

DiveLOp Flow-Cap

Ontwikkeling van een meetinstrument voor directe metingen van afvoergemiddelde concentraties en vrachten vanuit landbouwdrains en kassen naar het oppervlaktewater

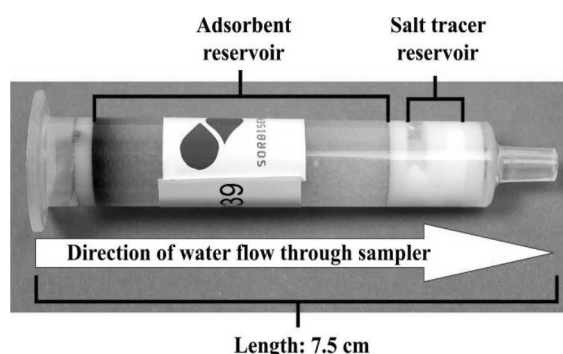
Joachim Rozemeijer (Deltares)
Bert Baan (Sorbisense)
Hubert de Jonge (SorbiSense)
Janneke Klein (Deltares)
Joop Harmsen (Alterra)
Stefan Jansen (Deltares)
Jasperien de Weert (Deltares)

1204035-000

Samenvatting

De waterkwaliteit in veel Nederlandse sloten en plassen laat nog te wensen over. Om de belangrijkste verontreinigingsbronnen op te kunnen sporen is het belangrijk vrachten vanuit landbouwdrains en lozingsbuizen te kunnen meten. Het doel van het project DiVeLOp (**D**irecte metingen van **V**erontreinigingsvrachten vanuit **L**andbouwdrains en kassen naar het **O**ppervlaktewater) was dan ook een eenvoudig en robuust meetsysteem te ontwikkelen om vrachtenmetingen mogelijk te maken voor toepassing in waterschapsmonitoring, in het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) en in de glastuinbouw.

Het project heeft geresulteerd in de Flow-Cap die aan het eind van een drain of lozingsbuis bevestigd kan worden. De Flow-Cap zorgt ervoor dat een vast gedeelte van de totale lozing door een zogenaamde SorbiCell stroomt. Deze SorbiCell legt de te meten stof vast en registreert de hoeveelheid passerend water door een zout dat langzaam oplost. Na analyse van de SorbiCell in het laboratorium is de verontreinigingsvracht over de periode van installatie bekend. In deze studie is alleen nitraat gemeten, maar er bestaan ook SorbiCells voor zware metalen en gewasbeschermingsmiddelen. De Flow-Cap gebruikt geen elektriciteit en is eenvoudig te installeren en weer weg te halen en dus makkelijk op veel plekken te gebruiken.



Figuur S1: Basiscomponenten van een SorbiCell.

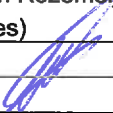




Figuur S2: Testen van de Flow-Caps bij verschillende afvoeren

De goede werking van de Flow-Cap is aangetoond in laboratoriumexperimenten. In dit onderzoek zijn ook praktijktests gedaan op een glastuinbouwbedrijf, een proefboerderij en een deelnemer aan het LMM. De veldtests hebben laten zien dat de Flow-Caps goed kunnen werken onder veldomstandigheden. Door uiteenlopende oorzaken zijn echter niet alle metingen goed gegaan. Aan de hand van de praktijkervaringen is het meetsysteem voor zover mogelijk gaandeweg al verbeterd en gebruiksvriendelijker gemaakt. Aangezien er maar

één seizoen met de Flow-Caps is getest was het binnen dit project niet mogelijk een geoptimaliseerd ontwerp en meetprotocol van de Flow-Cap te maken en te testen.

