm van fosfaat wordt gemeten met een oxalaat extractie (P_{ox}) en is een indicator voor de totale beschikbare P reserves. Deze vorm van fosfaat is in chemisch evenwicht met direct beschikbaar P (P intensiteit) en reversibel gebonden P (P kwantiteit).



Figuur 2.1 Schematische weergave van fosfaat in de bodem en de veel gebruikte meetmethodes om de beschikbaarheid te duiden.

De verhouding tussen de totale beschikbare P-reserves (P_{OX}), reversibel gebonden fosfaat (P_{AL}) en direct beschikbaar fosfaat (P_{CaCl_2}) is sterk afhankelijk van (i) de totale beschikbare P reserves in de bodem (P_{OX}), en (ii) het maximaal vermogen van een bodem om P te binden. In Nederlandse bodems wordt de maximale P bindingscapaciteit bepaald door de hoeveelheid amorf ijzer- en aluminium(hydr)oxiden in de bodem. Bij hoge gehalten aan ijzer en aluminium (hoge bindingscapaciteit) kan de totale voorraad van P in de bodem erg hoog zijn terwijl de directe P beschikbaarheid voor de plant laag is (P is sterk gebonden). Bij lage gehalten aan ijzer en aluminium (lage bindingscapaciteit) kan de bodem nauwelijks P binden. Hierdoor kan een kleine totale hoeveelheid P in de bodem al leiden tot een hoge directe P beschikbaarheid. Dit is in Figuur 2.2 gevisualiseerd voor twee bodems waarvan de maximale fosfaat-bindingscapaciteit hoger is in bodem B dan in bodem A. De witte bolletjes zijn de lege bindingsplaatsen waar fosfaat nog aan kan binden en de zwarte bolletjes zijn de bindingsplaatsen waar P wel aan is gebonden. In bodems wordt de directe P beschikbaarheid (P aanwezig in bodemoplossing) bepaald door de mate waarin de bindingscapaciteit is opgeladen met fosfaat (fosfaatverzadigingsgraad). In het voorbeeld in Figuur 2.2 is de directe fosfaatbeschikbaarheid gelijk (fosfaatverzadigingsgraad van 20%), maar door de twee keer zo hoge bindingscapaciteit in bodem B (door hogere gehalten aan ijzer en aluminium) dan in bodem A zijn de fosfaateserves ook twee keer zo hoog in bodem B dan in bodem A. Het toedienen van ijzeroxideslib is hierdoor effectiever op bodem A dan op bodem B; minder ijzeroxideslib hoeft te worden toegediend om de fosfaatbindingscapaciteit procentueel te verhogen en hierdoor de fosfaatverzadiging en de directe P beschikbaarheid te doen dalen. Voor extra informatie wordt verwezen naar studies over het gedrag van fosfaat in de bodem (van Doorn et al., 2023; van Rotterdam et al., 2012).



Figuur 2.2 Illustratie van twee bodems met een gelijke fosfaatverzadigingsgraad (en directe P beschikbaarheid), maar met een verschillende maximale fosfaat bindingscapaciteit

2.2 Het verlagen van de directe P beschikbaarheid middels het toedienen van ijzeroxideslib

De directe P-beschikbaarheid kan worden verlaagd middels het inbrengen van ijzeroxideslib. Het toedienen van het ijzeroxideslib heeft het doel om de maximale P-bindingscapaciteit te verhogen, en hiermee de verzadiging van de maximale P-bindingscapaciteit met P (fosfaatverzadigingsgraad) te verlagen. Als gevolg daalt ook de directe P beschikbaarheid.

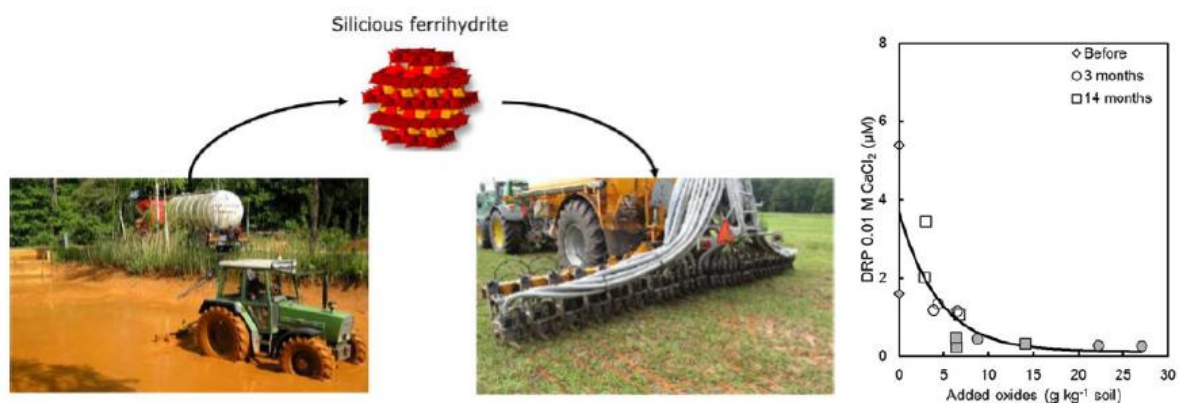
Naast verschillende lab-experimenten is ook in de praktijk geëxperimenteerd met het toedienen van ijzeroxideslib aan een zandgrond (Figuur 2.3, Koopmans et al., 2020). Het gebruikte product is een industrieel bijproduct van de productie van drinkwater in een waterzuiveringsinstallatie van Brabant Water B.V.. Het ijzeroxideslib werd toen oppervlakkig in de bodem geïnjecteerd met behulp van een sleepvoetsysteem (Figuur 2.3). Vervolgens werd het met een cultivator door de bovenste 20 cm van de bodem gemengd.

Door de ultra-kleine deeltjesgrootte van het ijzeroxide nam de P-bindingscapaciteit sterk toe in de bodem. Het toevoegen van 10 g Fe leidde tot een afname van de directe P-beschikbaarheid met 1 mg P kg⁻¹ (berekend op basis van Figuur 2.3). De directe P beschikbaarheid is 3 maanden en 14 maanden na de toediening gemeten; na ruim een jaar was de directe P beschikbaarheid vergelijkbaar met de (verlaagde) directe P beschikbaarheid na 3 maanden. Het eenmalig toedienen van ijzeroxideslib is daarmee een maatregel om voor de lange termijn de P-beschikbaarheid te verlagen.

Om te voorkomen dat de fosfaattoestand direct te veel zou dalen zou een eerste basisgift kunnen worden aangehouden om daarna te controleren wat er in de praktijk gebeurt (andere grond en ander product dan gebruikt in Brabant). Mogelijk is een kleine extra gift nodig. Door het in stappen toe te voegen en tussendoor te meten kan worden nagegaan hoe de bodem reageert en kan worden voorkomen dat de fosfaattoestand te veel daalt.

Het is niet de bedoeling dat de fosfaattoestand van de bodem daalt tot een niveau waarin deze landbouwkundig wordt geclassificeerd als 'Laag' omdat de grond in agrarisch gebruik blijft. De fosfaattoestand is een belangrijk onderdeel van de bodemvruchtbaarheid en van belang voor de benutting van nutriënten in organische meststoffen. Bemestingsadviezen en wettelijke gebruiksnormen sturen op het bereiken en handhaven van een neutrale fosfaattoestand. Als de fosfaattoestand te laag wordt mag deze via bemesting weer extra worden aangevuld. Een neutrale fosfaattoestand wordt gehandhaafd bij regulier agrarisch beheer en bemesting volgens de norm; bemesting is dan gelijk aan onttrekking.

Het slib is een natuurlijk product dat vrijkomt als restproduct tijdens ontijzing van anaeroob grondwater voor de productie van drinkwater; het is gevormd uit hetzelfde ijzer dat als kwelwater aan het oppervlak komt. In Nederland wordt circa 60% van het drinkwater geproduceerd uit grondwater; hierbij ontstaat een forse, doorlopende reststroom van ijzerslib (Koopmans et al., 2020). Aquamineral en Vitens zijn bedrijven die in Nederland restproducten van de drinkwatervoorziening verwaarden en vermarkten. Het ijzeroxideslib is door heel Nederland verkrijgbaar in verschillende kwaliteiten.



Figuur 2.3 Foto's van het experiment met het toedienen van ijzeroxideslib aan een zandgrond (midden) en het effect op de directe P-beschikbaarheid als functie van de hoeveelheid ijzeroxideslib dat is toegepast (rechts). De meest linkse foto is het bassin waar het ijzeroxideslib uit wordt gepompt in de vrachtwagen. In de rechter foto (in het midden) wordt het toegediend op een grasperceel.

Chardon et al. (2014) beschrijven een aantal andere praktische aspecten van het ijzerslib in relatie tot de bodemkwaliteit. IJzerslib is een schoon restproduct: het bevat slechts kleine hoeveelheden zware metalen zoals arseen, cadmium, koper, nikkel, lood en zink. De gehalten daarvan liggen rond de achtergrondgehalten in de bovenste 10 centimeter van de Nederlandse bodem en door de grote bindingscapaciteit van de ijzeroxiden in het slib komen deze metalen nauwelijks vrij (Koopmans et al., 2020). Andere bodemkwaliteitsparameters zoals organische stof zullen naar verwachting niet meetbaar en merkbaar worden beïnvloed. De bodemstructuur verandert ook niet merkbaar na het toedienen van

ijzerslib (persoonlijk contact Dr. Koopmans). Doordat het slib licht basisch ($\text{pH}=7.6$) is zorgt het toedienen van de benodigde hoeveelheden voor een lichte pH-stijging van de bodem (op twee gronden van resp. 5.6 naar 6.9 en van 4.5 naar 6.8 (Chardon et al., 2014). De licht basische omstandigheden worden waarschijnlijk veroorzaakt door het hoge kalkgehalte in het voor deze proef gebruikte ijzerslib (20%), afkomstig van marmerkorrels in het filterbed (Koopmans et al., 2020). Als gevolg van deze stijging van de pH nam de mineralisatie van organische stof in de bodem toe. Daarbij was het stikstofleverend vermogen (NLV) van de bodem tijdelijk hoger dan verwacht op basis van de bodemanalyseresultaten. Hier zou in de mestgift voor gecorrigeerd kunnen worden.

3 Aanpak

3.1 Ruimtelijke variatie

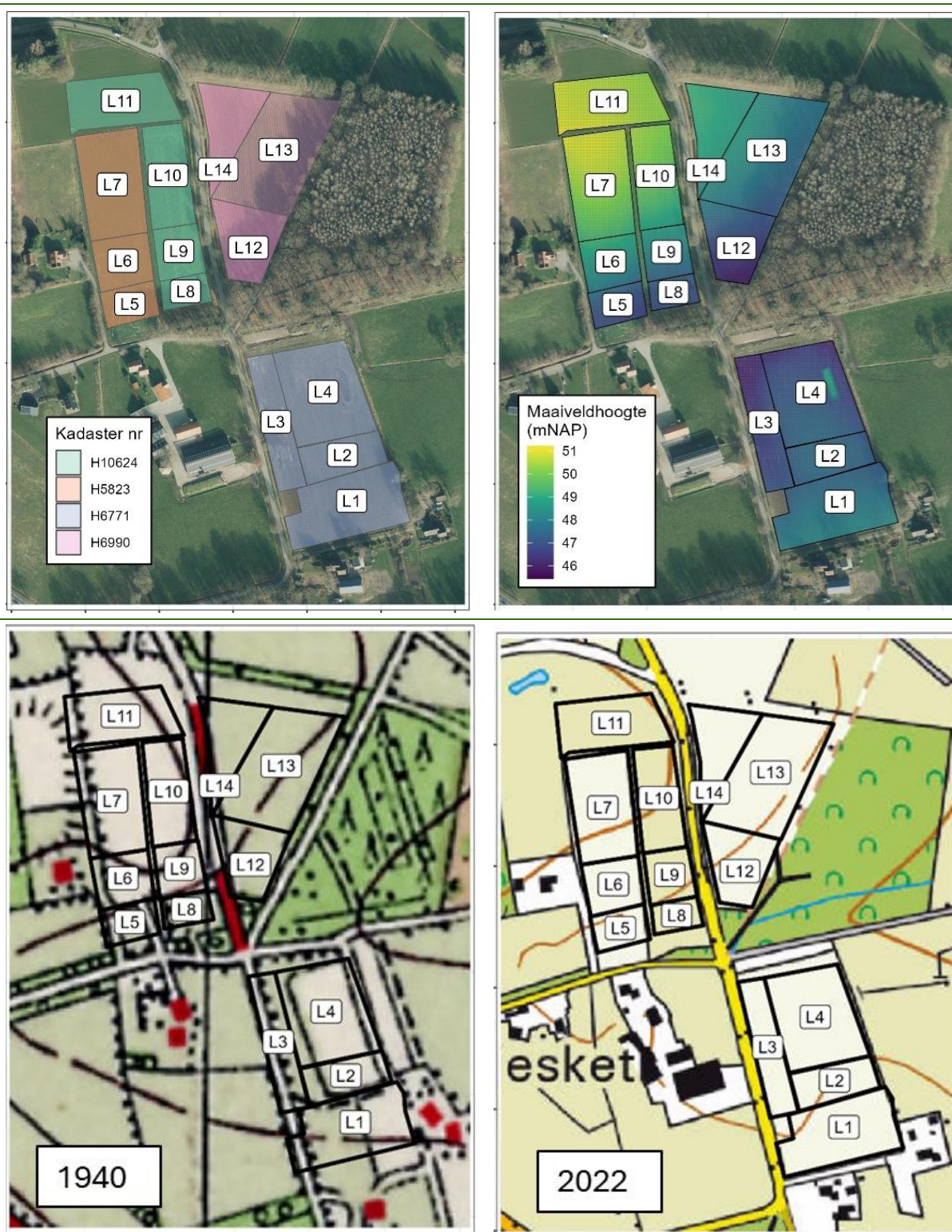
Indeling van de percelen in deelgebieden & monsternamen bodem

Bodemeigenschappen, waaronder de fosfaattoestand, variëren (vaak sterk) in de ruimte door de ontstaansgeschiedenis, de werking van wind en water, de morfologie (bijv. hoogteligging) en (historische) verschillen in management. Deze ruimtelijke variatie in bodemeigenschappen heeft invloed op het risico van fosfaatverliezen naar het watersysteem en de effectiviteit van maatregelen (b.v. het toedienen van ijzeroxideslib) om het risico van fosfaatverliezen te verlagen. Het verlagen van de directe P-beschikbaarheid middels het toedienen van ijzeroxideslib is met name kansrijk op locaties waar de directe P-beschikbaarheid hoog is, en de maximale P-bindingscapaciteit laag. Het toedienen van ijzerslib op locaties waar de directe P-beschikbaarheid al laag is leidt niet tot een significant lager risico van P verliezen naar het watersysteem, terwijl het wel kan leiden tot een sterke afname in gewasopbrengst -en kwaliteit.

