



ALTERRA

WAGENINGEN UR



Meten van nutriëntenemissies met Sorbicellen op de Rusthoeve

Alterra-rapport 2402
ISSN 1566-7197

Joop Harmsen en Jan van Kleef

Meten van nutriëntenemissies met Sorbicellen op de Rusthoeve

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het RIVM. Het project is vanuit het RIVM begeleid door Sakia Lukács en Eke Buis.

Dit onderzoek is gelijktijdig uitgevoerd met een praktijkproef naar peilgestuurde drainage op de Rusthoeve onder leiding van de Grontmij en met medewerking van Alterra en PPO in opdracht van de provincie Zeeland. De praktijkproef werd begeleid door de provincie Zeeland, Waterschap Scheldestromen, ZLTO en de Rusthoeve. Voor dit onderzoek kon optimaal gebruik worden gemaakt van bestaande faciliteiten en ook de meetresultaten van deze parallelle praktijkproef. Zonder deze samenwerking was dit onderzoek niet mogelijk geweest.

Project nummer Alterra 5238715

Meten van nutriëntenemissies met Sorbicellen op de Rusthoeve

Joop Harmsen en Jan van Kleef

Alterra-rapport 2402

Alterra Wageningen UR
Wageningen, 2013

Referaat

J. Harmsen en J. van Kleef, 2013. *Het meten van nutriëntenemissies met Sorbicellen op de Rusthoeve*. Wageningen, Alterra, Alterra-Rapport 2402, 34 blz.; 10 fig.; 6 tab.; 7 ref.

Aansluitend aan een onderzoek naar de effecten van diepe drainage op de Rusthoeve is nagegaan welke mogelijkheden er zijn van het gebruik van Sorbicellen voor het monitoren van de emissie van nutriënten naar het oppervlaktewater. De gebruikte cellen waren geschikt voor het lokale water met hoge concentraties sulfaat en calcium. De cellen waren geïnstalleerd aan het einde van verzameldrains, met de intentie om zowel debiet- als tijd-proportioneel te bemonsteren. Het ijzer(III)oxide dat ontstaat in water afkomstig van diepe drains werkt storend op de bemonstering. De met de cellen te bemonsteren tijdsperiode in de gebruikte opstelling was tekort om met een beperkt aantal cellen de totale emissie te bemonsteren. Alternatieven worden onderzocht in het SKB-project DiVeLOp.

Trefwoorden: Voeg hier trefwoorden in. Emissie nutriënten, drainage, Sorbicell.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.rapportbestellen.nl.

© 2013 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; info.alterra@wur.nl

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

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

Alterra-rapport 2402

Wageningen, februari 2013

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Meten van emissies van nutriënten uit de landbouw	9
1.2 Sorbicell	10
1.3 Toepassing van Sorbicellen op de Rusthoeve	11
2 Resultaten en discussie	13
2.1 Ontwikkeling van de toegepaste Sorbicell.	13
2.2 Toepassing van de Sorbicellen op de Rusthoeve	16
2.2.1 Installatie van de cellen	16
2.2.2 Afvoer van drainagewater en nitraat op de Rusthoeve	18
2.2.3 Resultaten met Sorbicellen, meetseizoen 2010-2011	21
2.3 Evaluatie meetseizoen 2010-2011	23
2.3.1 Resultaten met Sorbicellen, meetseizoen 2011-2012	24
3 Mogelijke rol van Sorbicellen bij het meten in drainafvoeren	25
3.1 Meten op de Rusthoeve	25
3.1.1 Perioden van afvoer	25
3.1.2 Variatie in nutriënten gehalte	25
3.1.3 Functioneren van de cel	26
3.1.4 Kosten	26
3.2 Meten op andere locaties	27
4 Conclusies	29
5 Referenties	31
Bijlage 1	33

Samenvatting

In Nederland wordt veel aandacht besteed aan de emissie van de landbouw naar oppervlaktewater en naar grondwater. Doel is deze emissie zo veel mogelijk te verminderen, zodat ook kan worden voldaan aan de criteria die worden opgelegd door de Europese Kaderrichtlijn Water. Kwantificeren van de emissie is een essentieel onderdeel om de noodzaak tot maatregelen en het effect van eventuele maatregelen te kunnen inschatten. Kwantificeren is echter tijdrovend en ook duur omdat de nutriëntenconcentraties in drainage variëren per plek en in de tijd. Sorbicellen zijn ontwikkeld om gedurende een langere periode te worden gebruikt en daardoor een tijdgemiddelde te geven van de concentraties van nutriënten. Wanneer dit tijdgemiddelde gerelateerd kan worden aan het debiet, kunnen emissies bepaald worden.

In opdracht van het RIVM is de bruikbaarheid van Sorbicellen getest op de proeflocatie Rusthoeve. Op deze locatie loopt een onderzoek onder leiding van de Grontmij en in samenwerking met Alterra en PPO naar peilgestuurde drainage. Hierbij worden nutriënten gemeten via steekmonsters en een continue meting met elektroden. Hiernaast worden de debieten van de drains gemeten. Er kon gebruik worden gemaakt van de ingerichte meetputten voor installatie van de Sorbicellen en van de meetresultaten van het peilgestuurde drainage project. De cellen waren geïnstalleerd aan het einde van verzamel drains, met de intentie om zowel debiet- als tijd proportioneel te bemonsteren.

Omdat het water in Zeeland veel sulfaat en calcium bevat was het noodzakelijk de cellen aan te passen. Dit was mogelijk en met de in dit rapport vermelde procedure konden de geadsorbeerde nutriënten weer vrij worden gemaakt voor de opvolgende meting.

Toepassing van de Sorbicellen in het meetsysteem op de Rusthoeve bleek echter tegen te vallen. De doorstroming was groot en de cellen zouden al na negen dagen moeten worden verwisseld. Dit zou de meting kostbaar maken. Oprekken van de meetperiode tot ca. achttien dagen is mogelijk, maar dan zou nog vijf maal per seizoen de cellen moeten worden verwisseld. De variatie in gehalten gemeten met de elektroden is niet zo groot en vijf steekmonsters zouden dan goedkoper een goede schatting kunnen geven.

De doorstroming in een deel van de Sorbicellen is klein. De oorzaak van de langzame doorstroming kon niet worden gevonden. In deze cellen is een deel van het geadsorbeerde nitraat via diffusie in de cel gekomen en zal zorgen voor een overschatting van het nitraatgehalte. Om dit te voorkomen is het beter cellen in duplo in te zetten, zodat altijd een cel met voldoende doorstroming kan worden gebruikt.

Bij diepe drainage ontstaat aan het einde van de drain ijzer(III)oxide. Dit zorgt voor een neerslag en een onvoorspelbare extra weerstand boven op de cel. Het maakt de bemonstering voor fosfaat met de Sorbicellen onmogelijk, omdat het adsorbeert aan het ijzer(III)oxide. Dit alles beperkt de inzetbaarheid van Sorbicellen in drainage tot situatie waar geen ijzer(III)oxide ontstaat.

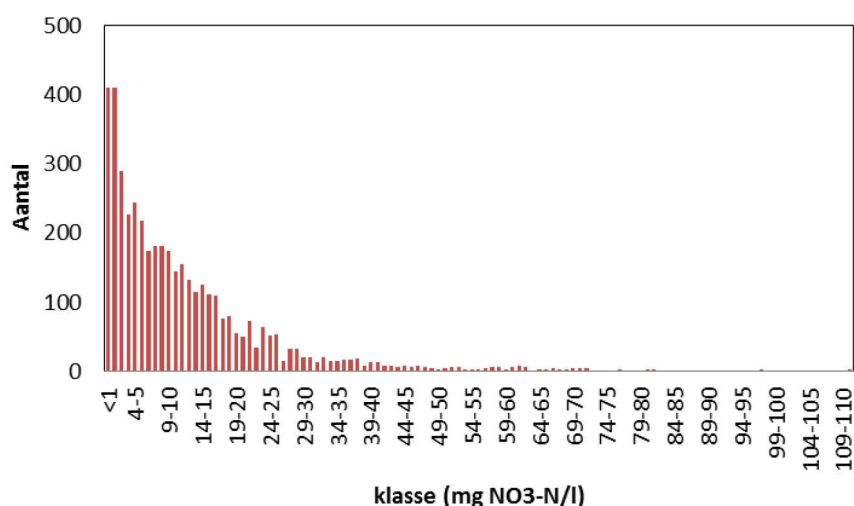
Voor de beoogde toepassing zou het mogelijk moeten zijn de nutriëntenvrucht in een afvoer seizoen met één, maximaal twee Sorbicellen te meten. Dit vereist een aanpassing van de cel en hoogst waarschijnlijk ook een aanpassing van de bemonstering. In het project DiVeLOp worden de mogelijkheden hiervoor momenteel onderzocht.

1 Inleiding

1.1 Meten van emissies van nutriënten uit de landbouw

In Nederland wordt veel aandacht besteed aan de emissie van de landbouw naar oppervlaktewater en naar grondwater. Doel is deze emissie zo veel mogelijk te verminderen, zodat ook kan worden voldaan aan de criteria die worden opgelegd door de Europese Kaderrichtlijn Water. Kwantificeren van de emissie is een essentieel onderdeel om de noodzaak tot maatregelen en het effect van eventuele maatregelen te kunnen inschatten.

Het RIVM verricht binnen het Landelijke Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) veel losse waterkwaliteitsmetingen aan draineffluent op agrarische percelen om op landelijke schaal de effecten van het mestbeleid op de waterkwaliteit vast te stellen. Deze metingen zijn gericht op het meten van concentraties. Hiervoor worden steekmonsters genomen die vervolgens in het laboratorium worden geanalyseerd. De nitraatconcentraties die worden gemeten in het meetnet van het RIVM variëren sterk. Figuur 1 geeft een frequentieverdeling van drainwatermonsters uit Zeeland (n = 4328). De gemeten gehalten variëren van circa nul in een groot aantal monsters tot 100 mg NO₃-N/l in een enkel monster. De 90 percentielwaarde is 25 mg NO₃-N/l. Opvallend zijn het grote aantal waarnemingen met lage concentraties, dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door mogelijke zuurstofarme condities in de Zeeuwse klei, waardoor nitraat wordt gedenitrificeerd. Hierdoor bevindt het maximum van de verdeling zich bij <1 in plaats van bij een hogere waarde.