De Flow-Cap is klaar om getest te worden op andere locaties, voor andere stoffen en voor andere typen lozingen. De veldervaringen met de Flow-Caps zijn echter nog te beperkt om goede vrachtmetingen te kunnen garanderen. Uit de praktijktests bleek dat zeker in de beginfase van een meetcampagne de werking van de Flow-Cap regelmatig goed gecontroleerd moet worden.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	Augustus 2013	Joachim Rozemeijer (Deltares)		Bas van de Grift (Deltares)		Hans van Duijne (Deltares)	
							

Status
definitief

Inhoud

1	Introductie	1
1.1	Probleemstelling	1
1.2	Doelstelling en beoogd resultaat	1
1.3	Relevantie voor stakeholders	2
1.4	Projectorganisatie	3
1.5	Leeswijzer	4
2	Uitgangspunten en resultaten vooronderzoek	5
2.1	Randvoorwaarden meetsysteem	5
2.2	Evaluatie SorbiCells	6
2.3	Bestaande systemen voor debietproportioneel meten	7
2.4	Resultaten vooronderzoek	12
2.5	Aandachtspunten	13
2.6	Conclusies uitgangspunten en randvoorwaarden meetsysteem	15
3	Ontwikkeling prototype en laboratoriumtests	17
3.1	Kinetische waterdruk-variant	17
3.2	Eindop-variant: de Flow-Cap	25
3.3	Conclusies na laboratoriumtests	31
4	Veldtests	33
4.1	Glastuinbouwlocatie Bleiswijk	33
4.2	Proefboerderij De Rusthoeve	40
4.3	LMM-deelnemer Zeewolde	47
5	Conclusies en aanbevelingen	55
5.1	Vooronderzoek	55
5.2	Laboratoriumtests	55
5.3	Veldtests	56
5.4	Aanbevelingen	57
6	Literatuur	59
	Bijlage(n)	
A	Meetprincipe SorbiCells	A-1
B	Resultaten DYNAQUAL	B-1
C	Resultaten vooronderzoek	C-1
D	Parellele veldtest Waterschap Rivierenland	D-1
E	Besprekingsverslagen	E-1

1 Introductie

1.1 Probleemstelling

Door grote bevolkingsdichtheid en het intensieve landgebruik in Nederland staat de kwaliteit van het oppervlaktewater sterk onder druk (b.v. Oenema et al., 2007). RWZI's en de uitspoeling vanuit landbouwgronden zijn de belangrijkste antropogene bronnen van nutriënten, zware metalen en gewasbeschermingsmiddelen voor het oppervlaktewater (b.v. Van Vliet et al., 2006). De uitspoeling van nutriënten leidt tot giftige algenbloei in warme perioden (b.v. Makarewics, 2007) en tot verlies van biodiversiteit (b.v. Weijters et al., 2009). De Kaderrichtlijn Water (KRW), de Nitraatrichtlijn en de Nederlandse Waterwet zijn erop gericht deze problemen te verminderen.

Het is bekend dat intensieve landbouw een negatieve invloed heeft op de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater. Toch is er in veel gebieden onduidelijkheid over invloed van landbouw ten opzichte van andere bronnen van verontreiniging, zoals RWZI's, gebiedsvreemd inlaatwater en nutriëntrijke kwel. Ook het effect van verschillende landbouwtypen en landbewerkingsmethoden op de belasting van het oppervlaktewater is niet helder. Het is hierdoor voor de waterkwaliteitsbeheerder (de waterschappen) en de landbouwsector niet goed mogelijk de kosteneffectiviteit van maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit in te schatten. Dit bemoeilijkt de selectie van effectieve brongerichte maatregelen, waardoor de nadruk vaak ligt op effectgerichte, 'end-of-pipe' maatregelen. Na de implementatie van een maatregel is het lastig de effecten in te schatten en de maatregel te evalueren.