Voor de praktische uitwerking van alle maatregelen wordt de ruimtelijke variatie in de betreffende percelen bepaald. Voor de percelen 5823 en 6771 wordt de ruimtelijke variatie in beeld gebracht om de dosering van het ijzeroxideslib aan te passen. Voor de percelen 6990 en het nieuw aan te kopen perceel (kadastrale percelen 10622 en 10624) worden ook deelgebieden bemonsterd om maatwerk in de maatregelen mogelijk te maken.

De ruimtelijke variatie in bodemeigenschappen is in kaart gebracht door de percelen in te delen in deelgebieden en in elk deelgebied de bodem te bemonsteren. Hiervoor zijn de percelen in 14 deelgebieden ingedeeld (Figuur 3.1). Deze indeling is voornamelijk gebaseerd op verschillen in maaiveldhoogte (Figuur 3.1) en (historische) verschillen in management (topografische kaarten van 1940 en 2022 zijn weergegeven in Figuur 3.1). In de topografische kaarten valt met name op dat op het perceel grenzend aan de stal (6771, zuidoostelijk gelegen perceel) het oostelijk deel langer in agrarisch gebruik lijkt te zijn dan het westelijk deel (topografische kaart van 1940, Figuur 3.1).

Het veldwerk is op 9 oktober 2023 uitgevoerd. Hierbij is de bodem van elk deelgebied op twee dieptes bemonsterd. Als uitgangspunt zijn de bovenste 25cm en de bodemlaag hieronder (25-50/leemlaag) bemonsterd. Deze bodemlagen zijn bemonsterd omdat het ijzeroxideslib door de bovenste 20-25cm van de bodem zou kunnen worden gemengd tijdens toediening en menging met een frees. Door deze bodemlagen te bemonsteren kan (i) de uitgangssituatie worden bepaald; en (ii) de verandering van de P-beschikbaarheid en bindingscapaciteit in het bodemprofiel goed worden gevolgd bij verdere monitoring. Om tot representatieve bodemonsters te komen zijn de bodemlagen bemonsterd door mengmonsters te nemen die bestaan uit meerdere steken met een guts.



Figuur 3.1 Indeling van de percelen in deelgebieden voor monsternamen van de bodem. Linksboven: kadastrale nummers van de percelen. Rechtsboven: maaiveldhoogtekaart. Linksonder: topografische kaart van 1940 (www.topotijdreis.nl). Rechtsonder: topografische kaart van 2022. De zwarte lijnen geven de grenzen aan van de deelgebieden. Het label geeft de naam aan van de deelgebieden.

Analyses bodem

In de grondmonsters zijn de algemene bodemkenmerken organische stofgehalte, textuur (zand-, silt-, kleifraction), klei-humuscomplex (CEC) en de stikstofrijksdom van organische stof (C/N-verhouding) bepaald. Daarnaast zijn analyses uitgevoerd om inzicht te krijgen in de directe beschikbaarheid en

beschikbare reserves van de nutriënten stikstof, fosfaat, kalium, zwavel, calcium en magnesium. Ook zijn de zuurgraad, de buffering door kalk en de basensamenstelling van het klei-humuscomplex gemeten.

Voor fosfaat zijn de volgende fosfaatfracties bepaald:

- Een maat voor de directe fosfaatbeschikbaarheid, ofwel P_{CaCl_2} (P geëxtraheerd met 0.01 M $CaCl_2$);
- Een maat voor de potentieel snel beschikbare P-reserves, ofwel P_{AL} (P geëxtraheerd met ammoniumlactaat azijnzuur met pH 3.75);
- Een maat voor totaal beschikbaar P ofwel P-oxalaat (P geëxtraheerd met ammoniumoxalaat-oxaalzuurextract);
- Een maat voor P-totaal (P_{totaal} met XRF); en
- Een maat voor de totale P-bindingscapaciteit (PSC) in de vorm van ijzer en aluminium (hydr)oxiden ($Fe_{ox} + Al_{ox}$; Fe en Al geëxtraheerd met ammoniumoxalaat-oxaalzuurextract);
- De fosfaatverzadigingsgraad (FVG). De FVG is het percentage van de totale P-bindingscapaciteit dat ook daadwerkelijk is bezet met fosfaat. De FVG wordt berekend op basis van de procentuele verhouding tussen P_{ox} en $\frac{1}{2}$ keer de som van $Fe_{ox} + Al_{ox}$.

Voor de relatie tussen deze verschillende fracties en de fosfaaddynamiek in de bodem wordt verwezen naar het kader over fosfaat in de bodem (Sectie 2.1). De gemeten fosfaatfracties leveren de elementen aan waarmee de beschikbaarheid van fosfaat in de bodem op korte en langere termijn goed kunnen worden beschreven.

3.2 Het verlagen van de directe P beschikbaarheid middels het toedienen van ijzeroxideslib

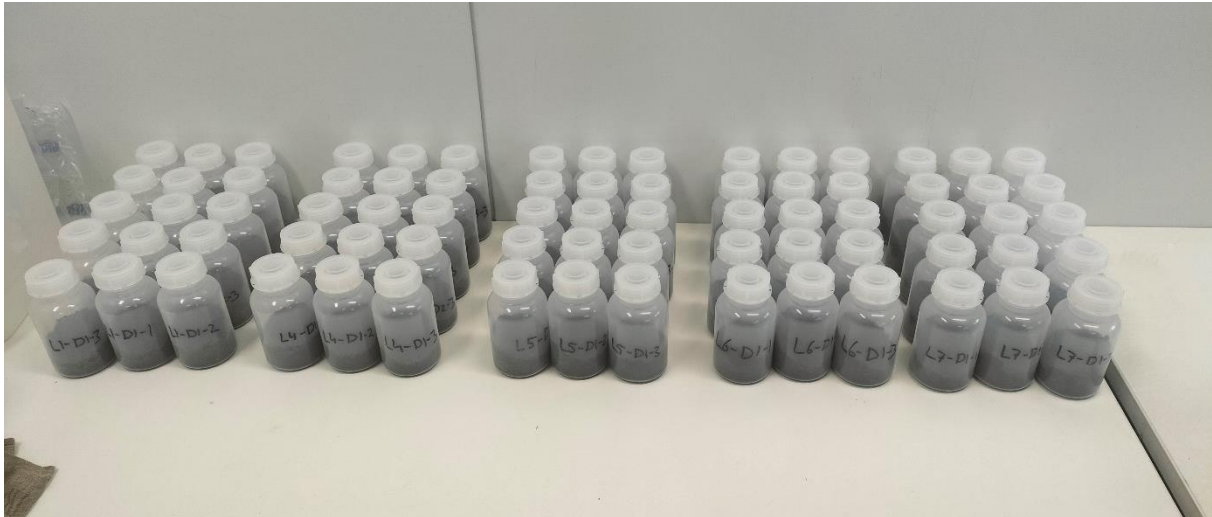
De benodigde dosering ijzeroxideslib om de directe P beschikbaarheid tot een gewenst niveau te doen dalen is in een incubatieproef bepaald. Het doel van de incubatieproef is tweeledig:

- Het bepalen van de eerste dosering van het ijzerslib om de directe P beschikbaarheid te verlagen tot een P_{CaCl_2} tussendoel van 2.4 mg kg^{-1} .
- Het bepalen van het effect van ijzerslib dosering op de zuurgraad van de bodem. Het is de verwachting dat de pH van de bodem stijgt en daarmee de zuurgraad daalt (Koopmans et al., 2020). De zuurgraad beïnvloedt de directe beschikbaarheid van P en van metalen (bijvoorbeeld arseen, koper en zink).

Op de percelen waar de toediening van ijzerslib als kansrijke maatregel wordt beschouwd (6771 en 5823, Figuur 3.1) is de bovenste 25cm van vijf deelgebieden (L1 en L4 t/m L7, Figuur 3.1) bemonsterd voor een incubatieproef met ijzerslib. Het ijzerslib is afkomstig van het bedrijf Aquaminerals en varieert in samenstelling afhankelijk van de locatie waar het ijzerslib geproduceerd wordt. Zo kan het drogestofgehalte van het ijzerslib variëren van 7.5-30% en het ijzer(iii)oxide hydraat gehalte variëren van 80-100% (gewichtsperscentage op basis van droge stof). Het productblad is opgenomen in Bijlage I.

Voor de incubatieproef is ijzerslib gebruikt van de Aquaminerals-locatie Sint Jansklooster (zie Bijlage II voor de samenstelling van het ijzerslib van deze locatie als gemeten in 2022). Het slib van Sint Jansklooster heeft een drogestofgehalte van 9%, calciumgehalte van 57 g kg ds^{-1} , een fosforgehalte van $16 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ kg ds}^{-1}$ en een ijzergehalte van 340 g kg ds^{-1} . De gehalten aan metalen zijn ook in het productblad opgenomen. Het slib heeft een arseengehalte van $110 \text{ mg kg ds}^{-1}$. Arseen is een zwaar metaal wat van nature aanwezig kan zijn in het grondwater, waardoor op een aantal locaties van Aquaminerals verhoogde arseengehalte in het ijzerslib worden waargenomen. Door het verhoogde Arseengehalte in het slib uit St Jansklooster is besloten om voor de toediening in het veld een vergelijkbaar slib van de locatie Spannenburg te gebruiken dat geen meetbare gehalten aan arseen bevat (Zie Bijlage II voor de samenstelling).

Bij de incubatieproef is de bodemlaag van elk bemonsterd deelgebied gemengd met vijf verschillende doseringen ijzerslib. Als doseringen zijn 0, 15, 30, 50 en 80 ton ijzerslib per hectare droge grond (0-10cm) aangehouden. In de incubatieproef komt dit overeen met een dosering van 0, 4.6, 9.2, 15.4 en 24.6 gram slib per kilogram vochtige grond. Deze doseringen zijn geselecteerd op basis van de resultaten van een eerder uitgevoerde, globale incubatieproef (Bijlage III). De grond is met de corresponderende dosering ijzerslib gemengd in een 250ml polyethyleen potje (100g grond + ijzerslib). De proef is in triplo uitgevoerd (Figuur 3.2). Na circa drie dagen incubatie is een CaCl_2 -extractie uitgevoerd waarbij (i) de directe P beschikbaarheid (P_{CaCl_2} gemeten als anorganisch P met een discrete analyser); en (ii) de zuurgraad ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$) is bepaald.



Figuur 3.2 Overzicht van de grondmonsters van locaties L1 en L4 t/m L7 die zijn gemengd met verschillende doseringen ijzerslib (in triplo).

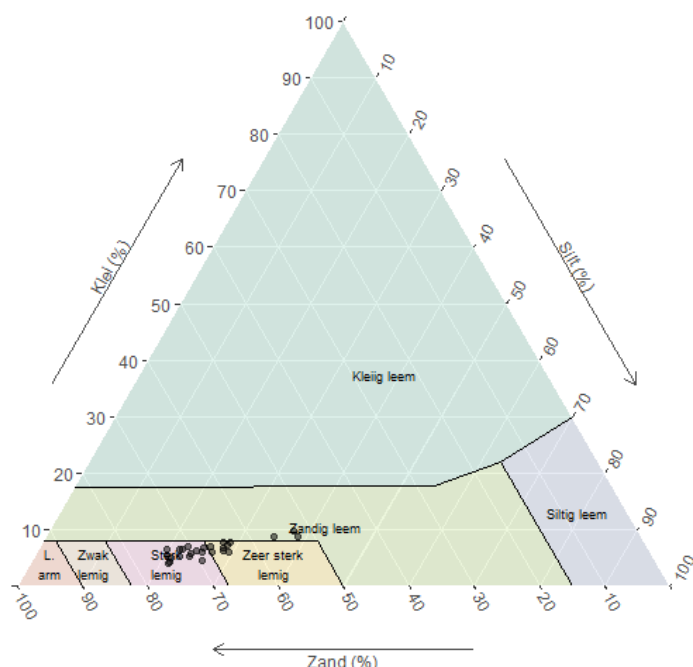
Aanvullend zijn drogestofgehalten bepaald van (i) de grond van de deelgebieden; en (ii) het ijzerslib. Dit maakt het mogelijk om de doseringen te kunnen herberekenen wanneer drogestofgehalten van één van beide variëren (bijvoorbeeld wanneer er gekozen wordt om ijzerslib van een andere locatie dan Sint jansklooster te gebruiken). Het drogestofgehalte van de grond en het ijzerslib is bepaald door een monster in duplo te drogen voor 24 uur op 105°C .

4 Resultaten en discussie

4.1 Ruimtelijke variatie

Algemene bodemopbouw

De A-horizont van de bodem bestaat uit sterk lemig zand tot zandig leem met een zandgehalte van 53-75%, een kleigehalte van 4-10% en een siltgehalte van 20-38% (Figuur 4.1). Het organische stofgehalte varieert van 2-5%. De resultaten per bemonsterde bodemlaag zijn opgenomen in Bijlage IV.



Figuur 4.1 Indeling en benaming van eolische afzettingen, zowel zand als zwaarder materiaal (z.g. leem-driehoek, de Bakker & Schelling, 1966). De zwarte stippen corresponderen met de resultaten van de bemonsterde bodemlagen.