Figuur 1

Frequentieverdeling van nitraatgehalten in drainage water in Zeeland (Herkomst data RIVM).

De variatie in de gehalten wordt bepaald door de ruimtelijke variabiliteit en de veranderlijkheid in de loop van een jaar. De mate van veranderlijkheid is meestal onbekend. Gemeten concentraties bepaald aan de hand van enkele steekmonsters leveren zeker op het niveau van individuele landbouwbedrijven geen betrouwbare informatie om de daadwerkelijke emissie (vracht) te bepalen.

In onderzoeksprojecten wordt dit ondervangen door:

- Regelmatig in de loop van het onderzoeksproject een watermonster te nemen.
- De bemonstering te laten sturen door apparatuur waarmee het mogelijk is een tijd proportioneel of debiet proportioneel watermonster te nemen.
- Ion selectieve elektroden in het veld te installeren, waarmee continue de concentratie kan worden gemeten.

Al deze methoden zijn kostbaar en daardoor niet toepasbaar voor het meten van emissies op grote schaal. Het RIVM is geïnteresseerd in eenvoudige systemen voor het vastleggen van nitraatmissies. De doelstelling van de RIVM-opdracht is te komen tot een debiet proportionele manier van bemonstering van drainagewater, om zo vruchten nitraat afkomstig van individuele bedrijven, te kunnen bepalen. Een kandidaat hiervoor is de Sorbicell, een systeem waarmee de gemiddelde samenstelling van een passerende waterstroom kan worden gemeten. De Sorbicell is een doorstroomcel waarmee zowel de hoeveelheid nitraat die door de cel stroomt als de hoeveelheid water die door de cel stroomt, kunnen worden gemeten. Hierdoor is het in principe mogelijk, afhankelijk van de manier van montage, tijd- of debiet proportioneel te bemonsteren.

Om het functioneren van Sorbicellen te kunnen toetsen, moeten resultaten hiervan worden vergeleken met zowel tijdgebonden als debiet proportionele gegevens van de afvoer (nitraatgehalten en debieten). Dit vergt een zeer uitgebreid onderzoek en er is daarom nagegaan of kon worden aangesloten bij een onderzoeksproject, waarbij al wordt gemeten aan de emissie van nitraat en afgevoerde hoeveelheden water worden gekwantificeerd.

Grontmij, Alterra en Praktijkonderzoek Plant en Omgeving zijn in opdracht van de provincie Zeeland gestart met een onderzoek naar de effecten van peilgestuurde samengestelde diepdrainage op zeekelegronden. De kern van het onderzoek is een omvangrijk veldexperiment op de Rusthoeve, een akkerbouwbedrijf dat representatief is voor de zeekelegronden in Zeeland. De doelen van het Rusthoeveproject zijn:

- Het kwantificeren van de effecten van peilgestuurde samengestelde diepdrainage op waterafvoer en af- en uitspoeling van nutriënten, met name stikstof.
- Het kwantificeren van de agronomische voor- en nadelen van het systeem (waaronder gewasopbrengst en bewerkbaarheid en technische werking van het systeem).

Om te kunnen kwantificeren wordt er uitgebreid gemonitord en zijn er opstellingen gemaakt om de afvoer zowel in de tijd als debiet proportioneel te kunnen monitoren. De doelstellingen van de meetopstelling sluiten aan bij de projectdoelen en is gericht op het opstellen van een sluitende water- en stofbalans voor stikstof en fosfaat. De opstelling kon geschikt worden gemaakt voor het gebruik van Sorbicellen en voor het testen van de Sorbicellen kon gebruik worden gemaakt van de gegevens verzameld in het Rusthoeveproject. Dit zijn de afvoer van hoeveelheden drainagewater, wekelijkse bemonstering en analyse van het afgevoerde water en continue meting van het nitraatgehalte met een ionselectieve elektrode.

Uitgangspunt bij het onderzoek was dat gedurende een afvoerseizoen de vrucht uit de drain bepaald zou kunnen worden met één, maximaal twee Sorbicellen.

1.2 Sorbicell

De Sorbicell is ontworpen om tijdgemiddelde concentraties te kunnen meten. Het is een ontwerp van het Deense bedrijf SorbiSense (De Jonge en Rothenberg, 2005). Hiertoe stroomt er water van de te meten locatie door de cel. Het nitraat in het water wordt geadsorbeerd in de cel en kan later worden gemeten. De hoeveelheid water die door de cel stroomt wordt vastgelegd met een zogenaamd spoorzout. Dit zout zit in de cel en lost langzaam op in het water dat door de cel stroomt. Na gebruik wordt gemeten hoeveel spoorzout is

overgebleven. De hoeveelheid opgelost en verdwenen is een maat voor het doorgestroomde volume water. Samen met de gemeten hoeveelheid nitraat geeft dit de gemiddelde nitraatconcentratie van het water dat door de cel is gestroomd. Afhankelijk van de manier waarop de cel is geïnstalleerd, is dit een gemiddelde concentratie in de tijd of een gemiddelde concentratie van de hoeveelheid water die op de plek van bemonstering is gepasseerd.

De Sorbicell is toegepast binnen het project DYNAQUAL voor het meten van tijdgemiddelde concentraties van draineffluent. Door de Sorbicell-metingen te vergelijken met continue metingen en steekmonstermetingen is vastgesteld dat met tijdgemiddelde metingen betere vrachtschattingen mogelijk zijn dan met steekmonsters (Rozemeijer et al., 2010). De Sorbicellen zijn getest in het stroomgebied van de Hupselse beek. De NO_3^- concentratiemetingen met Sorbicellen (één meting per maand) zijn binnen dit project vergeleken met wekelijkse steekmonsters en met continue metingen. Ervaring met de Sorbicellen is opgedaan in het peilgestuurde drainageproject op de locatie Ospel (Stuyt et al., 2009). Er zijn ook Sorbicellen die geschikt zijn voor het monitoren van bestrijdingsmiddelen (Adielsson en Kreuger, 2011).

1.3 Toepassing van Sorbicellen op de Rusthoeve

In het onderzoek is als eerste nagegaan hoe de door Sorbisense aangepaste Sorbicellen konden worden gebruikt onder de te verwachten condities in Zeeland. Dit is gevolgd door toepassing van de cellen onder praktijkomstandigheden op de Rusthoeve. Hierbij is gebruik gemaakt van de continue metingen van het Rusthoeve-project onder leiding van de Grontmij.

Gedurende de looptijd van het onderzoek is in SKB-kader een breder onderzoek naar de toepassing van Sorbicellen opgestart in het project DiVeLOp¹. Dit project wordt geleid door Deltares en RIVM en Alterra zijn er bij betrokken. De resultaten van dit onderzoek zijn direct gecommuniceerd met het SKB-onderzoek en ook hierbij toegepast. Het laatste deel van dit onderzoek liep parallel aan het SKB-onderzoek.

¹ DiVeLOp, is een project van SKB naar de **D**irecte metingen van **V**erontreinigingsvrachten vanuit **L**andbouwpercelen en kassen naar het **O**ppervlaktewater.

2 Resultaten en discussie

2.1 Ontwikkeling van de toegepaste Sorbicell.

In het DYNAQUAL-onderzoek was het nodig de Sorbicellen te optimaliseren voor de Nederlandse veldomstandigheden. De veldomstandigheden op de Rusthoeve wijken sterk af van die bij de Hupselsebeek. Het water bevat duidelijk meer sulfaat en calcium. Nitraat wordt in de cel vastgehouden met een ionenwisselaar en sulfaat is dan een grote concurrent en van invloed op de capaciteit van de cel. Het calciumgehalte is van invloed op de oplosbaarheid van het spoorzout calciumcitraat. Van Leeuwen (2010) stelde vast dat bij de watersamenstelling die te verwachten is op de Rusthoeve, slechts 40% van de capaciteit van de cellen kon worden gebruikt.

Sorbisense heeft om deze redenen een cel ontwikkeld met een groter volume (15 ml) en dus ook grotere capaciteit en ook met de mogelijkheid calcium te adsorberen, waardoor het te bemonsteren water geen invloed meer had op de oplosbaarheid van het spoorzout (figuur 2). In een vooronderzoek is nagegaan wat de eigenschappen van deze cellen zijn.



Figuur 2
Sorbicell gebruikt op de Rusthoeve.

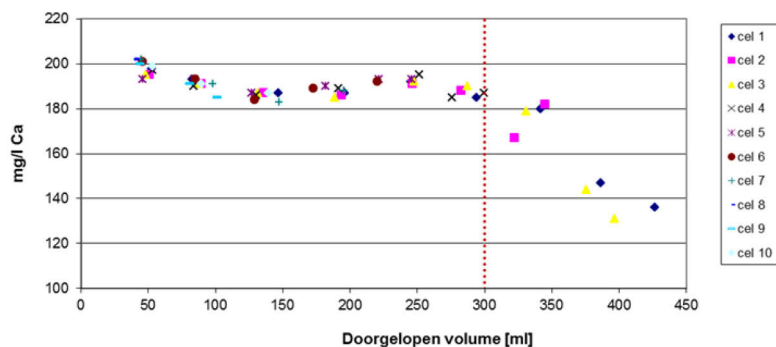
Capaciteit en spoorzout.

Het spoorzout is een calciumzout dat langzaam oplost. Het calcium in het te bemonsteren water moet voordat het spoorzout wordt bereikt volledig zijn verdwenen. De cel bevat daarom ook een wisselaar die calcium adsorbeert. De hoeveelheid spoorzout bepaalt de capaciteit van de cel. In een experiment met doorleiden van de op de Rusthoeve te verwachten calciumconcentratie (tabel 1) is de capaciteit vastgesteld.

Tabel 1*Samenstelling water gebruikt bij testen van de Sorbicell.*

Component	Concentratie (mg/l)
NH ₄ -N	1
NO ₃ -N	10
PO ₄ -P	0,3
SO ₄	461
Cl	813
Ca	430
Na	254
K	25,4

De resultaten van dit doorleid-experiment zijn weergegeven in figuur 2. Het calcium-gehalte is constant tot 300 ml. Na 300 ml daalt het calcium-gehalte en raakt het spoorzout op. Het constant blijven geeft aan dat gedurende de eerste 300 ml er geen doorbraak is van calcium uit het te bemonsteren water en het calcium in dit water volledig is geadsorbeerd in de cel (Van Leeuwen, 2011).