Verschillende instanties doen al metingen aan het drainagewater uit landbouwpercelen en lozingswater vanuit kassen, maar deze metingen leveren niet alle gewenste informatie op. Een groot probleem bij deze meetinspanningen is dat de gebruikelijke bemonsteringsmethoden (steekmonsters) vaak geen betrouwbare informatie opleveren. Steekmonsters zijn slechts momentopnamen van de zeer variabele concentraties. De onzekerheid bij de interpretatie van deze momentopnames is groot. Het RIVM, Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard (HHSK), LTO Noord Glaskracht en Productschap Tuinbouw zijn daarom op zoek naar een nieuwe praktische meetmethode die betere vrachtschattingen oplevert.

1.2 Doelstelling en beoogd resultaat

Een mogelijke oplossing voor betere concentratie- en vrachtschattingen is de SorbiCell, een door het Deense bedrijf SorbiSense ontwikkelde 'passive sampler' waarmee gemiddelde concentraties over langere periodes (dagen tot maanden) gemeten kunnen worden (De Jonge & Rothenberg, 2005). Zie Bijlage A voor een toelichting van het meetprincipe van de SorbiCell. Met SorbiCells worden momenteel tijdgemiddelde concentraties gemeten. De SorbiCell registreert wel de hoeveelheid water die door de SorbiCell sijpelt, maar de bemonsteringssnelheid is min of meer constant en is niet representatief voor de totale afvoer door de drainbuis of sloot. Vooral bij grote fluctuaties in de afvoer en concentraties zal een afvoergemiddelde (ofwel debietproportionele) concentratiemeting een nauwkeurigere inschatting van de vrachten geven dan een tijdgemiddelde concentratiemeting. Bovendien is er bij tijdgemiddelde concentratiemetingen ook een gemeten afvoer nodig om vrachten te berekenen. Bij afvoergemiddelde metingen met SorbiCells zou het monstervolume ook een indicatie geven van de totale afvoer over de installatie periode.

Het doel van het project DiVeLOp (**D**irecte metingen van **V**erontreinigingsvrachten vanuit **L**andbouwdrainen en kassen naar het **O**ppervlaktewater) is debietproportionele concentratiemetingen met SorbiCells mogelijk te maken voor toepassing in waterschapsmonitoring, in het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) en in de glastuinbouw. In dit project is een nieuw meetsysteem ontworpen, gebouwd, getest en geoptimaliseerd in het laboratorium en in de praktijk getest op een aantal proeflocaties. Het beoogde resultaat is een goedkoop, eenvoudig installeerbaar en breed toepasbaar meetsysteem voor het meten van vrachten vanuit gedraineerde landbouwpercelen en kassen. Hoewel dit project zich concentreert op nitraatvrachten vanuit de landbouw zal het debietproportionele meetsysteem naar verwachting ook toepasbaar zijn voor andere stoffen (zware metalen, gewasbeschermingsmiddelen) en andere typen lozingen (industrie, ziekenhuizen).

1.3 Relevantie voor stakeholders

De consortiumleden RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu), HHSK (Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard) en LTO/PT (Land en Tuinbouw Organisatie/ Productschap Tuinbouw) zijn op zoek naar een goedkope en eenvoudige meetmethode die betere vrachtschattingen oplevert dan de huidige meetpraktijk van steekmonster-metingen. Hieronder worden per consortium-stakeholder de specifieke aspecten van de meetprogramma's in relatie gebracht met de onderzoeksdoelstelling van DiVeLOp. We willen echter benadrukken dat de potentiële toepasbaarheid van een debietproportioneel meetsysteem veel breder is dan de stakeholders in het consortium. Zo zouden gemeenten het systeem kunnen inzetten voor vrachtmetingen vanaf afgekoppeld verhard oppervlak naar het oppervlaktewater. Er is ook reeds contact geweest met de medische sector over het meten van directe lozingen vanuit mobiele units voor medisch bevolkingsonderzoek. In feite is ieder bedrijf of instelling met een vergunning voor het lozen van (afval)water op riool of oppervlaktewater een potentiële gebruiker van het systeem.