In eerder onderzoek is de bodemopbouw van percelen 5823 (deelgebieden L5 t/m L7 in Figuur 3.1), 6990 (deelgebieden L12 t/m L14 in Figuur 3.1) en 6771 (deelgebieden L1 t/m L4 in Figuur 3.1) nader onderzocht (Postma et al., 2016; van Rotterdam & Postma, 2023). De kenmerken van deze drie percelen zijn opgenomen in Tabel 4-1. Het aan te kopen perceel (kadastrale percelen 10622 en 10624) was nog niet in dit onderzoek meegenomen en is dus niet in onderstaande resultaten terug te zien. Opvallende zaken betreffende de bodemopbouw zijn:

- De textuur wordt op alle drie de percelen op basis van het labonderzoek geclassificeerd als lemig zand of zandig leem, maar in het veld geeft het beperkte verschil in gemeten lutumgehalte grote waargenomen verschillen (visueel en manueel) in bodemstructuur. Perceel 6990 met de hoogst gemeten lutumgehalten (6-10%), maar met 50-70% zand en 22-38% silt, heeft in werkelijkheid een kleiige en harde structuur. Dit perceel heeft ook het laagste organische stofgehalte (2-3%). Terwijl

- de twee andere percelen (5823 en 6771) met slechts iets lagere gemeten lutumgehaltes (4-7%) en vrijwel dezelfde zand- en siltgehaltes van resp. 60-70% en 20-29% duidelijk zandgronden zijn.
- De twee meer zandige percelen (5823 en 6771) percelen zijn esgronden, die bodemkundig worden geclassificeerd als enkeerdgronden. Perceel 5823 is een ongeveer 50cm diepe enkeerdgrond, en perceel 6771 heeft een eerdlaag van ongeveer 70 tot 80cm dikte. Perceel 6990 heeft geen eerddek.
 - Op alle drie de percelen is direct onder de A-horizont het slecht doordringbare keileem aanwezig. Wortels kunnen niet tot zeer beperkt in deze laag doordringen en ook zorgt het voor oppervlakkige en ondiepe uitspoeling van het neerslagoverschot.

Tabel 4-1 Overzicht van de bodemopbouw, fosfaattoestand en gewas op de percelen 5823, 6990 en 6771 van mts. Snippert (aangepast uit van Rotterdam & Postma, 2023)

Tegenover huis 5823		Driehoek 6990	Perceel grenzend aan stal 6771
Foto bodemopbouw			
Toplaag	Tot +- 50cm. Matig organisch stofrijk zand met matig tot redelijke structuur	Tot 30-40cm donker kleiig, harde grond, slechte structuur. Deel van het perceel te nat.	Tot 70-80cm organisch stofrijk zand met goede structuur
Direct onder toplaag	Keileem	Keileem, Fe-rijk en veel stenen. Slechte afwatering.	Keileem
Gewas	Maïs	Maïs	Maïs
Risico P-emissie door:*	Afspoeling: hoog Ondiepe uitspoeling: vrij hoog	Afspoeling: matig Ondiepe uitspoeling: matig	-

*Postma et al., 2016

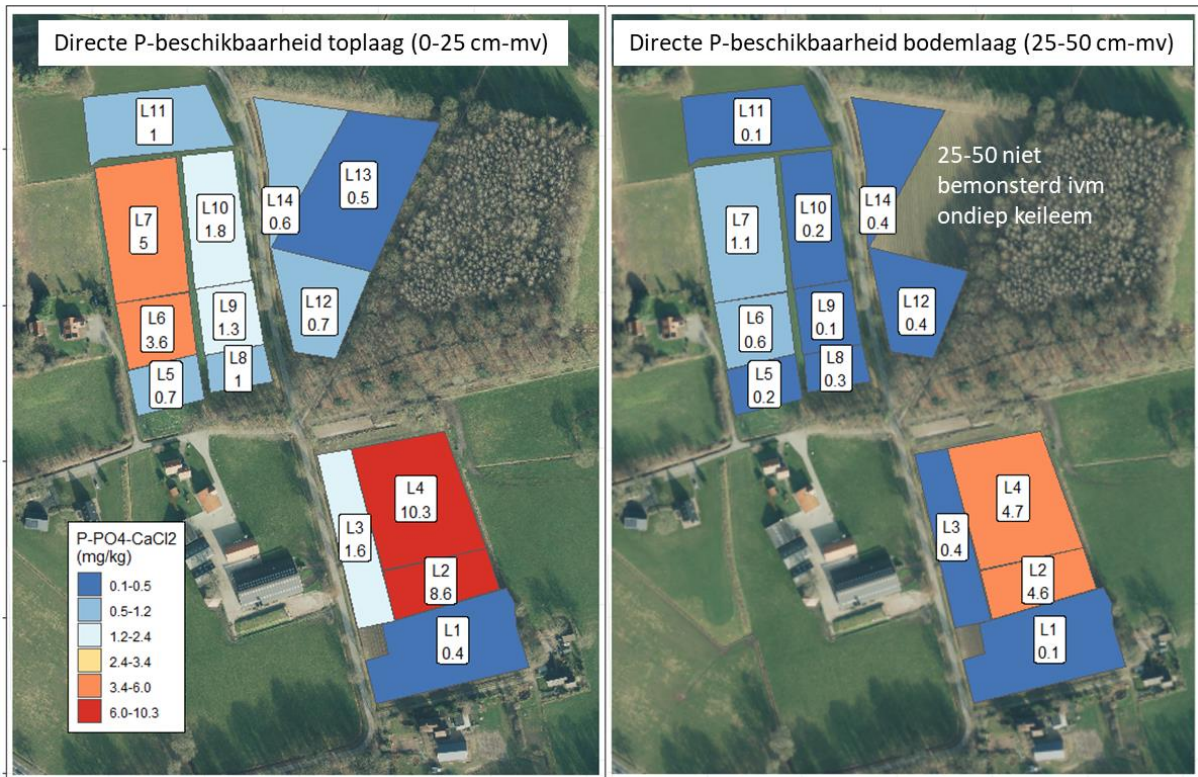
Fosfaat

De fosfaattoestand van de bodem verschilt zeer sterk binnen en tussen de percelen. Zie Figuur 4.2 voor de ruimtelijke variatie in de direct beschikbare P-fractie (P_{CaCl_2}) in de bodem. De ruimtelijke variatie in P_{CaCl_2} is ook terug te zien in de ruimtelijke variatie in reversibel, matig sterk gebonden P wat de P concentratie in bodemoplossing buffert (P_{AL}) en de verzadiging van de maximale P adsorptiecapaciteit (PSC) met P, i.e. de FosfaatVerzadigingsGraad (FVG).

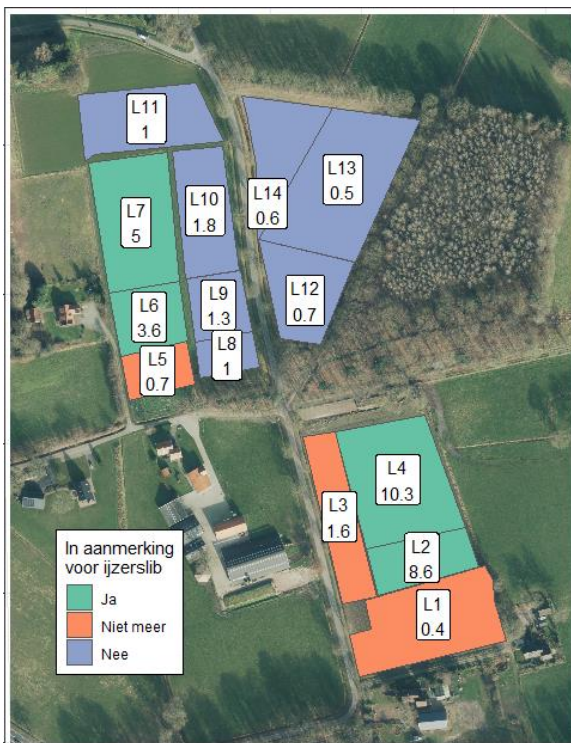
Voor de percelen waar het toepassen van ijzeroxideslib werd beoogd zijn op basis van de fosfaattoestand van de bodem nu drie deelgebieden te onderscheiden (Figuur 4.3):

- Deelgebieden waar de directe P-beschikbaarheid (P_{CaCl_2}) boven $1.2-1.6 \text{ mg kg}^{-1}$ (einddoel) is gemeten: hier blijft het advies om de directe P-beschikbaarheid te verlagen door het toedienen van ijzerslib. In de bovenste 25cm van de bodem varieert P_{CaCl_2} van $3.6-10.3 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabel 4-2).
- Deelgebieden die in aanmerking kwamen voor de toediening van ijzerslib en waar P_{CaCl_2} beneden $1.2-1.6 \text{ mg kg}^{-1}$ is gemeten: hier vervalt het advies om de directe P-beschikbaarheid te verlagen door het toedienen van ijzerslib. In de bovenste 25cm van de bodem varieert P_{CaCl_2} van $0.4-1.6 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabel 4-2).
- Deelgebieden die niet in aanmerking kwamen voor de toediening van ijzerslib: hier blijft het advies staan om geen ijzerslib toe te dienen. In de bovenste 25cm van de bodem varieert P_{CaCl_2} van $0.5-1.8 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabel 4-2). Op locatie L10 is de directe P-beschikbaarheid in de bovenste 25cm van de bodem slechts beperkt hoger dan 1.6 mg kg^{-1} ($P_{CaCl_2} 1.8 \text{ mg kg}^{-1}$). Om zo'n klein verschil te overbruggen is het toedienen van ijzeroxideslib een te intensieve maatregel. Met ijzeroxideslib kan een snelle daling van een hoge directe P-beschikbaarheid worden bereikt en daarmee het risico op

P-uitspoeling snel worden beperkt. Naast dat het risico op emissies afvlakt richting het streeftraject, vakt ook de effectiviteit van het toedienen van ijzeroxideslib af bij lagere directe P-beschikbaarheid. Met bemesting die lager is dan de onttrekking zal de directe P-beschikbaarheid voldoende dalen. Het opvolgen van het bemestingsadvies is hiervoor voldoende. Het advies is om hier de directe P beschikbaarheid niet te verlagen door het toedienen van ijzeroxideslib.



Figuur 4.2 Ruimtelijke variatie in de directe P-beschikbaarheid zoals gemeten met P_{CaCl2} in de 14 deelgebieden.



Figuur 4.3 Deelgebieden die op basis van de fosfaattoestand van de bodem in aanmerking komen voor ijzerslib (groen), niet meer in aanmerking komen voor de toediening van ijzerslib (oranje) en bij voorbaat al niet in aanmerking kwamen voor de toediening van ijzerslib (blauw). De labels geven de locatie aan van het deelgebied en het gehalte aan direct beschikbaar P van de bovenste 25cm van de bodem (P_{CaCl2} in $mg\ kg^{-1}$).

Opmerkelijk is dat perceel 6990, waar in eerder onderzoek de fosfaattoestand werd geclassificeerd als 'Ruim' de directe P-beschikbaarheid in dit onderzoek lager is dan in eerder onderzoek (2022); P_{CaCl2} was

1.7 mg kg⁻¹ in januari 2022 en P_{CaCl2} is gemiddeld 0.7 mg kg⁻¹ op basis van dit onderzoek, uitgevoerd in oktober 2023. De beschikbare bodemvoorraad, gemeten als P_{AL} is wel vergelijkbaar tussen deze twee studies (varieert tussen 40 en 50 mg P₂O₅ 100g⁻¹). Het perceel is op het oog zeer heterogeen; in het veld heeft de bodem een slechte bonkige structuur en zijn duidelijk ijzerrijke aggregaten zichtbaar. In deze ijzerrijke aggregaten wordt fosfaat sterk gebonden. De verschillen in directe beschikbaarheid tussen januari 2022 en najaar 2023 worden toegeschreven aan de bemonstering. Iets meer ijzerrijke aggregaten in het monster leiden tot een lagere directe P-beschikbaarheid. Dit verschil in de tijd onderschrijft de noodzaak om de bodemstructuur op dit perceel te verbeteren.

Het perceel dat mogelijk kan worden overgenomen door mts. Snippert (percelen 10622 en 10624) heeft in alle onderzochte deelgebieden (L8 tot en met L11) een vrij hoge beschikbare bodemvoorraad zoals gemeten met P_{AL} en FVG. Het is opmerkelijk dat, net als in perceel 6990, de directe P-beschikbaarheid laag is. De directe P-beschikbaarheid is op de hoger gelegen delen van het perceel hoger dan op het lager gelegen deel. Dat de directe P-beschikbaarheid laag is tegen de Liesketbeek aan is positief in relatie tot het risico op uitspoeling naar het oppervlaktewater. De beschikbare bodemvoorraad is tegen de beek aan wel hoog waardoor erosie van bodemdeeltjes naar de beek zoveel als mogelijk moet worden voorkomen.

Tabel 4-2 De maximale P bindingscapaciteit (PSC), de verzadiging hiervan met P (FosfaatVerzadigingsGraad, FVG), het gehalte aan matig sterk, reversibel gebonden P wat de P concentratie in bodemoplossing buffert (P_{AL}) en het direct beschikbaar P gehalte (P_{CaCl2}) van de bemonsterde bodemlagen. Lichtgroen: P_{CaCl2} is beneden het einddoel van 1.2 mg kg⁻¹ gemeten. Donkergroen: P_{CaCl2} is tussen het einddoel van 1.2 mg kg⁻¹ en het tussendoel van 2.4 mg kg⁻¹ gemeten. Lichtoranje: P_{CaCl2} is tussen 2.4 mg kg⁻¹ (tussendoel) en 4.8 mg kg⁻¹ (tweemaal het tussendoel) gemeten. Donkeroranje: P_{CaCl2} is hoger dan 4.8 mg kg⁻¹ gemeten.