**Figuur 3***Calciumconcentratie gemeten in het door de Sorbicell geëluëerde water.*

Effectiviteit van vastlegging nutriënten en opvolgende elutie

In eerste instantie is er van uitgegaan dat de geadsorbeerde nutriënten het beste geëluëerd konden worden met een sterk eluens. Hiervoor is het tweewaardige sulfaat gebruikt. Dit gaf voor nitraat minder goede resultaten en voor fosfaat variabele resultaten (tabel 2). Groot minpunt van sulfaat was de vorming van een neerslag. Het gebruik van Na⁺ en H⁺ maakte het geadsorbeerde Ca²⁺ vrij en door de hoge sulfaatconcentratie ontstond er een neerslag van calciumsulfaat. Dit heeft vermoedelijk de recovery van nitraat verminderd (door neerslagvorming was er minder sulfaat in het eluens). Nitraat heeft geen interactie met dit neerslag, maar voor fosfaat is dit wel mogelijk. Het neerslag had echter ook invloed op de handelbaarheid van de verkregen oplossing.

Tabel 2*Recovery van belading per extract. Extractie met K₂SO₄ en KCl.*

Extractie met	0.5M K ₂ SO ₄	0.5M K ₂ SO ₄	1 M KCl	0.5M K ₂ SO ₄	1 M KCl	0.5M K ₂ SO ₄	1 M KCl	0.5M K ₂ SO ₄	1 M KCl	0.5M K ₂ SO ₄
ml belading	436	350	400	300	250	225	200	50	100	150
recovery NO₃-N										
1e-extractie	28%	27%	59%	27%	58%	25%	59%	22%	60%	28%
2e-extractie	20%	20%	24%	21%	25%	20%	25%	19%	24%	21%
3e-extractie			9%		9%		8%		8%	
4e-extractie			3%		3%		3%		3%	
Totaal			95%		95%		95%		95%	
recovery PO₄-P										
1e-extractie	33%	48%	48%	70%	8%	66%	60%	75%	86%	78%
2e-extractie	20%	32%	24%	14%	6%	23%	11%	28%	13%	18%
3e-extractie			6%		2%		16%		2%	
4e-extractie			3%		1%		3%		1%	
Totaal			82%		17%		90%		102%	
recovery NH₄-N										
1e-extractie	50%	46%	46%	48%	52%	47%	57%	82%	43%	46%
2e-extractie	15%	16%	11%	19%	4%	17%	5%	32%	15%	24%
3e-extractie			2%		1%		0%		3%	
4e-extractie			0%		0%		-1%		-1%	
Totaal			59%		57%		61%		60%	

Door de slechte resultaten met K₂SO₄ is gekozen voor het gebruik van een combinatie van HCl en NaCl. Het zuur is gebruikt om fosfaat makkelijker los te maken. Bij een lage pH is fosfaat merendeels aanwezig als éénwaardig ion, terwijl de waardigheid toeneemt bij hogere pH. Meerwaardige ionen worden sterker geadsorbeerd en elueren dus slechter. De resultaten met deze elutiemethode zijn weergegeven in tabel 3.

Van elke belading is ook de eventuele doorslag gemeten. Alle gemeten fracties bevatten geen NO₃, PO₄ en NH₄, behalve de laatste 50 ml van de cartridge waar 436 ml door was geleid. Hierin werd NH₄ aangetoond. Geconcludeerd werd dat de adsorptiecapaciteit ruim voldoende was, omdat de eigenlijke capaciteit wordt bepaald door het spoorzout.

Bij de desorptie van in het veld gebruikte patronen is er voor gekozen een drietraps-extractie toe te passen met 0.2M HCl + 0.8M KCl om er zeker van te zijn dat een optimale recovery werd verkregen. Dit kan hoogst waarschijnlijk worden vervangen door een ééntraps met bijvoorbeeld 200 ml, maar hier is meer onderzoek voor nodig, uit te voeren als de cellen bruikbaar zijn voor de beoogde toepassing.

Tabel 3

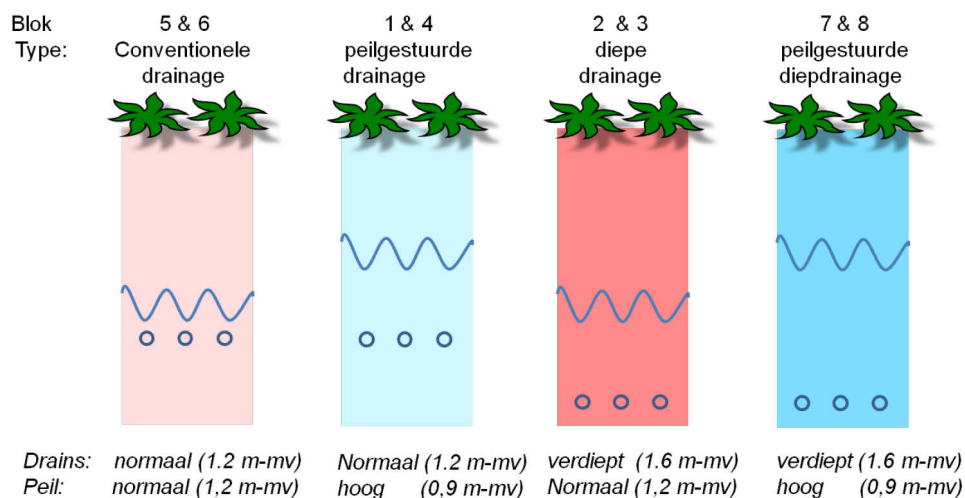
Recovery van belading per extract. Extractie met 0.2M HCl + 0.8M KCl (50 ml per extractiestap).

MI belading	150	200	250	300
Recovery NO₃-N				
1e-extractie	60%	59%	51%	62%
2e-extractie	26%	26%	22%	26%
3e-extractie	9%	9%	8%	9%
Totaal	95%	93%	81%	96%
Recovery PO₄-P				
1e-extractie	88%	82%	71%	81%
2e-extractie	12%	11%	10%	12%
3e-extractie	2%	1%	1%	2%
Totaal	100%	93%	82%	92%
Recovery NH₄-N				
1e-extractie	50%	49%	41%	49%
2e-extractie	21%	19%	15%	17%
3e-extractie	8%	4%	3%	3%
Totaal	71%	67%	60%	65%

2.2 Toepassing van de Sorbicellen op de Rusthoeve

2.2.1 Installatie van de cellen

Het onderzoek op de Rusthoeve is gericht op de effecten van drainage. Er worden in het onderzoek vier situaties onderscheiden die elk in tweevoud zijn aangelegd. Figuur 4 geeft de verschillende situaties weer en de nummers zijn ook de nummers die gebruikt worden voor de regelputten waarin de metingen zijn uitgevoerd.

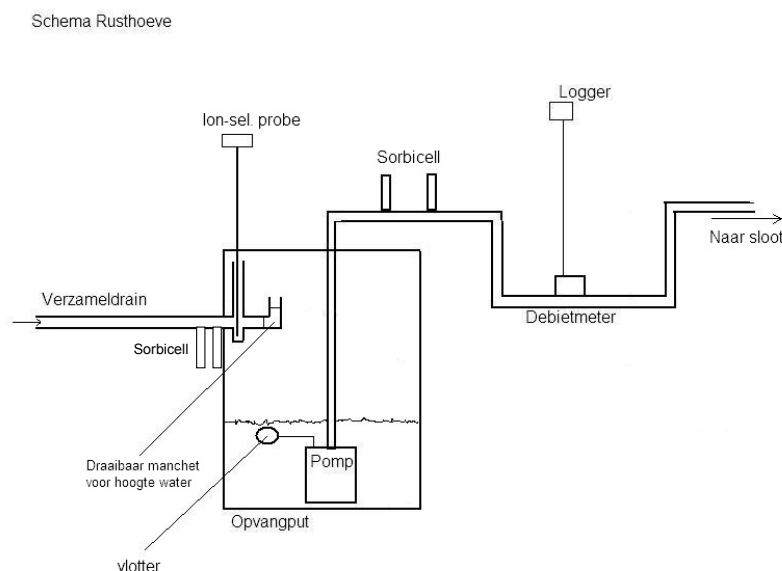
**Figuur 4**

Typen drainages aangelegd op de Rusthoeve (bron: Schipper en Van der Schans, 2012).

In de regelputten bij de bloktypen 1-4 van de Rusthoeve zijn in de leidingen mogelijkheden gemaakt om Sorbicellen te installeren. De Sorbicellen zijn toegepast met de opzet om zowel tijd- als debiet- proportioneel te kunnen bemonsteren. In figuur 5 is de opstelling schematisch weergegeven.

Tijd proportioneel. De cellen voor de tijd-proportionele bemonstering zijn geïnstalleerd aan het einde van de verzameldrain voor de ion selectieve elektroden. In dit deel van het systeem staat in het afvoerseizoen altijd water.² Er zal continu water door de cel stromen en het gemeten gehalte kan worden beschouwd als het tijdgewogen gemiddelde. Voorwaarde hierbij is dat de weerstand van de cel constant blijft. Dit laatste wordt onderzocht in het project DiVeLOp. In deze constructie hangen de cellen loodrecht naar beneden.

Debiet proportioneel. De afvoerleiding naar de sloot bevat alleen water als de pomp loopt. De cellen die in deze leiding zitten kunnen daarom debiet-proportioneel bemonsteren. Ze bemonsteren alleen maar als de pomp draait. Een probleem bij deze wijze van installeren was het zogenaamde dode volume. Boven de cel was een volume van enkele milliliters, die met elke keer afslaan van de pomp extra zou worden bemonsterd, waardoor in perioden van grote afvoer en weinig afslaan van de pomp minder zou worden bemonsterd. Het dode volume is verkleind door het volume boven de cel te verkleinen en de cel schuin te monteren (figuur 6)



Figuur 5

Montageplaatsen van Sorbicellen in de meetputten van de Rusthoeve.

² In de zomer kan door het verlagen van de grondwaterstand de afvoerdrain droogvallen.