RIVM

Door het RIVM wordt in opdracht van het ministerie EZ het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) uitgevoerd (zie voor info http://www.rivm.nl/Onderwerpen/L/Landelijk_Meetnet_effecten_Mestbeleid). Het LMM is opgezet om op landelijke schaal de effecten van het mestbeleid op de bedrijfsvoering en de waterkwaliteit op landbouwbedrijven in beeld te brengen. In het klei- en zandgebied wordt door het LMM op veel bedrijven drainwater bemonsterd. Dit geeft directe informatie over de belasting van het oppervlaktewatersysteem. Per bedrijf worden in het drainageseizoen (oktober tot april) 2 tot 4 keer steekmonsters van drainwater genomen. Een nadeel van deze aanpak is dat steekmonsters momentopnames zijn en dat de variatie in concentraties niet volledig meegenomen wordt. De gemeten concentraties zijn hierdoor afhankelijk van de weersomstandigheden op het moment van de bemonstering. Hoewel de huidige onderzoeksstrategie voldoet om een landelijk beeld te krijgen, is voor nader onderzoek naar de relatie tussen de landbouwpraktijk en uitspoeling naar het oppervlaktewater een betere vrachtschatting op bedrijfsniveau gewenst. Een praktisch probleem bij het verzamelen van steekmonsters van drainwater is dat de veldwerkzaamheden moeilijk te plannen zijn. Drains voeren namelijk zelden gedurende het hele drainageseizoen water af.

Voor het RIVM kan een systeem voor afvoergemiddelde concentratiemetingen van nutriënten een nuttige aanvulling vormen op de huidige steekmonstermetingen in het kader van het LMM. Het RIVM kan dan met sorbicellen meer informatie verzamelen over de directe belasting van de oppervlaktewaterkwaliteit vanuit gedraineerde landbouwpercelen. De veldwerkzaamheden voor sorbicellen zijn beter te plannen dan de bemonstering van

steekmonsters aangezien de drain niet actief hoeft te zijn tijdens het installeren of ophalen van de samplers.

HH Schieland en Krimpenerwaard & LTO Noord Glaskracht (Platform Duurzame Glastuinbouw)

In de glastuinbouw circuleert er veel water met daarin opgeloste nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen. Een deel van dit water wordt geloosd op het riool of het oppervlaktewater. Voor de substraatteelt zullen daarvoor binnenkort emissienormen worden opgesteld. Om deze emissienormen te kunnen toetsen en om de invloed van de glastuinbouw op de waterkwaliteit in te kunnen schatten is het nodig stofvrachten te bepalen. De huidige praktijk is dat tuinders jaarlijks enkele steekmonsters nemen van het water in de voedingsmatten of het water dat geloosd wordt. Bij het berekenen van de stofvrachten wordt ervan uitgegaan dat de waterkwaliteit constant is en dat de concentraties in voedingsmatten gelijk zijn aan de concentraties in het lozingswater. Het is niet bekend of deze aannames gerechtvaardigd zijn en hoe groot de nauwkeurigheid van de berekende stofvrachten is. De beschikbare metingen laten behoorlijke variaties in de tijd zien, die mogelijk het gevolg zijn van de verschillende groeistadia van de gewassen.

Voor de glastuinbouw kan een systeem voor afvoergemiddelde concentratiemetingen een alternatief vormen voor de huidige incidentele bemonstering van het lozingswater of het water in de groeimatten. Dit levert tegen vergelijkbare kosten betere informatie op over de emissie van verontreinigingen vanuit kassen naar het oppervlaktewater of het riool. Toepassing in kassen stelt wel specifieke eisen aan het te ontwikkelen meetsysteem. Het moet ook bij hogere zoutgehaltes goed functioneren en geen last hebben van diverse chemicaliën. Tevens moet het systeem ook in kassen eenvoudig te installeren en weg te halen zijn (zie ook de hiervoor beschreven randvoorwaarden).