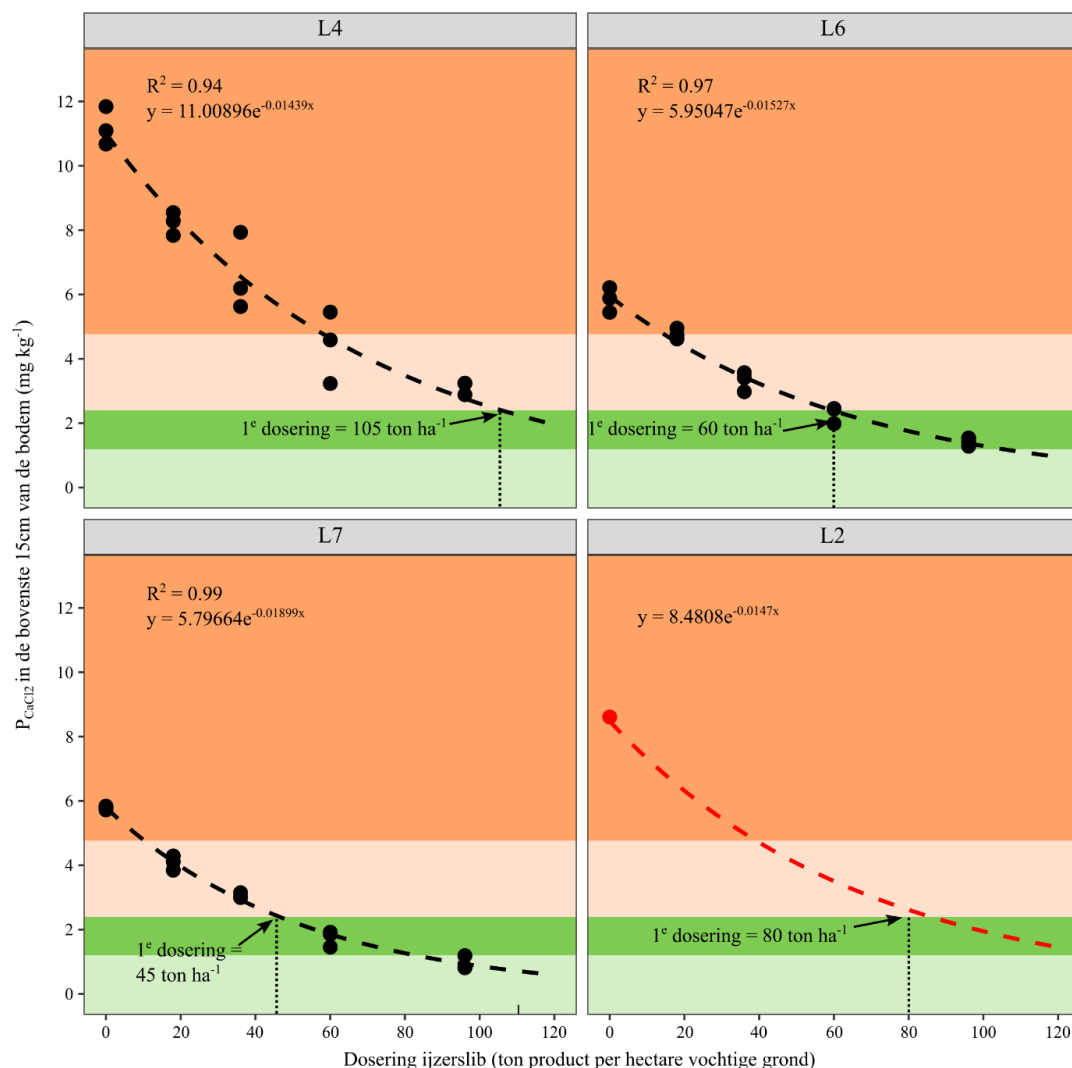
Perceel	Deelgebied	Diepte (cm -mv)	PSC (mmol kg ⁻¹)	FVG (%)	P _{AL} (mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹)	P _{CaCl2} (mg kg ⁻¹)
6771	L1	0-25	31	42	35	0.4
6771	L1	25-A	29	24	17	0.1
6771	L2	0-25	28	88	78	8.6
6771	L2	25-A	27	65	68	4.6
6771	L3	0-25	28	60	62	1.6
6771	L3	25-A	26	42	37	0.4
6771	L4	0-25	28	95	90	10.3
6771	L4	25-A	27	66	67	4.7
5823	L5	0-25	36	59	74	0.7
5823	L5	25-A	32	40	48	0.2
5823	L6	0-25	32	75	81	3.6
5823	L6	25-A	34	50	53	0.6
5823	L7	0-25	31	76	69	5
5823	L7	25-A	35	45	44	1.1
10624	L8	0-25	34	64	69	1
10624	L8	25-A	33	54	73	0.3
10624	L9	0-25	33	58	61	1.3
10624	L9	25-A	38	31	24	0.1
10624	L10	0-25	34	58	58	1.8
10624	L10	25-A	35	33	23	0.2
10622/10624	L11	0-25	33	54	56	1
10622/10624	L11	25-A	34	33	25	0.1
6990	L12	0-25	37	45	58	0.7
6990	L12	25-A	32	39	44	0.4
6990	L13*	0-25	41	40	49	0.5
6990	L14	0-25	39	41	47	0.6
6990	L14	25-A	40	37	43	0.4

*Het keileem begon ondiep; hierdoor is er op deze locatie alleen de 0-25cm -mv bodemlaag bemonsterd.

4.2 Toedienen van ijzeroxideslib

4.2.1 Het verlagen van de directe P beschikbaarheid

Voor de deelgebieden waar de toediening van ijzerslib kansrijk is om de directe P beschikbaarheid te verlagen (deelgebieden L2, L4, L6 en L7, zie Figuur 4.3) zijn de relaties tussen de dosering van ijzerslib en het direct beschikbaar P gehalte in de bodem (P_{CaCl_2}) in Figuur 4.4 weergegeven. Voorgesteld wordt de directe P-beschikbaarheid in twee stappen tot het gewenste niveau te verlagen. Op basis van het tussendoel van een P_{CaCl_2} waarde van 2.4 mg kg^{-1} worden eerste doseringen van 105 ton ha^{-1} (deelgebied L4), 60 ton ha^{-1} (deelgebied L6), 45 ton ha^{-1} (deelgebied L7) en 80 ton ha^{-1} (deelgebied L2) aanbevolen. Naar verwachting is een (kleine) tweede dosering nodig om de directe P beschikbaarheid tot het einddoel (P_{CaCl_2} tussen 1.2 en 1.6 mg kg^{-1}) te verlagen. De hoogte van de tweede dosering zal na monsternamen van de bodem na de eerste dosering worden bepaald. De eventuele tweede dosering ijzerslib zal daarna worden toegediend.

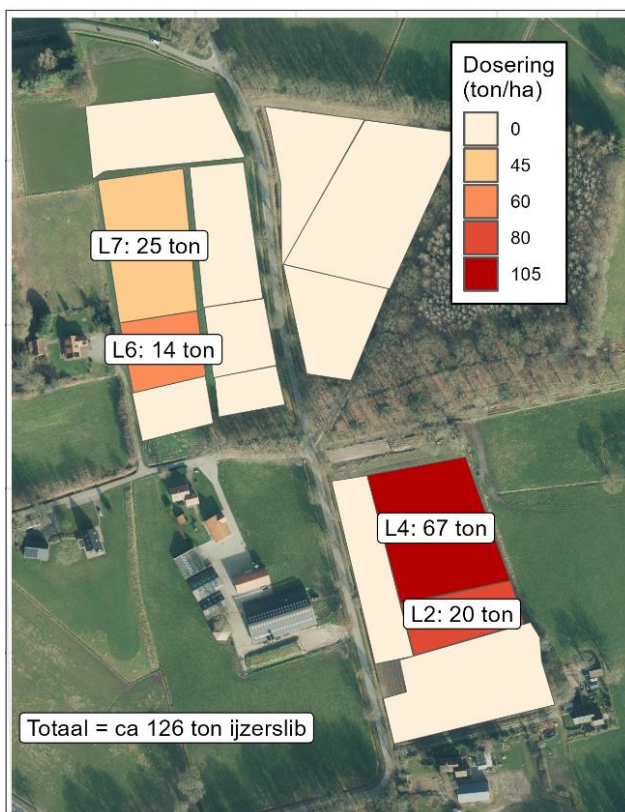


Figuur 4.4 Dosering van ijzerslib uitgezet tegen het direct beschikbare P gehalte in de bodem (P_{CaCl_2}) gemeten in de gedetailleerde incubatieproef. De stippellijn correspondeert met een exponentiële regressielijn. De resultaten voor deelgebieden L1 en L5 zijn weggelaten; op deze locaties is de directe P beschikbaarheid al dusdanig laag dat de het toedienen van ijzerslib niet zinvol is. De grond van deelgebied L2 is niet meegenomen in de incubatieproef; voor dit deelgebied is op basis van het initiële P_{CaCl_2} gehalte (8.6 mg kg^{-1} in de 0-25cm -mv bodemlaag) aangenomen dat de relatie tussen P_{CaCl_2} en de dosering tussen de resultaten in ligt van deelgebieden L7 (initieel P_{CaCl_2} gehalte van 5.7 mg kg^{-1} in de incubatieproef) en L4 (initieel P_{CaCl_2} gehalte van 11.8 mg kg^{-1} in de incubatieproef)

Noemenswaardig is dat:

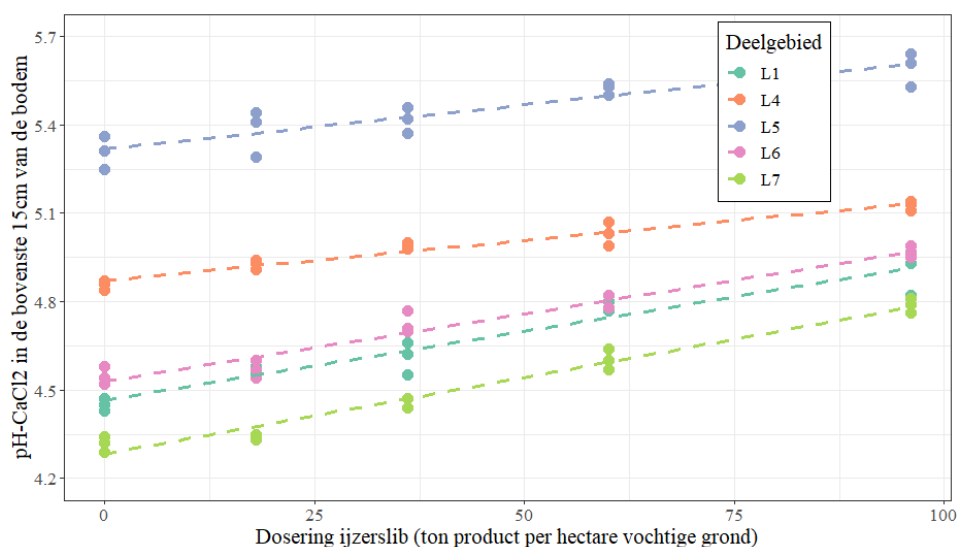
- Er ook incubatieproeven zijn uitgevoerd met grond van deelgebieden L1 en L5. Op deze locaties blijkt dat de initiële directe P beschikbaarheid al dusdanig laag is dat de toediening van ijzeroxideslib niet nodig is om de directe P beschikbaarheid te verlagen (Figuur 4.2). Resultaten van deze incubatieproef zijn daarom niet in Figuur 4.4 opgenomen.
- Er geen incubatieproef is uitgevoerd met grond van deelgebied L2. Op dit deelgebied ligt de initiële directe P beschikbaarheid tussen de initiële P beschikbaarheid van deelgebieden L4 en L7 in. De verwachting is dat de relatie tussen de dosering ijzeroxideslib en de daling van P_{CaCl_2} tussen de relaties als geobserveerd in deelgebieden L4 en L7 in ligt (rode stippellijn in Figuur 4.4).
- De relatie tussen de dosering en de directe P-beschikbaarheid wordt beïnvloedt door (i) de samenstelling van het ijzeroxideslib; en (ii) het vochtgehalte van de bodem. In de incubatieproef is een drogestofgehalte van het ijzeroxideslib van 7-7.2% gemeten. Het vochtgehalte van de grond varieerde, afhankelijk van het deelgebied, van 13.0-16.4%.

Wanneer de aanbevolen doseringen worden aangehouden is voor de eerste dosering circa 126 ton ijzerslib nodig voor het verlagen van de directe P beschikbaarheid, waarbij circa 20 ton wordt toegediend op deelgebied L2, 67 ton op deelgebied L4, 14 ton op deelgebied L6 en 25 ton op deelgebied L7 (Figuur 4.5). Dit is berekend door de doseringen in ton ha^{-1} (Figuur 4.4) om te rekenen naar absolute hoeveelheden door deze doseringen te vermenigvuldigen met de oppervlakten van de deelgebieden (L2: 0.25 ha; L4: 0.64 ha; L6: 0.24 ha; L7: 0.55 ha).



Figuur 4.5 Eerste toe te dienen hoeveelheden ijzeroxideslib om de directe P beschikbaarheid te verlagen. Doseringen zijn beide in ton/ha (kleuren) en ton (label, omgerekend op basis van het oppervlak van de deelgebieden) weergegeven.

In de incubatieproef is een toename in de zuurgraad van de bodem met een toename van de dosering ijzeroxideslib geobserveerd (Figuur 4.6). Het is daarmee ook de verwachting dat de dosering ijzeroxideslib leidt tot een lichte stijging van de zuurgraad.



Figuur 4.6 Relatie tussen de dosering ijzerslib en de zuurgraad van de bodem (P_{CaCl2}) als geobserveerd in de gedetailleerde incubatieproef. De stippellijn correspondeert met een lineaire regressielijn; de kleur geeft het deelgebied aan.

4.2.2 Beschikbaarheid metalen

Met de toevoeging van waterijzer worden zeer kleine hoeveelheden metalen toegevoegd ten opzichte van de hoeveelheid ijzer(hydr-)oxide. Het ijzeroxideslib dat zal worden toegepast is een product uit de drinkwaterwinning in Spannenburg (analysecertificaat opgenomen in Bijlage II). Dit product heeft geen organische verontreinigingen boven de detectielimiet. Van de metalen zijn arseen, cadmium, chroom, kobalt, koper, kwik, lood, molybdeen, nikkel en zink onder de detectielimiet (zie Bijlage II). Enkele metalen liggen niet onder de detectielimiet. Dit zijn aluminium, barium, calcium, ijzer, magnesium en mangaan.

- Calcium en magnesium zijn gewenste toevoegingen omdat deze bijdragen aan de basenbezetting van het klei-humuscomplex, wat de zuurbuffering en bodemvruchtbaarheid van de bodem verhoogt.
- IJzer is uiteraard ook gewenst want daar is het in deze toepassing om te doen. De verhouding tussen fosfor en ijzer moet in het product zo laag mogelijk zijn voor deze toepassing. In dit product is (omgerekend naar moleculen) 300 keer zoveel ijzer als fosfor aanwezig. De verzadiging van het ijzer met fosfor is 3%. Dit is laag en gunstig voor deze toepassing.