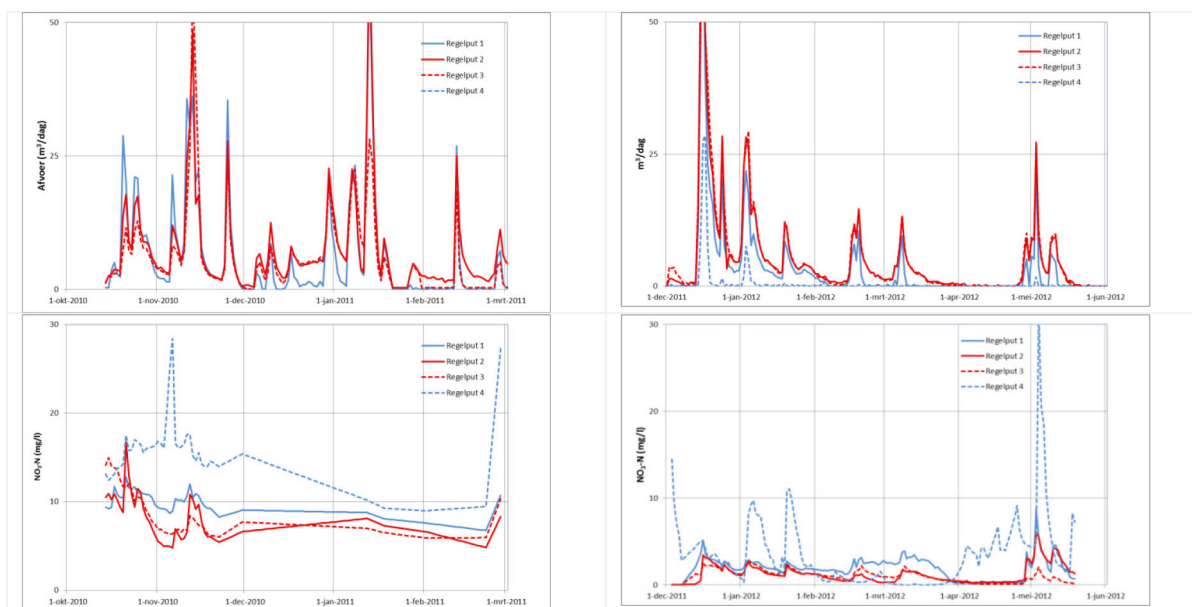


Figuur 6

Sorbicellen voor debiet-proportionele bemonstering in de afvoerleiding naar de sloot. Links: cel in de houder (de uitstroomopening van de Sorbicell is zichtbaar). Rechts: met opvangreservoir voor water.

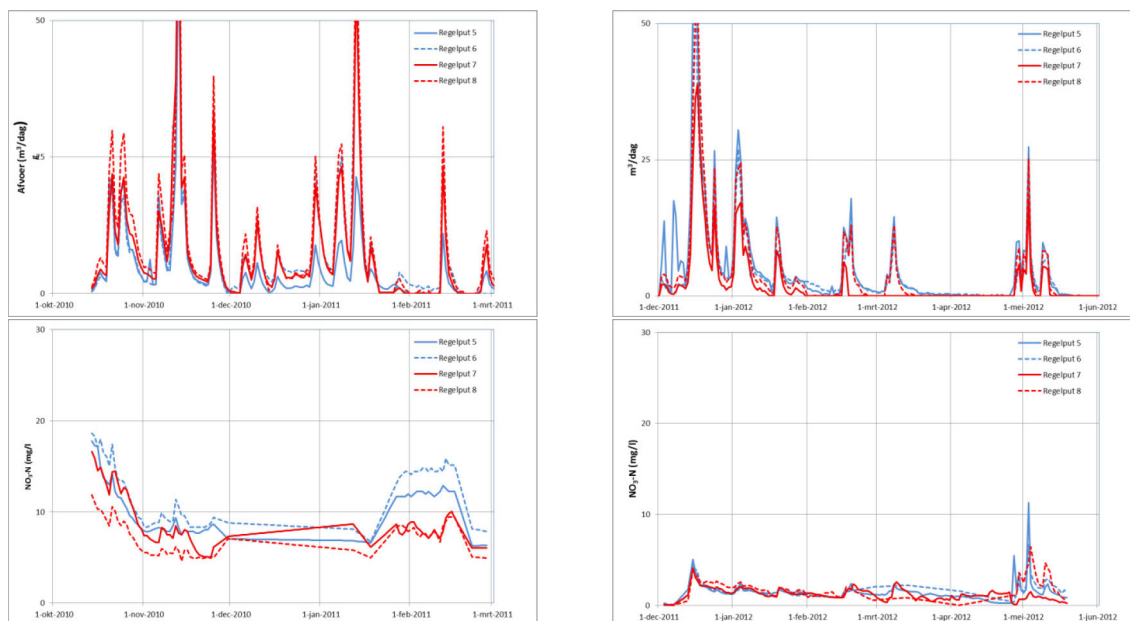
2.2.2 Afvoer van drainagewater en nitraat op de Rusthoeve

Het reguliere onderzoekproject heeft een grote hoeveelheid basisdata opgeleverd (Schipper en Van der Schans, 2012). De voor dit project relevante data (putten 1 t/m 4) zijn in figuur 7 weergegeven. Het gaat om de afvoer van water in de verschillende putten en de gemeten nitraatconcentraties. In deze putten waren de Sorbicellen geïnstalleerd. Figuur 8 geeft dezelfde data voor de putten 5 t/m 8 waarin geen Sorbicellen zijn toegepast. Deze data geven een extra indruk van de variabiliteit.



Figuur 7

Afvoer van drainagewater (boven) en bijbehorende nitraatconcentraties (onder) in de meetputten 1-4 op de Rusthoeve in de meetseizoenen 2010-2011 (links) en 2011-2012 (rechts). Bron: Schippers en Van der Schans, 2012.



Figuur 8

Afvoer van drainagewater (boven) en bijbehorende nitraatconcentraties (onder) in de meetputten 5-6 op de Rusthoeve in de meetseizoenen 2010-2011 (links) en 2011-2012 (rechts). Bron: Schippers en Van der Schans, 2012.

In de putten zijn ook steekmonsters genomen in het eerste seizoen. De meetwaarden voor nitraat en fosfaat zijn weergegeven in tabel 4. In deze tabel is ook de ratio $\text{NO}_3\text{-N}/\text{PO}_4\text{-P}$ weergegeven. In hoofdstuk 2.2.3 wordt hierop teruggekomen bij de bespreking van de effecten van ijzer(III)oxide.

De afvoer van water vindt plaats in het winterseizoen. Schippers en Van der Schans (2012) geven aan dat de afvoeren dan snel op de neerslag reageren. In 2011 was het voorjaar erg droog en werd er niets afgevoerd. In 2012 zorgt een natte periode eind april/begin mei voor afvoer in deze periode.

Er zijn grote verschillen in de start van de afvoer. In 2010 startte de afvoer al in oktober en in 2011 pas in december. In een project als op de Rusthoeve kan hierop worden geanticipeerd. Na twee meetseizoenen kon hier de start van de afvoer goed worden ingeschat op basis van de grondwaterstand, de hoeveelheid neerslag en de te verwachten neerslag.

Het niveau van de nitraatconcentratie in de twee meetseizoenen verschilt ook aanzienlijk. In het eerste seizoen is de concentratie ca. 10 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$ en in het tweede seizoen ca. 2 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$. De aanleg van het drainage systeem heeft er vermoedelijk voor gezorgd dat er in de bodem veel nitraat is vrijgemaakt door afbraak van organische stof in de bodem. Verstoring van het profiel stimuleert de biologische afbraak van organische stof. De invloed hiervan is in het tweede seizoen verdwenen.

In het eerste meetseizoen is de nitraatconcentratie relatief constant en varieert slechts langzaam. Bij dit patroon zal het weinig uitmaken of er debiet proportioneel of tijd proportioneel wordt bemonsterd. Het nemen van één of twee steekmonsters en meting van de nitraatconcentratie zal al een goede inschatting geven van het afgevoerde concentratieniveau.

Tabel 4*Resultaten van steekmonsters genomen in de meetputten in het meetseizoen 2010-2011.*

Meetput	Datum	NO ₃ -N (mg/l)	PO ₄ -P (mg/l)	N/P	Gem N/P	Stdev N/P
1	01-nov-2010	9,38	0,05	188	174	33
	09-nov-2010	10,2	0,057	179		
	22-nov-2010	8,28	0,049	169		
	30-nov-2010	9,06	0,04	227		
	12-jan-2011	8,78	0,06	146		
	18-jan-2011	8,08	0,06	135		
2	01-nov-2010	5,54	0,06	92	110	65
	09-nov-2010	5,73	0,061	94		
	22-nov-2010	5,43	0,045	121		
	30-nov-2010	6,63	0,08	83		
	12-jan-2011	8,12	0,029	280		
	18-jan-2011	7,28	0,06	121		
	01-feb-2011	6,65	0,056	119		
	22-feb-2011	4,84	0,06	81		
	08-mrt-2011	5,49	0,147	37		
	20-mrt-2011	5,05	0,039	129		
	05-apr-2011	5,2	0,26	20		
	19-apr-2011	3,86	0,028	138		
3	01-nov-2010	6,85	0,076	90	60	31
	09-nov-2010	6,58	0,077	85		
	22-nov-2010	6,02	0,057	106		
	30-nov-2010	7,72	0,1	77		
	12-jan-2011	7,01	0,266	26		
	18-jan-2011	6,52	0,084	78		
	01-feb-2011	5,93	0,122	49		
	22-feb-2011	5,95	0,21	28		
	08-mrt-2011	5,18	0,213	24		
	20-mrt-2011	5,23	0,066	79		
	05-apr-2011	5,3	0,46	12		
	19-apr-2011	4,25	0,068	63		
4	01-nov-2010	16,8	0,048	350	249	87
	09-nov-2010	16,2	0,057	284		
	12-jan-2011	10,2	0,049	208		
	18-jan-2011	9,28	0,061	152		

De variatie in het tweede meetseizoen is relatief gezien groter en hangt samen met de afvoer. Bij grotere afvoer is de nitraatconcentratie ook hoger. Zeven van de acht putten geven een vergelijkbaar beeld. De afgevoerde nitraatconcentratie blijft ook gedurende piekafvoeren duidelijk onder de concentratie gemeten in het eerste meetseizoen. Regelput 4 vormt een uitzondering en piekafvoeren benaderen de concentraties van het vorige meetseizoen. De afvoer in mei 2012 is een specifieke situatie. Na een periode van geen afvoer volgt weer een afvoer als gevolg van de neerslag. Nitraatconcentraties zijn extra verhoogd.