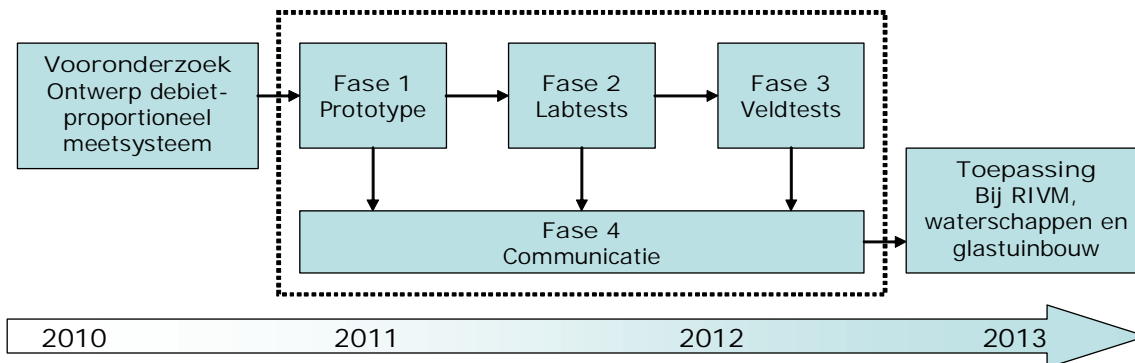
1.4 Projectorganisatie

Figuur 1.1 geeft een visueel overzicht van de organisatie van DiVeLOp in verschillende onderzoeksfases. De resultaten van een door Deltares uitgevoerd haalbaarheidsonderzoek (Rozemeijer et al., 2010b) vormen het uitgangspunt voor DiVeLOp. Binnen dit vooronderzoek heeft Deltares aan de hand van literatuuronderzoek en een aantal brainstorm- en ontwerpessies een voorkeursoptie voor een debietproportionele opstelling uitgewerkt in een voorontwerp. Het project DiVeLOp zelf is verdeeld in 4 fases:

- Fase 1: Ontwikkelen/bouwen prototype
- Fase 2: Labtests met het prototype-meetsysteem
- Fase 3: Praktijktests met het prototype-meetsysteem in verschillende praktijksituaties
- Fase 4: Communicatie

Deltares is penvoerder en hoofduitvoerder van DiVeLOp. SorbiSense heeft een trekkende rol in fase 1 en 2; de ontwikkeling van het prototype en de laboratoriumtests. De coördinatie van de praktijktests ligt bij Deltares. SorbiSense zal voor de praktijktests het benodigde materiaal aanleveren en de SorbiCell-analyses uitvoeren. Alterra stelt de uitgebreide meetopstellingen (Rusthoeve en Vredepeel) ter beschikking als testlocaties. Het RIVM heeft een meetlocatie van het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid aangedragen als testlocatie en hiervan het veldwerk verzorgd. Ook de consortiumpartners HHSK en LTO/PT hebben meegewerkt aan (het opstarten van) de veldtests. Hiernaast hebben alle consortiumpartners een inhoudelijke

bijdrage geleverd door deel te nemen aan de projectgroepoverleggen en door feedback te leveren op concept-(deel)rapportages. DiVeLOp is uitgevoerd als onderdeel van het subsidieprogramma van de Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem (SKB). SKB heeft bijgedragen aan de financiering, de projectbegeleiding in de interne en externe communicatie van de resultaten van het project.



Figuur 1.1: Visueel overzicht van de (samenhang tussen de) verschillende fasen van dit project .

1.5 Leeswijzer

Na deze introductie volgt in hoofdstuk 2 een kort overzicht van de inhoudelijke uitgangspunten en de reeds beschikbare kennis bij aanvang van DiVeLOp. In hoofdstuk 3 worden de belangrijkste resultaten van het vooronderzoek beschreven. De resultaten van Fase 1 en Fase 2 (ontwikkeling prototype en laboratoriumtests) worden beschreven in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 worden de veldlocaties en de resultaten van de veldmetingen beschreven (Fase 3). In hoofdstuk 6 geven we de algemene conclusies van DiVeLOp en aanbevelingen voor verder onderzoek.