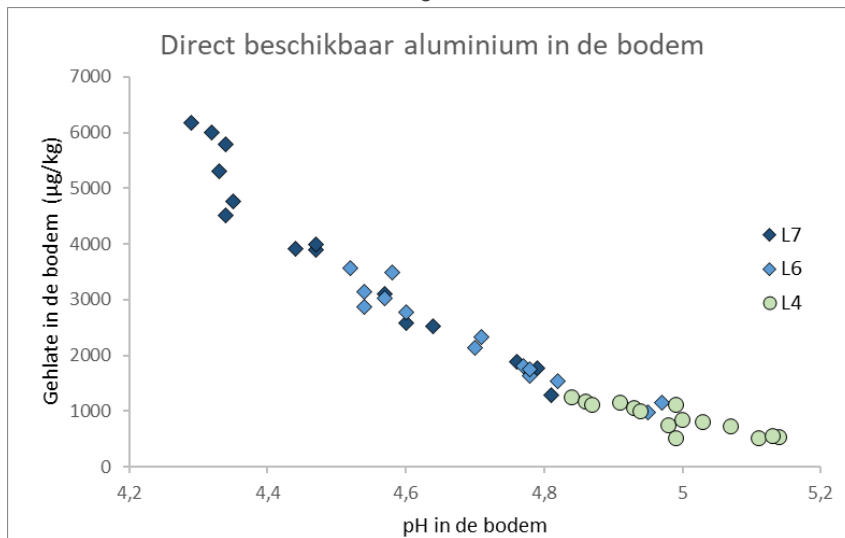
Wat overblijft is dat aluminium, barium en mangaan boven de detectielimiet aanwezig zijn in het product. Voor aluminium en mangaan zijn geen normen vastgelegd, niet vanuit bodemkwaliteitsbeoordeling, en ook niet vanuit de mestwetgeving. Voor barium is vanuit bodemkwaliteit een normstelling van 190 mg/kg GROND. Bij een dosering van 80 ton product per hectare leidt dit tot een bariumgehalte dat 37 keer onder deze norm ligt.

In de doseringsproef is onderzocht wat het effect is van het toepassen van waterijzer op de beschikbaarheid van verschillende metalen. Voor alle metalen nam de beschikbaarheid af door het toedienen van waterijzer. De resultaten zijn getoond in bijlage V, aluminium is getoond in Figuur 4.7.

Geconcludeerd wordt dat met het toepassen van waterijzer in een maximum dosering van 100 ton product per hectare (wat slechts op 1 van de 4 deelgebieden van toepassing is) de normen van geen van de metalen worden overschreden en de beschikbaarheid van de metalen in de bodem – en daarmee het risico op uitspoeling naar het watersysteem verlaagd wordt. Dit is gebaseerd op:

- De samenstelling van het product uit de drinkwaterwinning Spannenburg;
- De gemeten effecten van het toedienen van het product aan de bodem op de beschikbaarheid van fosfaat en metalen;

- De lokale hydrologische setting waarin het perceel niet direct afwatert op het grondwater door de slecht doorlatende keileemlaag.



Figuur 4.7 Relatie tussen beschikbare gehalte aluminium in de bodem in relatie tot pH van de bodem in de doseringsproef voor de deelgebieden L4, L6 en L7 waar het ijzeroxideslib zal worden toegepast.

5 Conclusies

Het onderzoek heeft tot de volgende inzichten geleid:

- De directe P-beschikbaarheid (P_{CaCl_2}) van de bodem varieert sterk tussen en binnen percelen:
 - Op de twee percelen H5823 en H6771 was in eerder onderzoek de fosfaatbeschikbaarheid hoog en leek het toedienen van ijzeroxideslib kansrijk. Dit nader onderzoek toont aan dat de directe P-beschikbaarheid sterk varieert binnen deze percelen. Op enkele delen (deelgebieden L2, L4, L6 en L7) is de directe P-beschikbaarheid (zeer) hoog (P_{CaCl_2} van 3.9-9.6 mg kg⁻¹ in de bovenste 25cm van de bodem) en is de toepassing van ijzeroxideslib kansrijk om de directe P-beschikbaarheid te verlagen. Op andere delen (deelgebied L5 perceel H5823 en deelgebieden L1 en L3 perceel H6771) is echter de directe P-beschikbaarheid dusdanig laag (P_{CaCl_2} 0.9-1.5 mg kg⁻¹ in de bovenste 25cm van de bodem) dat het risico op fosforverliezen laag is en het toedienen van ijzeroxideslib niet nodig is.
 - Op de percelen H10624 en H6990 is de directe P beschikbaarheid laag (P_{CaCl_2} van 0.5-2.0 mg kg⁻¹ in de bovenste 25cm van de bodem) en is de toepassing van ijzeroxideslib niet nodig.
- De incubatieproeven laten een duidelijke afname zien in de directe P beschikbaarheid na het toedienen van ijzeroxideslib, waarbij het effect van de toediening deelgebied-specifiek is door verschillen in de initiële P beschikbaarheid en maximale P bindingscapaciteit van de bodem.
- Voorgesteld wordt de directe P-beschikbaarheid in twee stappen tot het gewenste niveau te verlagen. Als eerste dosering wordt een ijzeroxideslib-toediening van 20 ton (80 ton ha⁻¹) op deellocatie L2, 67 ton (105 ton ha⁻¹) op deellocatie L4, 14 ton (60 ton ha⁻¹) op deellocatie L6 en 25 ton (45 ton ha⁻¹) op deellocatie L7 geadviseerd. In totaal is daarmee circa 126 ton ijzeroxideslib nodig. De doseringen zijn gebaseerd op het verlagen van de directe P-beschikbaarheid naar een P_{CaCl_2} tussendoel van 2.4 mg kg⁻¹. Na monsternamen van de bodem zal de hoogte van de tweede gift worden bepaald, die als doel heeft om de directe P-beschikbaarheid tot het einddoel van 1.2-1.6 mg kg⁻¹ (P_{CaCl_2}) te verlagen.
- Het toedienen van ijzeroxideslib leidt tot een lichte stijging in de zuurgraad van de bodem (enkele tienden in pH-eenheid).
- De doseringsproeven tonen aan dat de beschikbaarheid van zware metalen in de bodem afneemt met het toedienen van ijzeroxideslib als gevolg van de lichte stijging in de pH van de bodem.
- Voor het driehoekige perceel (kadastraal perceel 6990) is, in tegenstelling tot eerder onderzoek, de directe P-beschikbaarheid lager dan de streefwaarde die nodig is om het risico op P-uitspoeling maximaal te beperken. Geadviseerd wordt om de bodemstructuur op dit perceel te verbeteren. Advies is om voor inzaai van het gras in het voorjaar van 2024 een compostgift van 50 ton ha⁻¹ toe te passen en goed te mengen door de bouwvoor.
- Het perceel dat mogelijk kan worden overgenomen door mts. Snippert (kadastrale percelen 10622 en 10624) heeft een vrij hoge beschikbare bodemvoorraad, maar de directe P-beschikbaarheid is laag. Er worden geen aanvullende maatregelen geadviseerd om de directe P-beschikbaarheid te verlagen, het voorkomen van erosie van bodemdeeltjes naar de aangrenzende beek is voldoende.

Literatuur

- Chardon W, Groenenberg B-JE, & Koopmans GF** (2014). *Immobiliseren Fosfaat Met Ijzerslib*. Landschap 3: 117–22.
- De Bakker H & Schelling J** (1966). *Systeem van Bodemclassificatie Voor Nederland - De Hogere Niveaus*. Wageningen.
- Koopmans GF, Hiemstra T, Vaseur C, Chardon WJ, Voegelin A, & Groenenberg JE** (2020). *Use of Iron Oxide Nanoparticles for Immobilizing Phosphorus In-Situ: Increase in Soil Reactive Surface Area and Effect on Soluble Phosphorus*. *Science of the Total Environment* 711: 135220.
- Postma R, van Rotterdam D, & de Pater J** (2016). *Tweede Bodemonderzoek Landbouwpercelen Landgoederen Oldenzaal*. Wageningen.
- Provincie Overijssel** (2016). *Natura 2000 Beheerplan Landgoederen Oldenzaal*. Zwolle.
- (2018). *Stroomgebiedsrapportage, Landgoederen Oldenzaal, Uitwerkingsgebied Snoeijinkbeek Bovenloop*.
- (2023). *Inrichtingsplan Natura 2000-Gebied Landgoederen Oldenzaal, Herziening n.a.v. Uitspraak Raad van State, Deelgebied Liesketbeek/Snoeyinksbeek*.
- van Doorn M, van Rotterdam D, Ros G, Koopmans G, Smolders E, & de Vries W** (2023). *The Phosphorus Saturation Degree as a Universal Agronomic and Environmental Soil P Test*. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 54 (5): 385–404.
- van Rotterdam AMD, Bussink DW, Temminghoff EJM, & van Riemsdijk WH** (2012). *Predicting the Potential of Soils to Supply Phosphorus by Integrating Soil Chemical Processes and Standard Soil Tests*. *Geoderma* 189–190: 617–26.
- van Rotterdam D & Postma R** (2023). *Fosfaatverliezen Naar Het Oppervlaktewater Beperken - Uitwerking Maatregelen Voor Drie Percelen in Losser*. Wageningen.

Bijlage I Productblad waterijzer Aquaminerals



1. Identificatie van de stof en van de producent

Chemische naam van de stof:
IJzer(III)oxide hydraat

Handelsnaam:
Waterijzer, ijzerslib

EC-nr: 215-168-2; **CAS-nr:** 1309-37-1

REACH-nr: 01-2119457614-35-xxxx
Volledige registratienummers van individuele producenten zijn beschikbaar op www.aquaminerals.com

Gebruik van de stof:
Defosfatering en stankbestrijding bij afvalwaterbehandeling, ontzwaveling bij biogasproductie, ontzwaveling bij vergisting van huisvuil, grondstof in de baksteenindustrie en als bouwstof in werken.

Identificatie verstrekker van de stof:
AquaMinerals B.V. (Leverancier)

Herkomst waterijzer:
De stof ontstaat bij de bereiding van drinkwater uit ijzerhoudend grondwater, dan wel bij de bereiding van drinkwater uit oppervlaktewater.

Telefoonnummer voor noodgevallen:
Europees alarmnummer: 112

2. Gevaren

De stof is niet geclassificeerd als gevaarlijk afval volgens de CLP-wetgeving.

3. Samenstelling en informatie over de bestanddelen

Hoofdbestanddeel: IJzer(III)oxide hydraat

Samenstelling (gewichtspercentage op basis van droge stof):

Fe ₂ O ₃ ·3H ₂ O	:	80	-	100%
Inert (zand)	:	1	-	10%
Ca	:	<0,1	-	5%
P	:	0,1	-	4%
Al	:	<0,1	-	0,3%
Mg	:	<0,1	-	0,3%
Mn	:	<0,1	-	4%
Droge stof	:	7,5	-	30%

4. Eerstehulpmaatregelen

Bij normaal gebruik: N.v.t.

Overige maatregelen:

Instikken: Bij zeer grote hoeveelheid arts raadplegen
Inademen: N.v.t.
Huidcontact: N.v.t.
Oogcontact: Spoelen met water; arts raadplegen

5. Brandbestrijdingsmaatregelen

Waterijzer is onbrandbaar. Alle gangbare blusmiddelen kunnen worden toegepast.

6. Maatregelen bij het accidenteel vrijkomen van de stof

Spoelen met water.



7. Hantering en opslag

Hantering: Geen bijzonderheden
Opslag: Bij voorkeur opslag in tanks, bunker/silo's of depotvorming met behulp van keerwanden bij steekvast materiaal.

8. Maatregelen ter beheersing van blootstelling/persoonlijke bescherming

Inademen: Geen
Huidcontact: Geen
Oogcontact: Veiligheidsbril
Bij stofvorming: Stofmasker P1 of P3

9. Fysische en chemische eigenschappen

Fysische toestand: Steekvast of waterige suspensie
Kleur: Geel tot roodbruin
Geur: Neutraal
Smeltpunt (Fe_2O_3): 1565°C
Relatieve dichtheid: 1,05 - 1,20
Oplosbaarheid water: $< 1 \mu\text{g/L Fe}$ bij 20°C
pH (opgelost) 7-8

10. Stabiliteit en reactiviteit

Stabiliteit: de stof is stabiel.

11. Toxicologische informatie

De stof is niet toxisch.

Gedetailleerde informatie is opgenomen in het Veiligheidsinformatierapport ijzer(III)oxide. Dit document is op te vragen bij AquaMinerals.

12. Milieu-informatie

De stof is niet eco-toxisch.

Gedetailleerde informatie is opgenomen in het Veiligheidsinformatierapport ijzer(II)oxide. Dit document is op te vragen bij AquaMinerals.

13. Instructies voor verwijdering

Verwijdering volgens nationale regelgeving voor niet-gevaarlijke, niet-brandbare stoffen.

14. Informatie m.b.t. vervoer

Vervoeren volgens nationale, Europese (EU) en internationale (OECD, ADR, IMDG, IATA) regelgeving voor niet-gevaarlijke stoffen.

15. Regelgeving

De stof is niet geclassificeerd als gevaarlijk volgens (EG) No 1272/2008 (CLP)

16. Overige informatie

Wijzigingen in deze versie.
Dit is versie 2 sinds de REACH-registratie.

Meer informatie nodig?:

Gedetailleerde informatie is opgenomen in het Veiligheidsinformatierapport ijzer(III)oxide. Dit document is op te vragen bij AquaMinerals.

Disclaimer

Bovenstaande gegevens beschrijven de veiligheidsinformatie voor het product IJzer(II)oxide. Alle gegevens zijn gebaseerd op de huidige kennis. De informatie is bedoeld als richtlijn voor het veilig omgaan met dit product evenals opslag, verwerking, transport en verwijdering ervan. Het is niet toegestaan de informatie te wijzigen of de informatie te gebruiken voor andere producten. Bij mengen, malen en/of verwerken van ijzer(III)oxide met andere producten is de informatie mogelijk niet meer in zijn geheel van toepassing op het nieuwe materiaal. Het is de eigen verantwoordelijkheid van de gebruiker de nodige voorzorgsmaatregelen te treffen alsmede er zorg voor te dragen dat de informatie compleet en toereikend is voor veilig gebruik van dit product.



AquaMinerals B.V.
Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

Tel: 030 – 60 69 721
info@aquaminerals.com
www.aquaminerals.com



september 2016, versie 2

Bijlage II Samenstelling waterijzer Aquaminerals

Locatie Spannenburg



Aqua Minerals B.V.
T.a.v. mevrouw V. Calmer
Postbus 1072
3430BB NIEUWEGEIN

Uw kenmerk : OPB51669 Spannenburg vloeibaar waterijzer
Ons kenmerk : Project 1178320
Validatiereferentie : 1178320_certificaat_v1
Opdrachtverificatiecode : XLHL-QRKR-UNTD-CUOU
Bijlage(n) : 2 tabel(len) + 1 oliechromatogram(men) + 2 bijlage(n)

Amsterdam, 10 mei 2021

Hierbij zend ik u de resultaten van het laboratoriumonderzoek dat op uw verzoek is uitgevoerd in de door u aangeboden monsters.