Het tweede meetseizoen vraagt meer om een debiet-proportionele bemonstering. Een tijd proportionele bemonstering zal hier een te lage nitraatconcentratie opleveren.

2.2.3 Resultaten met Sorbicellen, meetseizoen 2010-2011

Doorgestroomd volume

In het seizoen 2010-2011 zijn de Sorbicellen gemonteerd in de putten 1 t/m 4. Uitgangspunt bij de toepassing in het veld was dat de capaciteit voldoende zou zijn voor een maximum van drie maanden. Met andere woorden, in de gebruikperiode moet niet meer dan 300 ml water door de cel lopen. Bij de eerste experimenten werd geconstateerd dat er veel en meestal te veel water door de cellen is gestroomd (zie bijlage 1). Veelal was het spoorzout volledig verdwenen. Dit gold zowel voor lange (134 dagen) als korte perioden (ca. 45 dagen). Als al het spoorzout is opgelost volgt uit de meting en opvolgende berekening een volume van ca. 500 ml.

Toepassing van het volume van 500 ml levert een te hoog nitraatgehalte. De met de Sorbicellen berekende nitraatgehalten in bijlage 1 zijn veel hoger dan gemeten met de steekmonsters en de continue metingen. Dit komt doordat er veel meer dan 500 ml door de cellen is gestroomd. Als we voor de eerste serie (zie bijlage 1) uitgaan van 1.5 liter, dan worden wel vergelijkbare gehalten gemeten voor nitraat en fosfaat. Voor ammoniak zijn de verschillen tussen put 1 en put 4 enerzijds en put 2 en put 3 anderzijds niet zichtbaar. Voor ammoniak speelt echter ook de detectiegrens een rol.

Een belangrijke constatering is de variabele gehalten aan fosfaat gemeten in put 2 en 3 waarop wordt teruggekomen bij het effect van ijzer(III)oxide.

Het volume dat door de cel stroomt, kan worden beïnvloed door de weerstand van de cel aan te passen. Hierop wordt teruggekomen aan het einde van dit hoofdstuk. Ook de toepassing in van invloed. Op de Rusthoeve is gebruik gemaakt van verzamel drains en de hierbij horende grotere afvoer, waardoor ook de waterdruk op de cel groter zal zijn. In individuele drains zal de afvoer minder zijn en ook de druk op de cel. De cellen kunnen hier langer mee gaan. Dit is niet onderzocht omdat op de Rusthoeve het niet mogelijk was individuele drains te bemonsteren. Gezien de mogelijke spreiding in gemeten gehalten van individuele drains is dit ook geen zinvolle optie. Om een betrouwbare uitspraak over de emissie van het perceel te kunnen doen, zouden alle individuele drains moeten worden bemonsterd en dat maakt de bemonstering weer erg duur.

In een aantal gevallen was er echter slechts ca. 50 ml door de cel gestroomd. Verwacht was dat dit zou kunnen optreden bij de cellen na de pomp. Door het regelmatig droogvallen van deze cellen zou er een luchtbel kunnen ontstaan bij de ingang van de cel, waardoor het water wordt geblokkeerd. Dit was op het laboratorium een paar keer vastgesteld. Het trad echter op bij de drain, waar gedurende de gebruikperiode continue afvoer was. Ook in cellen gebruikt in de putten 1 en 4 werden kleine volumes gemeten. Viermaal was het volume klein in beide gebruikte cellen, maar ook viermaal in slechts één van beiden. Er is dus ook sprake van een toevalstreffer. Geconcludeerd werd dat er zich in de drain en op de cel een extra weerstand kan ontwikkelen. Het is bekend (Stuyt, persoonlijke mededeling) dat zich in drains bacterieel slijm (gel) kan ontwikkelen en dat zorgt voor verstopping.

Opvallend is dat bij de kleine doorstroming er uit de hoeveelheid geadsorbeerd nitraat en het doorgestroomde volume er hoge en soms zeer hoge nitraatconcentraties worden berekend (tabel 5). Slechts de laatste vier van de dertien nitraatconcentraties zijn van dezelfde grootte-orde als gemeten met de elektroden en de steekmonsters (figuur 7 en tabel 4). Vermoed wordt dat in plaats van advectief transport de nutriënten via diffusie aan het celmateriaal zijn geadsorbeerd. Het oppervlak van de cel aan de bovenzijde is groot en diffusie is dan waarschijnlijk.

Effect van ijzeroxide

Nadere analyse liet zien dat in de putten 2 en 3 een neerslag ontstond van ijzer(III)oxide (zie figuur 3). Dit zijn de diepe drains. In het verzadigde systeem kan zuurstof onvoldoende doordringen, waardoor ijzer aanwezig is in zijn gereduceerde en goed oplosbare vorm ijzer(II). In de put en bij de uitstroming komt het water weer in

contact met zuurstof en wordt het aanwezige ijzer(II) geoxideerd en ontstaat ijzer(III)oxide als een neerslag. Ijzer(III)oxide vorming werd geconstateerd in de putten 2 en 3, zowel voor als na de pomp. De vorming was hetzelfde bij alle drie meetseries en staat weergegeven in tabel 6. ++ betekent dat er veel ijzer(III)oxide werd gevormd en - geen ijzer(III)oxide. + betekent net waarneembare ijzer(III)oxidevorming.

Tabel 5

Berekende nitraatgehalten bij de cellen met een klein doorgestroomd watervolume.

Doorgestroomd volume (ml)	NO ₃ -N (mg/l)
70	35
61	42
30	135
40	268
21	678
47	229
92	21
49	118
53	75
50	15
74	4
33	10
53	5

Tabel 6

Ijzer(III)oxidevorming op de cellen en de geadsorbeerde nitraat/fosfaatverhouding. Putten 1-4 en cellen geïnstalleerd voor tijd- en debiet proportionele bemonstering. ++ veel ijzer(III)oxidevorming, + net waarneembare ijzer(III)oxidevormingen – geen ijzer(III)oxidevorming. ¹⁾Door weinig doorstroming cel waarde minder betrouwbaar.

Put	Ijzer(III)oxide vorming				NO ₃ -N/PO ₄ -P			
	Serie 1-3		Serie 1		Serie 2		Serie 3	
	Tijd	Debiet	Tijd	Debiet	Tijd	Debiet	Tijd	Debiet
1	-	-	253	193	219	154	199	129
	-	-	210	198	259	154	203	125
2	+	++	408	19	591	119	148	165
	+	++	625	67	116	358	531	247
3	++	++	213	16	367	50	198	55
	++	++	223	44	449	166	39 ¹⁾	144
4	-	-	273	291	160	103	59 ¹⁾	141
	-	-	407	288	148	92	74 ¹⁾	120

De ijzer(III)oxidevorming per put is goed reproduceerbaar. Niet alleen bij de gelijktijdig ingezette cellen, maar ook bij de verschillende series. Bij conventionele drainage (1 en 4) wordt er geen ijzer(III)oxide gevormd en bij verdiepte drainage wel. De mate waarin ijzer(II) aanwezig is in het afgevoerde water verschilt wel per systeem. Dit is groter in put 3 (beoordeling ++) en relatief klein in put 2 (beoordeling +).

Door onzekerheid over doorstroomd volume, zijn gemeten concentraties ook onzeker. Om te zien of P-bemonstering beïnvloed is door ijzer(III)oxide wordt in tabel 6 gebruik gemaakt van de ratio N/P. Deze zouden vergelijkbaar moeten zijn met die van de steekmonsters (tabel 4).

De vorming van ijzer(III)oxide heeft invloed op de gemeten fosfaatconcentratie in het water. Fosfaat is dan moeilijker te bemonsteren, omdat het in tegenstelling tot nitraat aan diverse materialen en vooral aan ijzer(III)oxide kan adsorberen. Voor de putten 1 en 4 zonder ijzer(III)oxide is de N/P ratio per put, meetplek en serie constant en bemonstering is hier dus reproduceerbaar. De ratio verschilt wel per meetplek (tijd of debiet). De ratio's voor de putten 1 en 4 zijn vergelijkbaar met de ratio's gebaseerd op de steekmonsters vermeld in tabel 4. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het fosfaat ook goed adsorbeert in de Sorbicellen. Voor de meetputten 2 en 3 zijn er grote verschillen. Met de cellen wordt er zowel meer (kleine ratio) en minder (grote ratio) fosfaat gemeten. Dit wordt niet alleen verklaard door de vorming van ijzer(III)oxiden op de Sorbicellen, maar ook door ijzer(III)oxiden in de steekmonsters. Met de steekmonsters kan meer of minder ijzer(III)oxide worden meegenomen en dat resulteert³ in een hoger of lager fosfaatgehalte.

2.3 Evaluatie meetseizoen 2010-2011

Uit het laboratoriumonderzoek is gebleken dat de Sorbicellen qua adsorptie-eigenschappen in principe bruikbaar zijn om het water op de Rusthoeve te bemonsteren.

Ondanks de hoge capaciteit is de weerstand van de 15 ml cel te klein voor gebruik gedurende een aantal maanden. De capaciteit van een cel is 300 ml. Bij montage van de cellen in de leidingen van de meetputten is er bij de meeste cellen in 45 dagen naar schatting 1.5 l doorgestroomd. De cellen hadden dus na maximaal negen dagen moeten worden verwisseld. Dit is tekort voor de beoogde toepassing, waarbij één of twee Sorbicellen worden gebruikt om de emissie van nutriënten van een gedraineerd perceel in het afvoerseizoen te kunnen monitoren. Opgemerkt moet worden dat de Sorbicell hier in verzamel drains hebben gehangen. In individuele drains is de afvoer en de bijbehorende druk op de cel kleiner.