Om deze rapportage bondig en overzichtelijk te houden is er veel relevante informatie opgenomen in de Bijlagen.

2 Uitgangspunten en resultaten vooronderzoek

In dit hoofdstuk zal eerst worden ingegaan op de randvoorwaarden waar het binnen DiVeLOp te ontwikkelen meetsysteem aan moet voldoen. Vervolgens volgt een samenvatting van de resultaten van een uitgebreide evaluatie van de werking van SorbiCells voor het meten van gemiddelde concentraties. Daarna wordt ingegaan op verschillende bestaande systemen voor debietproportionele bemonstering. Het voorkeursontwerp dat is voortgekomen uit het vooronderzoek wordt in de volgende paragraaf beschreven. Tenslotte worden enkele aandachtspunten voor de bouw en werking het meetsysteem gegeven die geadresseerd zullen worden in de laboratorium- en veldtests.

2.1 Randvoorwaarden meetsysteem

Het systeem voor de afvoergemiddelde concentratiemetingen op basis van SorbiCells moet aan de volgende randvoorwaarden voldoen:

Eenvoudige installatie

Het systeem moet eenvoudig op meerdere locaties te installeren zijn. Hiervoor is niet of nauwelijks graafwerk nodig en in ieder geval geen machinaal graafwerk. Het systeem moet ook eenvoudig tijdelijk te verwijderen en terug te plaatsen zijn, bijvoorbeeld voor onderhoud aan de drains of lozingsbuizen of voor maai- of baggerwerk aan de slootkant. Hiernaast mag er geen aansluiting op het elektriciteitsnetwerk nodig zijn. Bij voorkeur bevat het meetsysteem helemaal geen elektronica (ook in verband met de robuustheid), maar indien nodig kan gebruik gemaakt worden van batterijen of accu's die lang genoeg (liefst 6 maanden) meegaan.

Geen blokkerende werking

Het meetsysteem moet de landbouwpraktijk zo min mogelijk beïnvloeden. Het debietproportionele meetsysteem mag de waterafvoer van de drains of de lozing vanuit kassen niet of slechts in geringe mate blokkeren. Dit ook in verband met de medewerking van de agrariërs. De vorige randvoorwaarde (eenvoudige installatie en mogelijkheid tot tijdelijke verwijdering) speelt hierbij ook een rol; bij een makkelijk los te maken en terug te plaatsen systeem kan worden gecontroleerd of de drainafvoer wordt geblokkeerd.

Robuust

Het debietproportionele meetsysteem moet bestand zijn tegen extreme kou en warmte. Hiernaast moeten vochtigheid en droogte geen problemen opleveren. Het systeem moet geen problemen ondervinden van vaste deeltjes (klei, silt, fijn zand, oxides en organische deeltjes) die worden afgevoerd. Bij langere meetperiodes mag ook de aanslag van oxides en bacteriën het functioneren van het meetsysteem niet belemmeren. Het gebruik van kleine gaatjes, smalle slangetjes en elektronica verdient in dit verband geen voorkeur. Het systeem moet ook goed blijven werken bij alle ranges van zoutconcentraties en pH's die in lozingswater uit kassen en in draineffluent voorkomen. Bovendien moet het meetsysteem geen hinder ondervinden van diverse chemicaliën die in de landbouwsector toegepast worden.