De resultaten hebben uitsluitend betrekking op de monsters, zoals die door u voor analyse ter beschikking werden gesteld.

Het onderzoek is, met uitzondering van eventueel uitbesteed onderzoek, uitgevoerd door Eurofins Omegam volgens de methoden zoals ze zijn vastgelegd in het geldende accreditatie-certificaat L086 en/of in de bundel "Analysevoorschriften Eurofins Omegam". De in dit onderzoek uitgevoerde onderzoeksmethoden van de geaccrediteerde analyses zijn in een aparte bijlage als onderdeel van dit analyse-certificaat opgenomen. De methoden zijn, voor zover mogelijk, ontleend aan de accreditatieprogramma's/schema's en NEN- EN- en/of ISO-voorschriften.

Ik wijs u erop dat het analyse-certificaat alleen in zijn geheel mag worden gereproduceerd. Ik vertrouw erop uw opdracht volledig en naar tevredenheid te hebben uitgevoerd. Heeft u naar aanleiding van deze rapportage nog vragen, dan verzoek ik u contact op te nemen met onze klantenservice.

Hoogachtend,
namens Eurofins Omegam,

Ing. J. Tukker
Manager productie

Op dit certificaat zijn onze algemene voorwaarden van toepassing.
Dit analyse-certificaat mag niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

Eurofins Omegam B.V.
H.J.E. Wenckebachweg 120
NL-1114 AD Amsterdam-Duivendrecht
Nederland

T +31-(0)20-597 66 80
CSOmegam@eurofins.com
www.eurofins.nl

IBAN NL 16 BNPA 0227667980
BIC BNPANL2A
BTW nr. NL8139.67.132.B01
KvK nr. 34215654

ANALYSECERTIFICAAT

Projectcode : 1178320
Uw project omschrijving : OPB51669 Spannenburg vloeibaar waterijzer
Opdrachtgever : Aqua Minerals B.V.

Uw Monsterreferenties
 6704664 = Spannenburg vloeibaar waterijzer

Opgegeven bemonsteringsdatum : 14/04/2021
Ontvangstdatum opdracht : 19/04/2021
Startdatum : 19/04/2021
Monstercode : 6704664
Uw Matrix : Slib

Algemeen onderzoek - fysisch

Q droge stof % (m/m) 8,2

Diverse parameters geotechnisch onderzoek:

inerte bestanddelen % (m/m ds) 10,4

Anorganische parameters - metalen

aluminium (Al) mg/kg ds 160
 Q arseen (As) mg/kg ds < 4,0
 Q barium (Ba) mg/kg ds 1300
 Q cadmium (Cd) mg/kg ds < 0,20
 calcium (Ca) mg/kg ds 54000
 Q chroom (Cr) mg/kg ds < 10
 fosfor als P2O5 mg/kg ds 29000
 Q ijzer (Fe) mg/kg ds 380000
 Q kobalt (Co) mg/kg ds < 3,0
 Q koper (Cu) mg/kg ds < 5,0
 Q kwik (Hg) (niet vluchtig) mg/kg ds < 0,05
 Q lood (Pb) mg/kg ds < 10
 magnesium (Mg) mg/kg ds 820
 Q mangaan (Mn) mg/kg ds 2000
 Q molybdeen (Mo) mg/kg ds < 1,5
 Q nikkel (Ni) mg/kg ds < 4
 Q zink (Zn) mg/kg ds < 20

Organische parameters - niet aromatisch

Q minerale olie (florisil clean-up) mg/kg ds < 35

Organische parameters - aromatisch

Polycyclische koolwaterstoffen:

Q naftaleen mg/kg ds < 0,15
 Q fenantreen mg/kg ds < 0,15
 Q anthraceen mg/kg ds < 0,15
 Q fluoranteen mg/kg ds < 0,15
 Q benzo(a)antraceen mg/kg ds < 0,15
 Q chryseen mg/kg ds < 0,15
 Q benzo(k)fluoranteen mg/kg ds < 0,15
 Q benzo(a)pyreen mg/kg ds < 0,15
 Q benzo(ghi)peryleen mg/kg ds < 0,15
 Q indeno(1,2,3-cd)pyreen mg/kg ds < 0,15
 som PAK (10) mg/kg ds 1,0

Organische parameters - gehalogeneerd

Q extr. org. halogeen (EOX) mg/kg ds 0,16

Organische parameters - overig

Q chemisch zuurstofverbruik (CZV) g/kg ds 130
 org. koolstof g/kg ds 47
 Q organische stof % 8,1

Dit analyse-certificaat, inclusief voorblad en eventuele bijlage(n), mag niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

- De met een 'Q' gemerkte analyses zijn door RvA geaccrediteerd (registratienummer L086).

Opdrachtverificatiecode: XLHL-QRKR-UNTD-CUOU

Ref.: 1178320_certificaat_v1

ANALYSECERTIFICAAT

Projectcode	: 1178320
Uw project omschrijving	: OPB51669 Spannenburg vloeibaar waterijzer
Opdrachtgever	: Aqua Minerals B.V.

Opmerkingen m.b.t. analyses

Opmerking(en) algemeen

De volgende informatie is indien van toepassing verstrekt door de opdrachtgever:
Project omschrijving, Monsterreferentie(s), Opgegeven bemonsteringsdatum, Matrix, Monsterdiepte, Potnr (Barcode),
Veldgegevens, Veldwaarnemingen en Bemonsteringsdata. De opgegeven bemonsteringsdatum kan van invloed zijn op
de geldigheid van de resultaten.

Sommatie van concentraties voor groepsparameters

De sommatie is uitgevoerd volgens AS3000 paragraaf 2.5.2 en bijlage 3.

Dit analyse-certificaat, inclusief voorblad en eventuele bijlage(n), mag niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

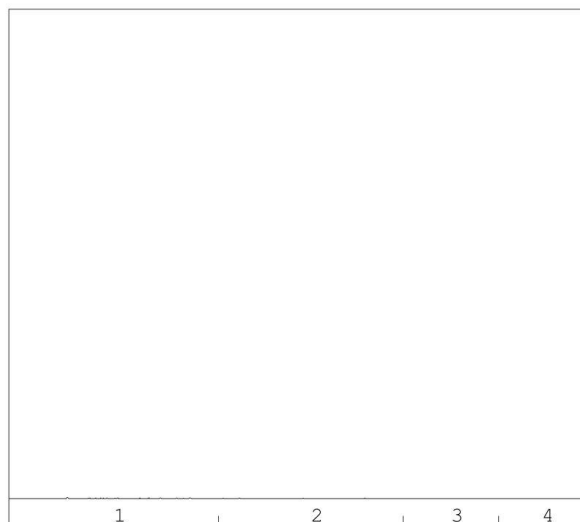
Opdrachtverificatiecode: XLHL-QRKR-UNTD-CUOU

Ref.: 1178320_certificaat_v1

OLIE-ONDERZOEK

Monstercode : 6704664
Uw project : OPB51669 Spannenburg vloeibaar waterijzer
omschrijving
Uw referentie : Spannenburg vloeibaar waterijzer
Methode : minerale olie (florisil clean-up)

OLIECHROMATOGRAM



minerale olie gehalte: <35 mg/kg ds

→
oliefractieverdeling

Minerale olie

Interpretatie: raadpleeg voor de typering van de oliesoort de OMEGAM oliebibliotheek.

De hoogte van de signalen is geen maat voor de concentratie van de olie in het monster.
(Het chromatogram heeft een variabele schaalindeling)

Bij een minerale olie gehalte kleiner dan de rapportagegrens worden geen oliefracties weergegeven.

Dit analyse-certificaat, inclusief voorblad en eventuele bijlage(n), mag niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

Opdrachtverificatiecode: XLHL-QRKR-UNTD-CUOU

Ref.: 1178320_certificaat_v1

ANALYSECERTIFICAAT

Projectcode	: 1178320
Uw project omschrijving	: OPB51669 Spannenburg vloeibaar waterijzer
Opdrachtgever	: Aqua Minerals B.V.

Houdbaarheid- & conserveringsopmerkingen

De onderstaande constatering(en) wijzen op een afwijking van het SIKB-protocol 3001 (Conserveringsmethoden en conserveringstermijnen van milieumonsters). Deze afwijking resulteert in de volgende voorgeschreven opmerking: *"Er zijn verschillen met de richtlijnen geconstateerd die de betrouwbaarheid van de gemarkeerde resultaten in dit analyserapport mogelijk hebben beïnvloed."* Deze bijlage vormt samen met andere bijlagen, tabellen en het voorblad, een integraal onderdeel van dit analyse-certificaat.

Uw referentie	: Spannenburg vloeibaar waterijzer
Monstercode	: 6704664

Opmerking(en) by analyse(s):

Extr. org. halogeen (EOX): Minerale olie (florisil clean-up): PAKs:	- De conserveringstermijn is overschreden omdat de opdracht/monster niet binnen de afgesproken termijn is ontvangen/aangeleverd. - De conserveringstermijn is overschreden omdat de opdracht/monster niet binnen de afgesproken termijn is ontvangen/aangeleverd. - De conserveringstermijn is overschreden omdat de opdracht/monster niet binnen de afgesproken termijn is ontvangen/aangeleverd.
---	--

Dit analyse-certificaat, inclusief voorblad en eventuele bijlage(n), mag niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

Opdrachtverificatiecode: XLHL-QRKR-UNTD-CUOU

Ref.: 1178320_certificaat_v1

ANALYSECERTIFICAAT

Projectcode	: 1178320
Uw project omschrijving	: OPB51669 Spannenburg vloeibaar waterijzer
Opdrachtgever	: Aqua Minerals B.V.

Analysemethoden in Slib

In dit analysecertificaat zijn de met 'Q' gemerkte analyses uitgevoerd volgens de onderstaande analysemethoden. De matrix slib is representatief voor slib en waterbodem. Deze analyses zijn vastgelegd in het geldende accreditatie-certificaat met bijbehorende verrichtingenlijst L086 van Eurofins Omegam BV.

Droge stof	: Eigen methode
Arseen (As)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Barium (Ba)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Cadmium (Cd)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Chroom (Cr)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
IJzer (Fe)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Kobalt (Co)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Koper (Cu)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Kwik (Hg) (niet vluchtig)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Lood (Pb)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Mangaan (Mn)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Molybdeen (Mo)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Nikkel (Ni)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Zink (Zn)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Minerale olie (florisil clean-up)	: Eigen methode
PAKs	: Eigen methode
Extr. org. halogeen (EOX)	: Eigen methode
CZV en organische stof	: Eigen methode

Dit analyse-certificaat, inclusief voorblad en eventuele bijlage(n), mag niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

Opdrachtverificatiecode: XLHL-QRKR-UNTD-CUOU

Ref.: 1178320_certificaat_v1

Locatie Sint Jans klooster



Aqua Minerals B.V.
T.a.v. mevrouw V. Calmer
Postbus 1072
3430BB NIEUWEGEIN

Uw kenmerk : OPB62426 Sint Jans klooster vloeibaar waterijzer
Ons kenmerk : Project 1330556
Validatieref. : 1330556_certificaat_v1
Opdrachtverificatiecode: NSVV-JKZH-KRZC-FSUR
Bijlage(n) : 2 tabel(len) + 1 oliechromatogram(men) + 2 bijlage(n)

Amsterdam, 14 april 2022

Hierbij zend ik u de resultaten van het laboratoriumonderzoek dat op uw verzoek is uitgevoerd in de door u aangeboden monsters.

De resultaten hebben uitsluitend betrekking op de monsters, zoals die door u voor analyse ter beschikking werden gesteld.

Het onderzoek is, met uitzondering van eventueel uitbesteed onderzoek, uitgevoerd door Eurofins Omegam volgens de methoden zoals ze zijn vastgelegd in het geldende accreditatie-certificaat L086 en/of in de bundel "Analysevoorschriften Eurofins Omegam". De in dit onderzoek uitgevoerde onderzoeksmethoden van de geaccrediteerde analyses zijn in een aparte bijlage als onderdeel van dit analyse-certificaat opgenomen. De methoden zijn, voor zover mogelijk, ontleend aan de accreditatieprogramma's/schema's en NEN- EN- en/of ISO-voorschriften.

Ik wijs u erop dat het analyse-certificaat alleen in zijn geheel mag worden gereproduceerd. Ik vertrouw erop uw opdracht volledig en naar tevredenheid te hebben uitgevoerd. Heeft u naar aanleiding van deze rapportage nog vragen, dan verzoek ik u contact op te nemen met onze klantenservice.

Hoogachtend,
namens Eurofins Omegam,

Ing. J. Tukker
Manager productie

Op dit certificaat zijn onze algemene voorwaarden van toepassing.
Dit analyse-certificaat mag niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

Eurofins Omegam B.V.
H.J.E. Wenckebachweg 120
NL-1114 AD Amsterdam-Duivendrecht
Nederland

T +31-(0)20-597 66 80
CSOmegam@eurofins.com
www.eurofins.nl

IBAN NL 16 BNPA 0227667980
BIC BNPNL2A
BTW nr. NL8139.67.132.B01
KvK nr. 34215654

ANALYSECERTIFICAAT

Projectcode : 1330556
Uw project omschrijving : OPB62426 Sint Jansklooster vloeibaar waterijzer
Opdrachtgever : Aqua Minerals B.V.