Bij de diepe drains worden grote hoeveelheden ijzer(III)oxide gevormd. Dit slaat neer boven op de cel en zal van invloed zijn op het doorstroomde volume. De weerstand wordt langzaam groter, waardoor het bemonsterde volume niet meer proportioneel zal zijn in de de tijd en doorgestroomd volume. Door de vorming van ijzer(III)oxide en adsorptie van opgelost fosfaat wordt de hoeveelheid opgelost fosfaat kleiner, zodat de meting met de Sorbicell geen maat meer is voor de P-vracht naar het oppervlaktewater.

In eerste instantie is geconcludeerd dat de weerstand van de cel moest worden verhoogd om ze gedurende een langere periode te kunnen gebruiken. Door Sorbisense is nagegaan of de weerstand van de cellen kon worden vergroot. Dit is mogelijk en de weerstand kan worden ingebouwd aan de onderzijde van de cel na het spoorzout. De gebruikte cellen hebben echter aan de bovenkant een relatief groot oppervlak. Een kleinere doorstroming zorgt dan vervolgens voor een groter aandeel van de diffusie aan de adsorptie in de cel en dit zal resulteren in een te hoge nutriëntconcentratie. Diffusie is een factor van belang, dit is gebleken uit de nitraatgehalten gemeten in de cellen met weinig doorstroming. Het is mogelijk de hoeveelheid spoorzout te verdubbelen en de meetperiode te verdubbelen tot achttien dagen. Dit is nog steeds te kort voor het beoogde doel.

Om meer zekerheid te krijgen over het doorgestroomde volume kan het opvangreservoir worden aangepast. Het reservoir van de celhouder is nu 300 ml. Dit is ook de maximale capaciteit. Het moet beter zichtbaar zijn als deze capaciteit wordt overschreden. Via een overloop op bijvoorbeeld 200 ml en opvang in een door-

³ Na de monsternamen wordt het monster aangezuurd en lost het ijzer(III)oxide weer op.

zichtige fles, moet het mogelijk worden te zien wanneer de maximale capaciteit wordt benaderd. Deze verbetering kan op een eenvoudige manier worden gerealiseerd en gecontroleerd door iemand die lokaal aanwezig is, waarna de gewaarschuwde onderzoeker de cellen kan gaan ophalen.

Bij gebruik van een overloop kan het gebruik van het spoorzout ook ter discussie worden gesteld. Het doorgestroomde kan dan worden gebaseerd op het volume water in het reservoir en in de overlopfles. Zonder spoorzout is het ook niet nodig om het calcium te verwijderen, waardoor de cel alleen maar materiaal hoeft te bevatten waarmee nutriënten worden vastgehouden.

In tweede instantie is in overleg met het project DiVeLOp vastgesteld dat er een andere benadering noodzakelijk is. Hierbij worden de cellen in de stromende buis geplaatst. Door het drukverschil in de stromende buis zal er water door de cel gaan stromen. Voordeel van deze constructie is dat er nog geen ijzer(III)oxide is gevormd en als dit is gevormd de cel er minder door beïnvloed wordt. Het drukverschil tussen voor- en achterkant van de cel is klein, waardoor de cel een kleinere doorstroming heeft en langer mee kan gaan. Het drukverschil wordt groter bij grotere afvoer, zodat het resultaat meer debiet proportioneel zal zijn. Nadeel kan zijn dat diffusie een rol kan gaan spelen. De cel hangt continue in het water en er kunnen door diffusie nutriëntmoleculen gaan adsorberen in de cel. De kans hierop is groot bij de cel van 15 ml. Het project DiVeLOp heeft er daarom de voorkeur aan gegeven verder te experimenteren met kleinere cellen.

2.3.1 Resultaten met Sorbicellen, meetseizoen 2011-2012

In het tweede meetseizoen is een oriënterend experiment uitgevoerd met de op dat moment bij DiVeLOp ontwikkelde andere bevestiging van de Sorbicell. De Sorbicell is hierbij opgehangen in het stromende water direct onder de elektroden (figuur 10 A). Na 73 dagen is de cel weer verwijderd. Er was toen duidelijk zichtbaar dat er nog nauwelijks spoorzout was opgelost en er dus weinig water door de cel was gestroomd. Analyse van deze cel en verder experimenteren met deze cel leek daarom niet zinvol. In DiVeLOp wordt verder geëxperimenteerd met een betere bevestiging, waarbij de cel volledig vrij hangt, en met een ander type cel.



A



B

Figuur 10

Manier van installeren van de Sorbicell in het stromende water in de drain direct onder de elektroden (A) en de Sorbicell na 73 dagen in het stromende water.

3 Mogelijke rol van Sorbicellen bij het meten in drainafvoeren

De emissie vanuit drains wordt momenteel ingeschat op basis van steekmonsters. De variatie in gemeten gehalten kan groot zijn. Verder zijn er onzekerheden over de periode dat er water wordt afgevoerd. Sorbicellen geven de mogelijkheid om gedurende een langere periode te meten. In dit hoofdstuk wordt, uitgaande van de huidige onzekerheden, de bruikbaarheid en de mogelijke inzet van Sorbicellen op de Rusthoeve besproken. In het laatste deel van dit hoofdstuk wordt uitgaande van de ervaringen op de Rusthoeve besproken wat de randvoorwaarden zijn om Sorbicellen op een efficiënte manier in te zetten.

3.1 Meten op de Rusthoeve

3.1.1 Perioden van afvoer

Drains voeren pas af als door wateraanvoer via regen en eventueel kwel het grondwaterpeil weer is gestegen tot het niveau waarop de afvoer is afgesteld. Dit verschilt per seizoen. Het eerste seizoen werd er al in oktober water afgevoerd en in het tweede seizoen duurde dit tot december. Een onzekerheid van drie maanden. Cellen kunnen alleen maar vooraf worden geïnstalleerd als ze geen nutriënten gaan adsorberen in de periode dat er geen afvoer is. Dit stelt eisen aan de manier waarop cellen worden gebruikt.

Bij minimale afvoeren kan het dode volume boven de cel worden gevuld. Afhankelijk van de manier van installeren kan er dan al nitraat worden geadsorbeerd door de cel en een deel van het spoorzout oplossen, terwijl er geen of een te verwaarlozen afvoer is. Eventueel water in het dode volume boven de cel mag dus niet door de cel stromen en nitraat in dit volume mag niet via diffusie in de cel komen en worden geadsorbeerd. Een tweede mogelijkheid is pas te gaan installeren als er afvoer is. Nadeel hiervan is het missen van de eerste afvoer, die hogere gehalten kan bevatten.

De periode van onzekerheid kan worden verkort als de grondwaterstand gemeten wordt, waarbij op basis van de verwachte neerslag en kwel kan worden voorspeld wanneer de drain gaat afvoeren. Het is dan mogelijk de cellen kort voor de verwachte afvoer te installeren. Dit is mogelijk op een onderzoeklocatie als de Rusthoeve, maar niet op een willekeurig landbouwperceel. Op de meeste andere percelen is de voorinformatie niet bekend en moet gekozen worden om de cellen voor de eerste afvoer te installeren met het risico dat de afvoer nog een tijd op zich laat wachten

3.1.2 Variatie in nutriënten gehalte

Uit de overige analyses op de Rusthoeve blijkt dat de gehalten slechts langzaam veranderen. Bij één van de acht meetlocaties zijn er pieken in het afgevoerde gehalte. Opvallend is de grote variatie in concentratieniveau per meetseizoen. In 9 en ook in 18 dagen is de verandering klein en een watermonster genomen in die periode is dan ook bij zeven van de acht locaties representatief voor de gehele periode. Hiervoor geeft de Sorbicell weinig toegevoegde waarde. Op de achtste locatie (regelput 4) is er wel variatie in het nutriëntengehalte. Hoge gehalten gaan hier ook samen met hoge afvoeren, dat het noodzakelijk maakt om debiet

proportioneel te bemonsteren. Een zekere tijd met proportionele bemonstering zal een onderschatting geven van de afvoer.

3.1.3 Functioneren van de cel

De geteste cel heeft een capaciteit van 300 ml en deze capaciteit kan worden vergroot door de hoeveelheid spoorzout te vergroten. Dit vereist nog wel dat er getest wordt of er met een groter volume geen doorbraak van nutriënten plaats vindt en alle nutriënten worden geadsorbeerd in de cel. In dit onderzoek zijn de cellen getest tot een volume van 436 ml. Zelfs met de vergrote hoeveelheid spoorzout is de gebruikperiode van de cel in de opstelling op de Rusthoeve beperkt tot ca. achttien dagen. Bij een uitspoelseizoen van vijf maanden betekent dit dat er vijf cellen achter elkaar moeten worden geïnstalleerd en geanalyseerd.

Bij 13 van de 48 cellen was er weinig water door de cel gestroomd en is geconstateerd dat er dan ook via diffusie nutriënten worden geadsorbeerd. Cellen met weinig doorstroming geven daardoor een overschatting van de nutriëntenemissie en resultaten zijn onbetrouwbaar. Dit kan worden ondervangen door de cellen in duplo te installeren en alleen die cellen te analyseren die voldoende doorstroming hebben gehad.

De gebruikte opstelling is niet geschikt voor gebruik in water waar een neerslag kan ontstaan en de cel zich in verticale positie bevindt. De cel kan dan verstopt raken. Schuin zetten van de cel kan dichtslibben voorkomen, omdat het neerslag dan niet op de ingang van de cel blijft liggen, maar hierdoor wordt er niet worden bemonsterd bij lage debieten.

Ontstaan van neerslag van ijzer(III)oxide zorgt er voor dat fosfaat wordt gebonden. De variatie in afzonderlijke metingen is dan groot. Dit geldt niet alleen voor de Sorbicellen, maar ook voor fosfaat genomen in separate drainwatermonsters. Het is altijd moeilijk om in een systeem waarin ijzer-oxidatie plaats vindt opgelost fosfaat te meten. Het fosfaatgehalte is hoog in de drain zelf (anaerobe condities). In de richting van de drainuitloop gaat er oxidatie van ijzer plaats vinden, waardoor het fosfaatgehalte gaat afnemen. Het gemeten gehalte wordt dan locatieafhankelijk en het resultaat dus onbruikbaar voor eventuele besluitvorming.