Geschikt voor meerdere parallele metingen (SorbiCells)

Het meetsysteem moet geschikt zijn om gelijktijdig meerdere stoffen te meten of om duplo metingen uit te voeren. Het moet dus, bij gebruikmaking van de techniek van Sorbisense, mogelijk zijn om meerdere SorbiCells te plaatsen. Het kan ook wenselijk zijn SorbiCells met verschillende weerstanden of verschillende meetcapaciteiten te installeren. Bij voorkeur

moeten er vijf SorbiCells per opzetstuk geïnstalleerd kunnen worden. Overigens moet het debietproportionele systeem ook goed werken als niet alle installatieplekken met SorbiCells zijn gevuld.

Geschikt voor toepassing onder slootpeil

Het debietproportionele meetsysteem moet in zoveel mogelijk gebiedstypen toepasbaar zijn. Een speciaal aandachtspunt hierbij is de toepasbaarheid op locaties waar de drain of het lozingspunt continu of tijdelijk uitmondt onder het slootpeil. De waterdruk in de drainbuis wordt dan bepaald door het slootpeil en heeft geen relatie met de drainafvoer. Afhankelijk van het meetsysteem is dat een mogelijk probleem voor de debietproportionaliteit van de meting. Een ander aandachtspunt is dat de kwaliteit van het oppervlaktewater geen invloed mag hebben op de meting van het drainwater.

Geschikt voor lange meetperioden

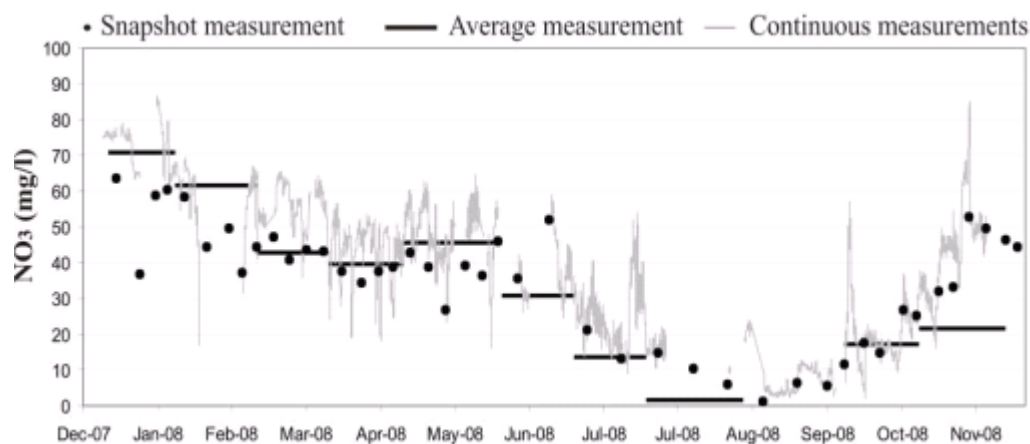
Voor de praktische uitvoering van de metingen heeft een lange meetperiode de voorkeur. Met een meetperiode van 6-8 maanden wordt het mogelijk om met één SorbiCell een gemiddelde concentratie voor het gehele drainageseizoen van september/oktober tot april/mei te meten. Ook voor de toepassing in kassen is de mogelijkheid voor lange meetperiodes wenselijk.

2.2 Evaluatie SorbiCells

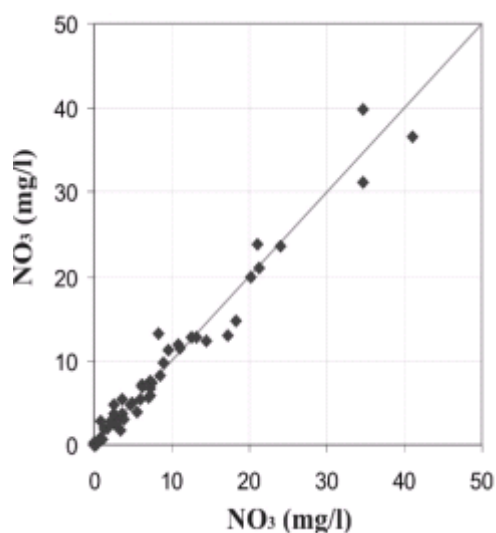
In het project DYNAQUAL zijn de SorbiCells uitvoerig getest in het stroomgebied van de Hupselse beek. De NO₃-concentratie metingen met SorbiCells konden binnen dit project worden vergeleken met wekelijkse steekmonsters en met continue metingen (zie bijvoorbeeld Figuur 2.1). Ook zijn er vele metingen in duplo gedaan om de reproduceerbaarheid van de metingen te bepalen (zie Figuur 2.2). Na een optimalisatie van de SorbiCells voor de Nederlandse veldomstandigheden werden goede resultaten verkregen. Het was de eerste grootschalige veldtoepassing van deze nieuwe techniek voor het meten van gemiddelde concentraties. De bevindingen van dit onderzoek zijn onlangs gepubliceerd (Rozemeijer et al., 2010a). De resultaten uit dit onderzoek zijn samengevat in Bijlage B.