Uw Monsterreferenties
 7115563 = Sint Jansklooster vloeibaar waterijzer

Opgegeven bemonsteringsdatum : 25/03/2022
Ontvangstdatum opdracht : 24/03/2022
Startdatum : 25/03/2022
Monstercode : 7115563
Uw Matrix : Slib

Algemeen onderzoek - fysisch
 Q droge stof % (m/m) 9
Diverse parameters geotechnisch onderzoek:
 inerte bestanddelen % (m/m ds) 7,9

Anorganische parameters - metalen
 aluminium (Al) mg/kg ds 800
 Q arseen (As) mg/kg ds 110
 Q barium (Ba) mg/kg ds 730
 Q cadmium (Cd) mg/kg ds < 0,20
 calcium (Ca) mg/kg ds 57000
 Q chroom (Cr) mg/kg ds 21
 fosfor als P2O5 mg/kg ds 16000
 Q ijzer (Fe) mg/kg ds 340000
 Q kobalt (Co) mg/kg ds 3,8
 Q koper (Cu) mg/kg ds < 5,0
 Q kwik (Hg) (niet vluchtig) mg/kg ds < 0,05
 Q lood (Pb) mg/kg ds < 10
 magnesium (Mg) mg/kg ds 1700
 Q mangaan (Mn) mg/kg ds 2900
 Q molybdeen (Mo) mg/kg ds < 1,5
 Q nikkel (Ni) mg/kg ds 6
 Q zink (Zn) mg/kg ds < 20

Organische parameters - niet aromatisch
 Q minerale olie (florisil clean-up) mg/kg ds < 35

Organische parameters - aromatisch
Polycyclische koolwaterstoffen:
 Q naftaleen mg/kg ds < 0,15
 Q fenantreen mg/kg ds < 0,15
 Q anthraceen mg/kg ds < 0,15
 Q fluoranteen mg/kg ds < 0,15
 Q benzo(a)antraceen mg/kg ds < 0,15
 Q chryseen mg/kg ds < 0,15
 Q benzo(k)fluoranteen mg/kg ds < 0,15
 Q benzo(a)pyreen mg/kg ds < 0,15
 Q benzo(ghi)peryleen mg/kg ds < 0,15
 Q indeno(1,2,3-cd)pyreen mg/kg ds < 0,15
 som PAK (10) mg/kg ds 1,0

Organische parameters - gehalogeneerd
 Q extr. org. halogeen (EOX) mg/kg ds < 0,1

Organische parameters - overig
 Q chemisch zuurstofverbruik (CZV) g/kg ds 180
 org. koolstof g/kg ds 68
 Q organische stof % 12

Dit analyse-certificaat, inclusief voorblad en eventuele bijlage(n), mag niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.
 - De met een 'Q' gemerkte analyses zijn door RvA geaccrediteerd (registratienummer L086).
 Opdrachtverificatiecode: NSW-JKZH-KRZC-FSUR

Ref.: 1330556_certificaat_v1

ANALYSECERTIFICAAT

Projectcode	: 1330556
Uw project omschrijving	: OPB62426 Sint Jansklooster vloeibaar waterijzer
Opdrachtgever	: Aqua Minerals B.V.

Opmerkingen m.b.t. analyses

Opmerking(en) algemeen

De volgende informatie is indien van toepassing verstrekt door de opdrachtgever:
 Project omschrijving, Monsterreferentie(s), Opgegeven bemonsteringsdatum, Matrix, Monsterdiepte, Potnr (Barcode),
 Veldgegevens, Veldwaarnemingen en Bemonsteringsdata. De opgegeven bemonsteringsdatum kan van invloed zijn op
 de geldigheid van de resultaten.

Sommatie van concentraties voor groepsparameters

De sommatie is uitgevoerd volgens AS3000 paragraaf 2.5.2 en bijlage 3.

Dit analyse-certificaat, inclusief voorblad en eventuele bijlage(n), mag niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

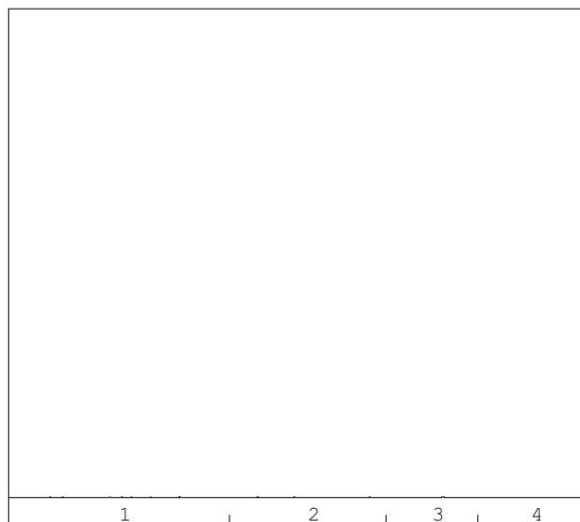
Opdrachtverificatiecode: NSW-JKZH-KRZC-FSUR

Ref.: 1330556_certificaat_v1

OLIE-ONDERZOEK

Monstercode : 7115563
Uw project : OPB62426 Sint Jans klooster vloeibaar waterijzer
omschrijving
Uw referentie : Sint Jans klooster vloeibaar waterijzer
Methode : minerale olie (florisil clean-up)

OLIECHROMATOGRAM



minerale olie gehalte: <35 mg/kg ds

→
oliefractieverdeling

Minerale olie

Interpretatie: raadpleeg voor de typering van de oliesoort de OMEGAM oliebibliotheek.

De hoogte van de signalen is geen maat voor de concentratie van de olie in het monster.
(Het chromatogram heeft een variabele schaalindeling)

Bij een minerale olie gehalte kleiner dan de rapportagegrens worden geen oliefracties weergegeven.

Dit analyse-certificaat, inclusief voorblad en eventuele bijlage(n), mag niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

Opdrachtverificatiecode: NSVJ-KZH-KRZC-FSUR

Ref.: 1330556_certificaat_v1

ANALYSECERTIFICAAT

Projectcode : 1330556
 Uw project omschrijving : OPB62426 Sint Jansklooster vloeibaar waterijzer
 Opdrachtgever : Aqua Minerals B.V.

Houdbaarheid- & conserveringsopmerkingen

De onderstaande constatering(en) wijzen op een afwijking van het SIKB-protocol 3001 (Conserveringsmethoden en conserveringstermijnen van milieu monsters). Deze afwijking resulteert in de volgende voorgeschreven opmerking: *"Er zijn verschillen met de richtlijnen geconstateerd die de betrouwbaarheid van de gemarkeerde resultaten in dit analyserapport mogelijk hebben beïnvloed."* Deze bijlage vormt samen met andere bijlagen, tabellen en het voorblad, een integraal onderdeel van dit analyse-certificaat.

Uw referentie : Sint Jansklooster vloeibaar waterijzer
 Monstercode : 7115563

Opmerking(en) by analyse(s):

Extr. org. halogeen (EOX): - De conserveringstermijn is overschreden door vertraging in de laboratorium afhandeling.
 Minerale olie (florisil clean-up): - De conserveringstermijn is overschreden door vertraging in de laboratorium afhandeling.

Dit analyse-certificaat, inclusief voorblad en eventuele bijlage(n), mag niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

Opdrachtverificatiecode: NSW-JKZH-KRZC-FSUR

Ref.: 1330556_certificaat_v1

ANALYSECERTIFICAAT

Projectcode	: 1330556
Uw project omschrijving	: OPB62426 Sint Jansklooster vloeibaar waterijzer
Opdrachtgever	: Aqua Minerals B.V.

Analysemethoden Slib

In dit analysecertificaat zijn de met 'Q' gemerkte analyses uitgevoerd volgens de onderstaande analysemethoden. De matrix slib is representatief voor slib en waterbodem. Deze analyses zijn vastgelegd in het geldende accreditatie-certificaat met bijbehorende verrichtingenlijst L086 van Eurofins Omegam BV.

Droge stof	: Eigen methode
Arseen (As)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Barium (Ba)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Cadmium (Cd)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Chroom (Cr)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
IJzer (Fe)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Kobalt (Co)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Koper (Cu)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Kwik (Hg) (niet vluchtig)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Lood (Pb)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Mangaan (Mn)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Molybdeen (Mo)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Nikkel (Ni)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Zink (Zn)	: Conform NEN-EN-ISO 17294-2 en destructie conform NEN-EN 13346
Minerale olie (florisil clean-up)	: Eigen methode
PAKs	: Eigen methode
Extr. org. halogeen (EOX)	: Eigen methode
CZV en organische stof	: Eigen methode

Dit analyse-certificaat, inclusief voorblad en eventuele bijlage(n), mag niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

Opdrachtverificatiecode: NSW-JKZH-KRZC-FSUR

Ref.: 1330556_certificaat_v1

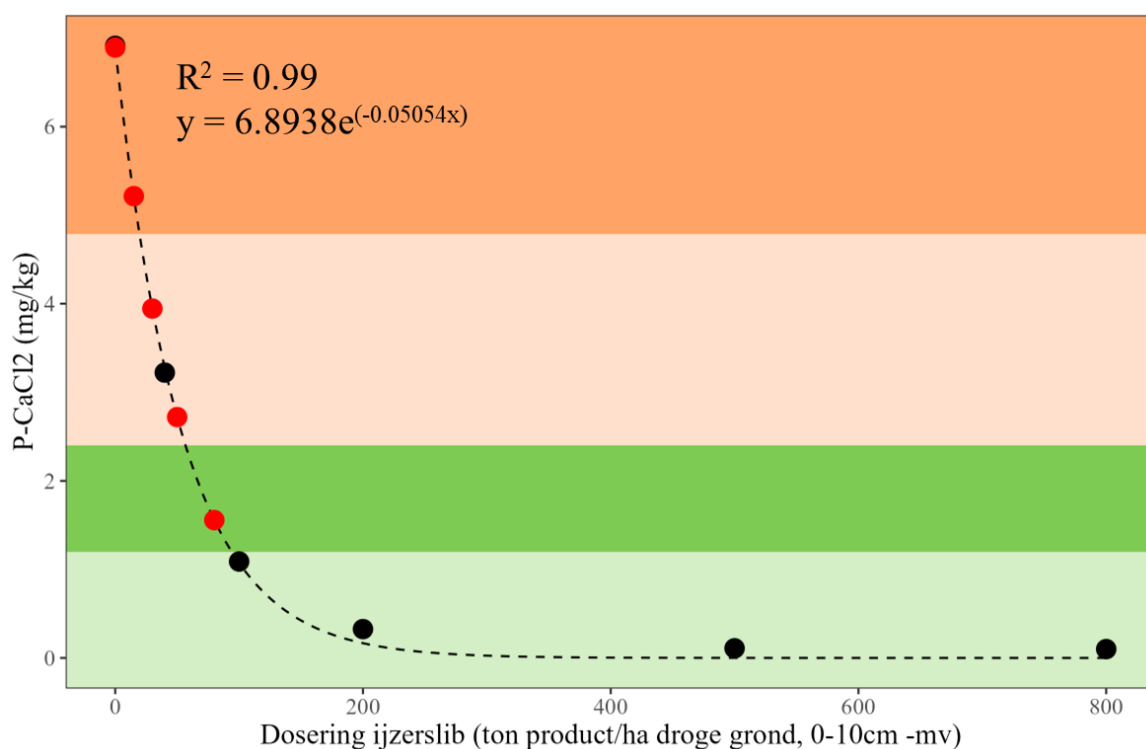
Bijlage III Grove incubatieproef

Om de dosering van ijzeroxideslib te bepalen is het nodig om een relatie te leggen tussen de dosering van ijzerslib en de daling in het direct beschikbare P gehalte in de bodem. De resultaten van Koopmans et al. (2020) geven een eerste uitgangspunt voor de bepaling van de dosering; hier is de relatie beschreven tussen de hoeveelheid toegediende oxiden en het direct beschikbare P gehalte in de bodem (rechts in Figuur 2.3). Uit deze proef blijkt dat het direct beschikbare P gehalte exponentieel afneemt met een dosering van ijzeroxideslib. Het direct beschikbare P gehalte is in de veldproef van Koopmans et al. (2020) echter in de uitgangssituatie al zeer laag (i.e. een P_{CaCl_2} gehalte van rond de 1 mg kg⁻¹). Het direct beschikbare P gehalte is in het huidig onderzoek veel hoger (tot 10.4 mg kg⁻¹, Tabel 4-2). Gezien de exponentiële relatie tussen de dosering ijzeroxideslib en het direct beschikbare P gehalte in de bodem is de verwachting dat de benodigde dosering van ijzeroxideslib lager ligt dan op basis van de resultaten in Koopmans et al. (2020) te verwachten valt. In de groffe incubatieproef is tot doel gesteld om te onderzoeken welke range van doseringen relevant is om nader te onderzoeken in een gedetailleerde incubatieproef.

De groffe incubatieproef is op dezelfde manier uitgevoerd als de gedetailleerde incubatieproef, met uitzondering van het volgende:

- De range aan doseringen was breder, i.e. doseringen van 0, 40, 100, 200, 500 en 800 ton product/hectare droge grond (0-10cm bodemlaag) zijn aangehouden. De hoogste dosering correspondeert met de dosering als berekend volgend de relatie tussen dosering en P_{CaCl_2} als geobserveerd in Koopmans et al., 2020. Als eerder beschreven is de verwachting dat de dosering van ijzeroxideslib sneller tot een daling in P_{CaCl_2} leidt dan op basis van de resultaten in Koopmans et al. (2020) te verwachten valt (door een hoger initieel P_{CaCl_2} gehalte op de percelen dan in de proef van Koopmans et al., 2020). Hierdoor is ervoor gekozen om een focus te leggen op het effect van lagere doseringen.
- De proef is in enkelvoud uitgevoerd (in plaats van triplo)
- De monsters zijn alleen geanalyseerd op anorganisch P (P_{CaCl_2} als gemeten met een discrete analyser) en pH_{CaCl_2} .

Het initieel P gehalte (P_{CaCl_2}) was 6.9 mg kg⁻¹ en liep exponentieel af met een toenemende dosering van ijzeroxideslib (tot beneden de detectielimiet, Figuur S3-1). In lijn der verwachting leidde een dosering van 800 ton product ha⁻¹ droge grond tot een veel sterkere daling in P_{CaCl_2} (beneden detectie) dan op basis van de resultaten van Koopmans et al. (2020) te verwachten viel. Om het initiële P-gehalte te verlagen tot 1.2-2.4 mg kg⁻¹ is, voor de grond die is meegenomen in de groffe incubatieproef, een dosering van maximaal 95 ton ijzerslib per hectare droge grond nodig. Op basis van de resultaten is ervoor gekozen om de relatie tussen doseringen in de lage range (0-80 ton product per hectare droge grond) en het P_{CaCl_2} gehalte in de bodem nader te onderzoeken voor de deelgebieden die in aanmerking komen voor de dosering van ijzeroxideslib. Doseringen van 0, 15, 30, 50 en 80 ton ijzeroxideslib per hectare droge grond zijn nader onderzocht in de gedetailleerde incubatieproef (rode stippen in Figuur S3-1).