3.1.4 Kosten

Uitgaande van 3.1.3 zijn voor de geteste cellen voor één afvoerseizoen op de Rusthoeve de volgende acties en materialen met bijbehorende kosten nodig:

– Aanpassen van de drain om installatie van Sorbicellen mogelijk te maken	
– Materieel	€ 250
– Arbeid	€ 100
– Zes veldbezoeken voor installatie en vervangen van de cellen	€ 600
– Kopen en installatie van tien Sorbicellen	€ 480
– Analyse van vijf Sorbicellen op N en P en spoorzout	€ 350
Totaal	€ 1780

Dit moet worden vergeleken met het nemen van voldoende steekmonsters om een schatting van de emissie te krijgen. Uitgaande van de beperkte variatie in het nutriëntengehalte zoals weergegeven in 3.1.2 geven vijf monsters verdeeld over de tijd een goede indruk van de emissie. Hiervoor is nodig:

– Vijf veldbezoeken en nemen van watermonsters	€ 500
– Analyse van vijf monsters op N en P	€ 115
Totaal	€ 615

Het is duidelijk dat in dit voorbeeld het gebruik van Sorbicellen financieel gezien geen aantrekkelijk alternatief is voor het nemen van steekmonsters.

Sorbicellen worden aantrekkelijk als er met één cel een schatting van de emissie gedurende het gehele seizoen kan worden gemaakt. In de volgende berekening is er van uit gegaan dat de aanpassing van de drain een losse herbruikbare constructie wordt (resultaat DiVeLOp).

– Afschrijving herbruikbare constructie voor installatie Sorbicellen	€ 100
– Twee veldbezoeken voor installatie en vervangen van de cellen	€ 200
– Kopen en installatie van twee Sorbicellen	€ 96
– Analyse van één Sorbicell op N en P en spoorzout	<u>€ 70</u>
Totaal	€ 466

3.2 Meten op andere locaties

Uit 3.1 blijkt dat met de geplande opzet Sorbicellen alleen inzetbaar zijn als ze regelmatig worden vervangen. Dit maakt het een dure optie en minder interessant voor routinematige bemonstering van drainwater. In het project DiVeLOp worden momenteel nagegaan of de Sorbicellen ook gebruikt kunnen worden in de drainbuis zelf.

De toepasbaarheid lijkt groter in systemen waar

- 1) Het te bemonsteren water helder is,
- 2) Er zekerheid is over afvoer van dit water en
- 3) Er een mogelijkheid is voor regelmatige controle van het systeem.

Ad 1) Gesuspendeerd materiaal en gevormd ijzer(III)oxide kan neerslaan op de cel en daardoor de doorstroming beïnvloeden. Sorbicellen zijn daarom op de manier waarop ze op de Rusthoeve zijn getest niet toepasbaar in systemen waar dit materiaal aanwezig is.

Ad 2) Als er geen afvoer is worden de cellen gevoed door het dode volume van de constructie en bij lang droog staan kan er lucht worden ingesloten, waardoor er bij de start van de afvoer geen afvoer door de cel plaats vindt. Dit probleem ontstaat niet als er een continue afvoer is. Afhankelijk van de te verwachten variatie in het nutriëntengehalte is dan tijd- of debiet-proportionele bemonstering nodig.

Ad 3) Bij regelmatige controle is het mogelijk te controleren of er water door de cel stroomt en of het maximum van het doorstroomde volume wordt overschreden. Om kosten te sparen moet de controle plaatsvinden door medewerkers van het bedrijf waar wordt bemonsterd. De ervaring leert dat dit niet altijd even betrouwbaar is.

4 Conclusies

Op de Rusthoeve is onderzocht of Sorbicellen inzetbaar zijn voor het meten van nutriënten.

De ontwikkelde Sorbicell is bruikbaar voor het lokale watertype met een hoog calcium en sulfaatgehalte zoals op de Rusthoeve. De cel kan gebruikt worden tot een te bemonsteren volume van 300 ml. De nutriënten kunnen geëluëerd worden met een mengsel van 0.2M HCl + 0.8M KCl.

In de proefopstelling zijn de Sorbicellen zodanig in het meetsysteem geïnstalleerd dat tijd- en debiet-proportionale bemonstering mogelijk was. De constructie was zodanig dat de cellen aan de onderkant van de buizen waren gemonteerd en een klein deel van het door de drain stromende water werd afgevoerd via de cel. De inzetbaarheid van de cellen viel tegen om de volgende redenen.

1. Bij diepe drains (de helft van de geteste locaties) wordt er ijzer(III)oxide in de drain gevormd. Dit ijzer(III)oxide vormt een neerslag op de cel waardoor er een extra weerstand ontstaat.
2. Het ontstaan van ijzer(III)oxide maakt het zeer moeilijk om het fosfaatgehalte te meten, omdat fosfaat samen met dit oxide neerslaat. Dit geldt niet alleen voor de Sorbicellen, maar ook voor steekmonsters en andere manieren van bemonstering.
3. Om het sulfaathoudende water op de Rusthoeve te kunnen bemonsteren is de inhoud en het volume van de Sorbicell aangepast. Hierdoor was de weerstand van de cel klein en werd de maximale capaciteit al na negen dagen bereikt. Het is mogelijk de capaciteit te vergroten, maar dan nog zijn een vijftal cellen nodig om de nutriënten gedurende het afvoerseizoen te bemonsteren.
4. In een deel van de geïnstalleerde cellen loopt het water slecht door en zijn de resultaten niet bruikbaar. Om dit te herkennen is het noodzakelijk de cellen in tweevoud te installeren.
5. In de gebruikte cel met een groot oppervlak aan de bovenzijde kan bij lage vloeistofsnelheden door de cel diffusie gaan bijdragen aan de hoeveelheid gemeten nutriënten en een overschatting geven van het nutriëntengehalte.
6. Uit continue meting van het nitraatgehalte is gebleken dat de variatie van dit gehalte in de tijd in zeven van de acht locaties klein is. Steekmonsters geven hier dus een goede indicatie van het gehalte en het nemen en analyseren van steekmonsters is een goedkopere optie dan 3, waarbij vijf cellen nodig zijn.
7. Sorbicellen worden een goed alternatief als het mogelijk is om met een enkele cel de nutriëntenemissie gedurende een geheel afvoerseizoen te bemonsteren. Hiervoor is het noodzakelijk de cel en ook de manier van toepassen van de cel aan te passen. Dit wordt momenteel onderzocht in het project DiVeLOp.

5 Referenties

Adielsson, S. en J. Kreuger, 2011. Comparison of pesticide monitoring techniques using passive samples and automatic water samplers in a Swedish stream. Proceedings XIV Symposium in Pesticide Chemistry, Piacenza, Italy. http://convegna.unicatt.it/meetings_3667.html

De Jonge, H. en G. Rothenberg, 2005. New device and method for flux-proportional sampling of mobile solutes in soil and groundwater. Environ. Sci. Technol. 39, 274-282.

Rozemeijer, J.C., Y. van der Velde, H. de Jonge, F.C. van Geer, H.P. Broers en M.F.P. Bierkens, 2010. Application and evaluation of a new passive sampler for measuring average solute concentrations in a catchment-scale water quality monitoring study. Environ. Sci. Technol. 44, 1353-1359.

Schipper, P.N.M en M.L. Van der Schans, 2012. Eindrapportage Praktijkproef peilgestuurde diepdrainage in Zeeland. Rapportage Grontmij, De Bilt.

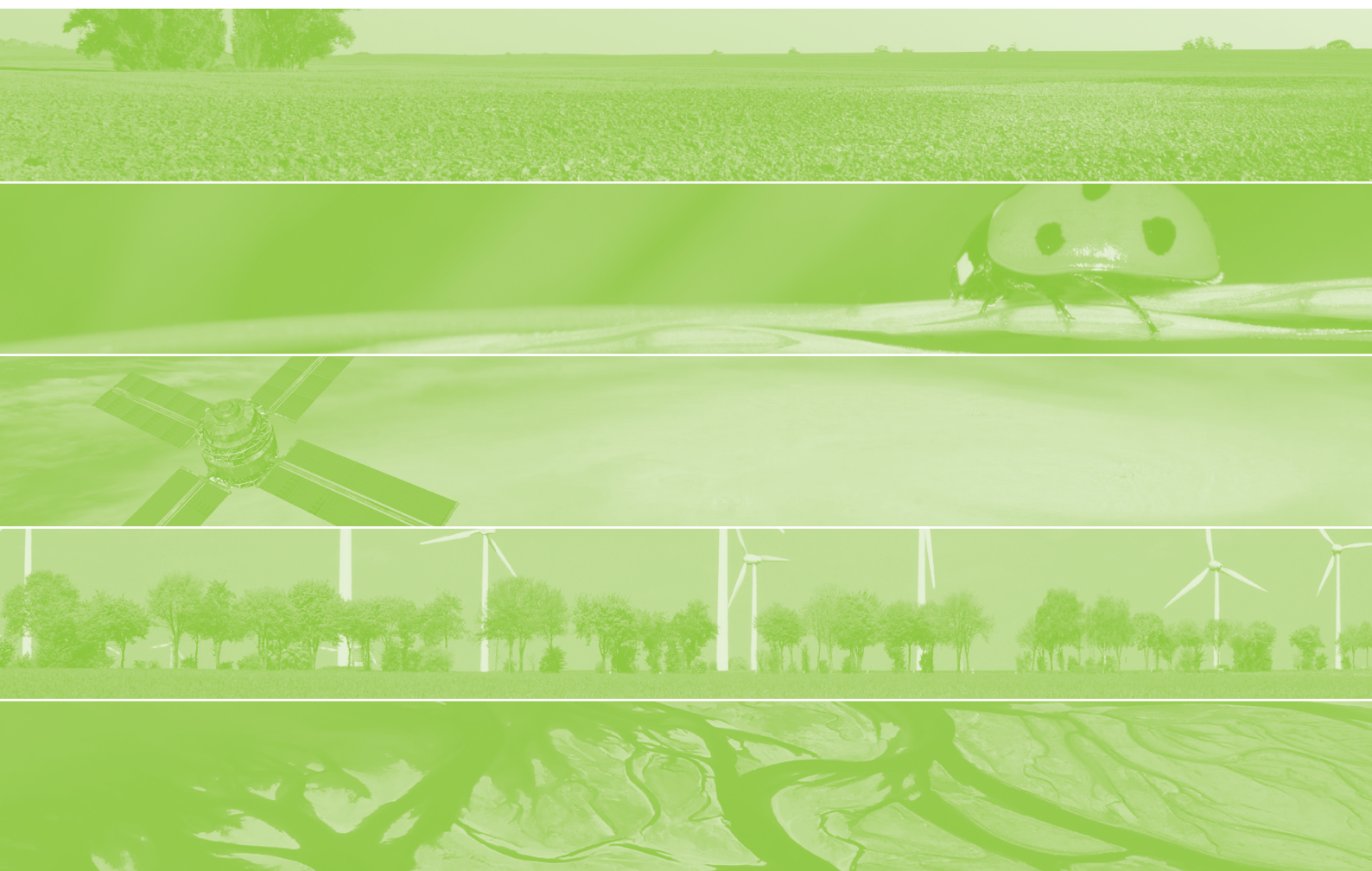
Stuyt, L.C.P.M.P., J.T. van Bakel, W. van Dijk, W.J.M. de Groot, J. van Kleef, I.G.A.M. Noij, J.R. van der Schoot, A. van den Toorn en R. Visschers, 2009. Samengestelde, Peilgestuurde Drainage in Nederland – Voortgangsrapport 1. http://www.stowa.nl/Upload/onderzoek_projecten/Voortgangsrapportage_1_STOWA-RWS_NL_07XII09.pdf

Van Leeuwen, A.G., 2010. Beladen, extractie en analyse van Sorbicell cartridges voor NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} en NH_4^+ . Verslag OV44, Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem, Wageningen University.

Van Leeuwen, A.G., 2011. Beladen, extractie en analyse van 15ml “CAN” Sorbicell cartridges voor NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} en NH_4^+ . Verslag OV54, Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem, Wageningen University.

Bijlage 1

bak nr	pomp	drain	Lab nr.	Monster-omschrijving	Volume [Liter]	Spoorzout		Totaal per patroon	zie opmerking in rood			Datum oel in	cel uit	dagen	volume veld	ijzer op filter	NO3-N/PO	cel1/cel 2				
						N-NH4 [mg]	I-(NO3+NO2) [mg]		P-PO4 [mg]	N-NH4 [mg/l]	I-(NO3+NO2) [mg/l]								P-PO4 [mg/l]			
				aantonbaarheidsgier		0.02	0.005	0.003														
1	1		7	0909 - 0972	0.43	0.04	15.60	0.081	0.093	35.93	0.187	13-09-10	28-10-10	45			193	0.97				
1	2		8	0909 - 0973	0.55	0.04	18.15	0.092	0.065	32.75	0.165	13-09-10	28-10-10	45			198					
2	1		12	0909 - 0981	0.57	0.04	6.55	0.299	0.071	9.75	0.524	13-09-10	28-10-10	45	fe		19	0.28				
2	2		10	0909 - 0979	0.57	0.04	7.40	0.111	0.065	12.91	0.194	13-09-10	28-10-10	45	fe		67					
3	1		6	0909 - 0971	0.43	0.03	3.38	0.209	0.074	7.91	0.488	13-09-10	28-10-10	45	fe		16	0.37				
3	2		5	0909 - 0970	0.47	0.03	4.25	0.098	0.064	9.05	0.208	13-09-10	28-10-10	45	fe		44					
4	1		16	0909 - 0985	0.57	0.04	28.35	0.098	0.066	49.70	0.171	13-09-10	28-10-10	45			291	1.01				
4	2		15	0909 - 0984	0.56	0.04	29.40	0.102	0.075	52.47	0.182	13-09-10	28-10-10	45			288					
1		1	2	0909 - 0987	0.48	0.03	9.86	0.039	0.063	20.71	0.082	13-09-10	28-10-10	45			253	1.21				
1		2	4	0909 - 0989	0.57	0.03	9.44	0.045	0.045	16.57	0.079	13-09-10	28-10-10	45			210					
2		1	9	0909 - 0978	0.07	0.33	2.45	0.006	4.700	34.82	0.085	13-09-10	28-10-10	45	fe(beetje)		408	0.65				
2		2	11	0909 - 0980	0.42	0.03	3.75	0.006	0.068	8.96	0.014	13-09-10	28-10-10	45	fe(beetje)		625					
3		1	13	0909 - 0982	0.08	0.27	2.55	0.012	4.466	41.95	0.197	13-09-10	28-10-10	45	fe		213	0.96				
3		2	1	0909 - 0986	0.03	0.09	4.01	0.018	3.092	135.34	0.608	13-09-10	28-10-10	45	fe		223					
4		1	3	0909 - 0988	0.04	0.34	10.65	0.039	8.592	266.74	0.984	13-09-10	28-10-10	45			273	0.67				
4		2	14	0909 - 0983	0.46	0.11	16.50	0.041	0.242	36.00	0.088	13-09-10	28-10-10	45			407					
1		1	14	0710 - 0479	0.55	0.03	25.20	0.164	0.060	45.89	0.288	28-10-10	15-12-10	47	300		154	1.00				
1		2	15	0710 - 0480	0.54	0.03	16.20	0.105	0.058	29.86	0.194	28-10-10	15-12-10	47	300		154					
2		1	8	0710 - 0472	0.56	0.03	8.93	0.075	0.056	15.86	0.133	28-10-10	15-12-10	47	300 fe		119	0.33				
2		2	9	0710 - 0473	0.56	0.03	17.70	0.050	0.056	31.65	0.089	28-10-10	15-12-10	47	300 fe		358					
3		1	12	0710 - 0478	0.45	0.03	7.34	0.147	0.070	16.30	0.327	28-10-10	15-12-10	47	300 fe		50	0.30				
3		2	4	0710 - 0468	0.57	0.03	6.96	0.042	0.048	12.31	0.074	28-10-10	15-12-10	47	300 fe		166					
4		1	5	0710 - 0469	0.56	0.03	8.94	0.087	0.051	16.02	0.156	28-10-10	15-12-10	47	150		103	1.11				
4		2	7	0710 - 0471	0.57	0.03	8.87	0.096	0.055	15.59	0.169	28-10-10	15-12-10	47	150		92					
1		1	16	0710 - 0481	0.02	0.14	14.15	0.065	6.765	678.69	3.095	28-10-10	15-12-10	47	150		219	0.85				
1		2	13	0710 - 0478	0.05	0.43	10.89	0.042	9.128	229.31	0.884	28-10-10	15-12-10	47	100		259					
2		1	11	0710 - 0475	0.52	0.03	6.21	0.011	0.049	12.02	0.020	28-10-10	15-12-10	47	300 fe(beetje)		591	5.08				
2		2	10	0710 - 0474	0.09	0.10	1.92	0.017	1.071	20.78	0.179	28-10-10	15-12-10	47	75 fe(beetje)		116					
3		1	3	0710 - 0467	0.56	0.02	5.51	0.015	0.043	9.82	0.027	28-10-10	15-12-10	47	300 fe		367	0.82				
3		2	6	0710 - 0470	0.52	0.03	5.39	0.012	0.052	10.28	0.023	28-10-10	15-12-10	47	300 fe		449					
4		1	1	0710 - 0462	0.05	0.09	5.78	0.036	1.754	118.44	0.738	28-10-10	15-12-10	47	75		160	1.08				
4		2	2	0710 - 0464	0.05	0.15	4.01	0.027	2.806	75.67	0.510	28-10-10	15-12-10	47	75		148					
1	1		14	0710 - 0792	0.56	0.03	10.82	0.084	0.056	19.37	0.151	15-12-10	28-04-11	134	300		129	1.02				
1	2		13	0710 - 0791	0.56	0.03	9.77	0.078	0.051	17.45	0.139	15-12-10	28-04-11	134	300		125					
2	1		1	0710 - 0779	0.56	0.11	12.44	0.075	0.195	22.12	0.134	15-12-10	28-04-11	134	300 fe		165	0.67				
2	2		4	0710 - 0782	0.56	0.04	11.75	0.048	0.064	20.93	0.085	15-12-10	28-04-11	134	300 fe		247					
3	1		8	0710 - 0786	0.56	0.03	8.27	0.152	0.062	14.80	0.271	15-12-10	28-04-11	134	300 fe		55	0.38				
3	2		7	0710 - 0785	0.56	0.04	8.43	0.058	0.067	15.03	0.104	15-12-10	28-04-11	134	300 fe		144					
4	1		9	0710 - 0787	0.56	0.15	9.36	0.066	0.268	16.57	0.118	15-12-10	28-04-11	134	300		141	1.17				
4	2		10	0710 - 0788	0.52	0.20	7.58	0.063	0.380	14.54	0.121	15-12-10	28-04-11	134	300		120					
1		1	15	0710 - 0793	0.54	0.03	7.49	0.038	0.055	13.79	0.069	15-12-10	28-04-11	134	300		199	0.98				
1		2	16	0710 - 0794	0.44	0.05	6.96	0.034	0.113	15.89	0.078	15-12-10	28-04-11	134	300		203					
2		1	2	0710 - 0780	0.05	0.05	0.75	0.005	1.080	15.06	0.102	15-12-10	28-04-11	134	80 fe(beetje)		148	0.28				
2		2	3	0710 - 0781	0.56	0.04	8.93	0.017	0.074	15.82	0.030	15-12-10	28-04-11	134	300 fe(beetje)		531					
3		1	5	0710 - 0783	0.56	0.33	3.81	0.019	0.585	6.75	0.034	15-12-10	28-04-11	134	300 fe		198	5.12				
3		2	6	0710 - 0784	0.07	0.16	0.33	0.008	2.138	4.42	0.114	15-12-10	28-04-11	134	80 fe		39					
4		1	11	0710 - 0789	0.03	0.03	0.36	0.006	0.995	10.72	0.181	15-12-10	28-04-11	134	50		59	0.80				
4		2	12	0710 - 0790	0.05	0.04	0.28	0.004	0.770	5.27	0.071	15-12-10	28-04-11	134	30		74					
				0.00x		Te veel s poorzout opgelost t voor een juiste berekening van volume.																
						Berekend volume is een onders chatting van de werkelijkheid.																
						Bij monster drain vaak weinig door de cel																
						Verhoudig N/P is in duplo is gelijk als er geen Fe op het filter zit																
						Berekende concentraties bij geel gemarkeerd zijn te hoog, omdat erteveel water door de cellen is gegaan																



Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: www.wageningenUR.nl/alterra