Figuur S3-1 De dosering van ijzerslib uitgezet tegenover het direct beschikbare P gehalte in de bodem (P_{CaCl_2}) als geobserveerd in de groffe incubatieproef (zwarte stippen). De stippellijn correspondeert met een exponentiële regressielijn. Op basis van deze resultaten zijn doseringen geselecteerd die zijn gebruikt in de gedetailleerde incubatieproef (rode stippen). Lichtgroen: P_{CaCl_2} is beneden het einddoel van 1.2 mg kg^{-1} gemeten. Donkergroen: P_{CaCl_2} is tussen het einddoel van 1.2 mg kg^{-1} en het tussendoel van 2.4 mg kg^{-1} gemeten. Lichtoranje: P_{CaCl_2} is boven het tussendoel van 2.4 mg kg^{-1} en 4.8 mg kg^{-1} gemeten. Donkeroranje: P_{CaCl_2} is hoger dan tweemaal het tussendoel ($>4.8 \text{ mg kg}^{-1}$) gemeten.

Bijlage IV Analyseresultaten bodem

Tabel S4-1 Zuurgraad (pH_{CaCl_2}), organische stofgehalte (OS) en textuur (zand, klei-siltgehalten) van de bemonsterde bodemlagen

Locatie	Diepte (cm -mv)	pH_{CaCl_2}	OS (%)	Zand (%)	Klei (%)	Silt (%)
Perceel H6771						
L1	0-25	4.8	3.9	70.1	5	21.1
L1	25-A	4.7	3.5	61.3	6	29.4
L2	0-25	4.8	4	66.4	5.9	23.8
L2	25-A	4.9	4	71	4	21.1
L3	0-25	5.3	3.6	70.3	6.5	19.6
L3	25-A	5.3	3.3	67.3	7	22.6
L4	0-25	5.1				
L4	25-A	5.1	3.8	70.6	5.4	20.3
Perceel H5823						
L5	0-25	5.7	4	67.3	6.6	22.1
L5	25-A	5.7	3.4	71.3	4.3	21.2
L6	0-25	4.8	3.9	64.9	6	25.2
L6	25-A	4.8	3.9	61.4	6.3	28.4
L7	0-25	4.4	4.1	67	5.2	23.7
L7	25-A	4.4	4.2	65.3	4.5	26
Perceel H10624						
L8	0-25	4.7	3.6	64.6	6.7	25.1
L8	25-A	5	2.9	64.3	6.1	26.8
L9	0-25	4.2	4.1	68.4	5.4	22.1
L9	25-A	4.1	3.6	63.3	7.1	26.1
L10	0-25	4	4.3	65.2	6.3	24.2
L10	25-A	4	4.1	61.1	6.7	28.1
L11	0-25	4.2	4.6	59.5	7.3	28.6
L11	25-A	4.2	3.9	59.8	7.7	28.7
Perceel H6990						
L12	0-25	5.3	2.4	54	8.7	35
L12	25-A	5.5	2.1	70	6.5	21.7
L13	0-25	5.3	2.6	50.1	8.9	38.5
L14	0-25	5.3	3	49.9	9.8	37.4
L14	25-A	5.3	2.8	61.9	7.7	27.8

Tabel S4-2 Zuurgraad (pH_{CaCl_2}), organische stofgehalte (OS), klei-humuscomplex ofwel Cation Exchange Capacity (CEC), de bezetting van de CEC met basische kationen (Ca, Mg, K en Na) en aluminium (Al) en het direct beschikbare aluminiumgehalte (Al_{CaCl_2}) van de bemonsterde bodemlagen.

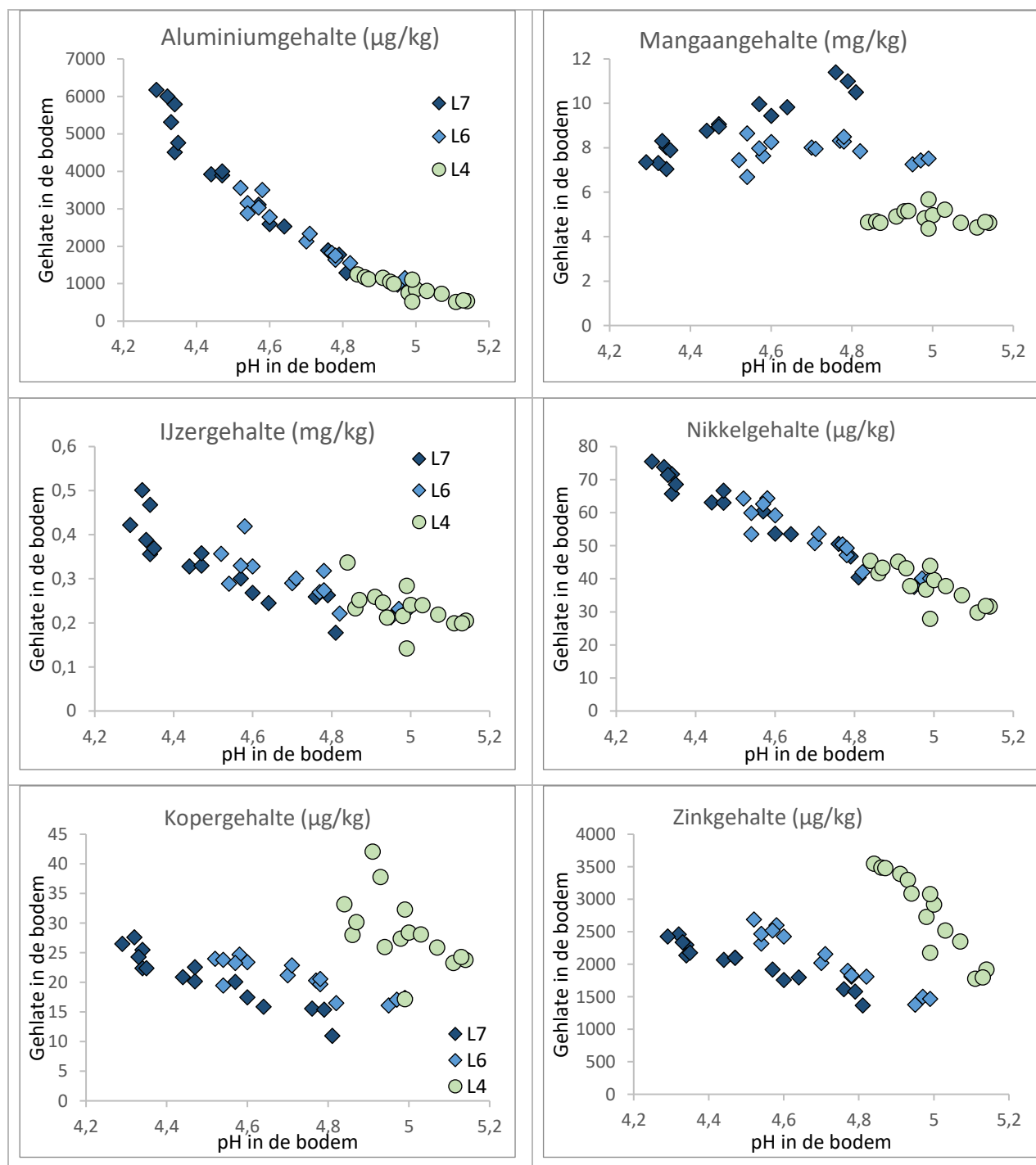
Locatie	Diepte (cm -mv)	pH_{CaCl_2}	OS (%)	CEC (mmol+ kg ⁻¹)	Basen-bez CEC (%)	Al-bez CEC (%)	Al_{CaCl_2} (mg kg ⁻¹)
Perceel H6771							
L1	0-25	4.8	3.9	79.2	32.9	4.5	4.6
L1	25-A	4.7	3.5	42.2	61.5	12.8	6.4
L2	0-25	4.8	4	54.6	68.6	1.5	1.6
L2	25-A	4.9	4	77.8	49.2	1.3	1.4
L3	0-25	5.3	3.6	76.2	59.3	0.4	0.7
L3	25-A	5.3	3.3	76.5	58.4	0.5	0.8
L4	0-25	5.1		66.2	64.5	0.5	0.7
L4	25-A	5.1	3.8	77.3	54.8	0.4	0.9
Perceel H5823							
L5	0-25	5.7	4	94.1	63.5	0	0.3
L5	25-A	5.7	3.4	91.8	60	0.1	0.4
L6	0-25	4.8	3.9	75	41.9	1.8	1.8
L6	25-A	4.8	3.9	72.4	43.2	3	2.3
L7	0-25	4.4	4.1	71.5	35.7	4	4
L7	25-A	4.4	4.2	98.4	29.6	6.6	5.5
Perceel H10624							
L8	0-25	4.7	3.6	76.5	39.9	3.3	3.9
L8	25-A	5	2.9	73.3	38.9	1.6	1.5
L9	0-25	4.2	4.1	55.3	31.6	12.7	13.5
L9	25-A	4.1	3.6	57.4	20.9	20.8	22.8
L10	0-25	4	4.3	53.7	30.7	15.8	16.2
L10	25-A	4	4.1	65.3	14	19.3	28.5
L11	0-25	4.2	4.6	52.9	39.6	13.9	12.3
L11	25-A	4.2	3.9	51.9	32	20.1	15.4
Perceel H6990							
L12	0-25	5.3	2.4	89.6	49.9	0.4	0.3
L12	25-A	5.5	2.1	101.4	41.5	0.2	0.2
L13	0-25	5.3	2.6	93.9	53.1	0.5	0.6
L14	0-25	5.3	3	133.1	35.2	0.4	0.6
L14	25-A	5.3	2.8	95.9	48.5	0.5	0.6

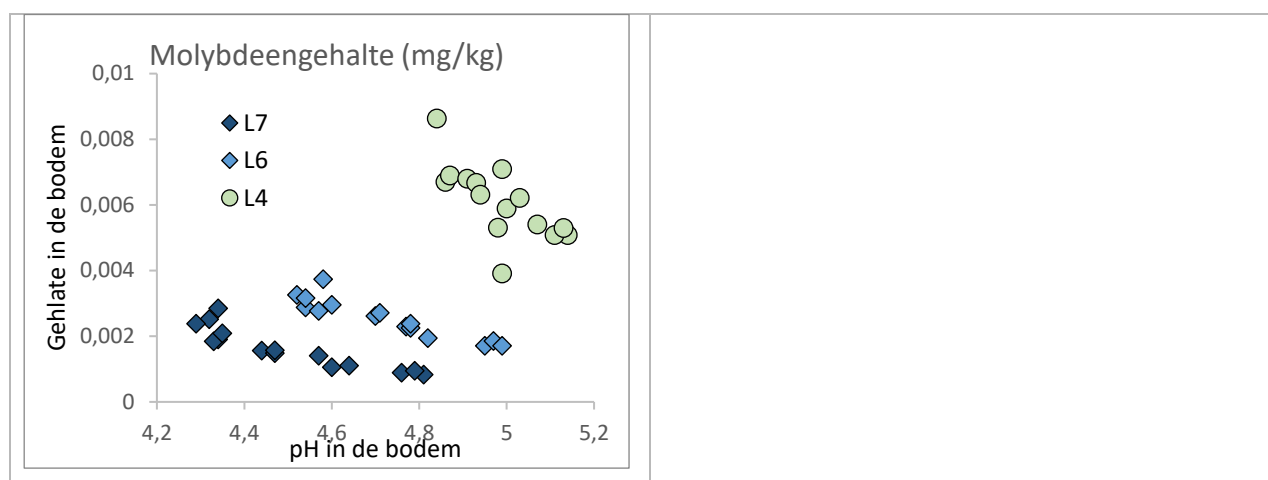
Tabel S4- 3 Gehalten aan amorf ijzer- en aluminium-(hydr)oxiden (Fe_{OX} , Al_{OX}), totaal reversibel gebonden P (P_{OX}), reversibel, matig sterk gebonden P wat de P concentratie in bodemoplossing buffert (P_{AL}) en direct beschikbaar P (P_{CaCl_2}) van de bemonsterde bodemlagen.

Locatie	Diepte (cm - mv)	Fe_{OX} (mmol kg^{-1})	Al_{OX} (mmol kg^{-1})	P_{OX} (mmol kg^{-1})	P_{AL} (mg P_2O_5 $100g^{-1}$)	P_{CaCl_2} (mg kg^{-1})
Perceel H6771						
L1	0-25	27.2	33.8	12.9	34.9	0.4
L1	25-A	23.4	34.3	6.8	16.6	0.1
L2	0-25	25.8	30.9	24.9	78.4	8.6
L2	25-A	23	31.7	17.7	67.5	4.6
L3	0-25	25.4	30	16.5	61.7	1.6
L3	25-A	21.5	30.6	10.8	37.3	0.4
L4	0-25	25.1	29.9	26	90.3	10.3
L4	25-A	24.8	29.6	17.9	66.8	4.7
Perceel H5823						
L5	0-25	29.2	43.1	21.4	73.9	0.7
L5	25-A	23	41.3	12.8	48.1	0.2
L6	0-25	31.4	32.1	23.9	81.4	3.6
L6	25-A	34.2	32.7	16.8	53.4	0.6
L7	0-25	30.7	32.1	23.9	68.7	5
L7	25-A	36.7	32.9	15.7	43.8	1.1
Perceel H10624						
L8	0-25	37.1	30.5	21.5	68.9	1
L8	25-A	36.6	29.7	17.8	72.5	0.3
L9	0-25	36.5	30.1	19.2	60.7	1.3
L9	25-A	42.3	32.9	11.7	23.6	0.1
L10	0-25	37.7	29.9	19.6	57.6	1.8
L10	25-A	40.5	30.2	11.5	23.2	0.2
L11	0-25	36.2	29.1	17.7	56	1
L11	25-A	38.4	29.6	11.2	25.2	0.1
Perceel H6990						
L12	0-25	51	23.4	16.7	58.1	0.7
L12	25-A	44	19.8	12.5	43.5	0.4
L13	0-25	53	28.9	16.4	49.1	0.5
L14	0-25	49.3	28	15.8	47.2	0.6
L14	25-A	51.1	29.6	14.8	43	0.4

Bijlage V IJzeroxideslib en beschikbaarheid metalen

Onderstaande figuren laten de relatie zien tussen beschikbare gehalten van metalen in de bodem in relatie tot pH van de bodem in de doseringsproef voor de deelgebieden L4, L6 en L7 waar het ijzeroxideslib zal worden toegepast.







Nutriënten Management Instituut BV
Nieuwe Kanaal 7c
6709 PA Wageningen

tel: (06) 29 03 71 03
e-mail: nmi@nmi-agro.nl
website: www.nmi-agro.nl