Qua kosten (analyse en veldwerk) zijn SorbiCell-metingen vergelijkbaar met normale steekmonsteranalyses. Continue waterkwaliteitsmetingen (zoals in Figuur 2.1) leveren potentieel een nog betere schatting van gemiddelde concentraties en vrachten op. De apparatuur voor continue waterkwaliteitsmetingen is echter duur in aanschaf en moet worden geïnstalleerd in een beschermde omgeving met elektriciteit. Voor dit project zijn we op zoek naar een goedkope meetmethode die eenvoudig op veel locaties toepasbaar is.

Op dit moment levert het meten met SorbiCells tijdgemiddelde concentraties op. Ten opzichte van steekmonsters geeft dit al een forse verbetering in de betrouwbaarheid van gemiddelde concentraties en vrachten (zie Rozemeijer et al., 2010a en Bijlage B). Bij sterk variërende stofconcentraties en waterfluxen levert het berekenen van stofvrachten uit tijdgemiddelde concentraties nog een flinke onzekerheid op. Voor een optimale bepaling van afvoergemiddelde concentraties en vrachten naar het oppervlaktewater beoogt dit project toe te werken naar een meetsysteem voor afvoergemiddelde concentratiemetingen met SorbiCells. Hiervoor is nog geen robuust systeem beschikbaar.



Figuur 2.1: Vergelijking tussen SorbiCell metingen (average measurements), Hydrion-metingen (continuous measurements) en steekmonsters (snapshot measurements) bij het uitstroompunt van de Hupselse beek.



Figuur 2.2: Scatterplot van de SorbiCell duplo-metingen.

2.3 Bestaande systemen voor debietproportioneel meten

Er is in het vooronderzoek een inventarisatie gemaakt van bestaande systemen voor debietproportionele metingen die al zoveel mogelijk voldoen aan de gestelde randvoorwaarden die in paragraaf 2.1 zijn besproken (Rozemeijer et al., 2010b). Hierbij is gebruik gemaakt van zoekmachines voor wetenschappelijke literatuur (Scopus, ScienceDirect) en van de algemene internet-zoekmachine Google.

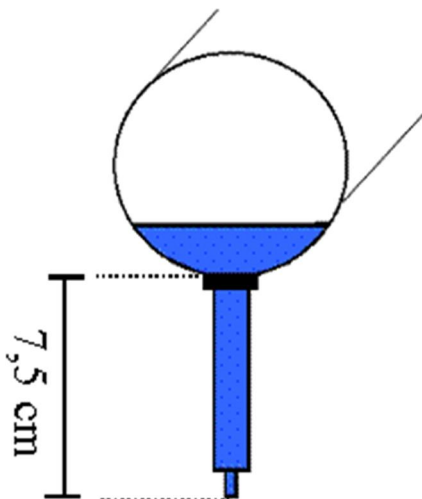
We maken onderscheid in twee oplossingsrichtingen voor de debietproportionele metingen. De eerste oplossingsrichting maakt gebruik van de relatie tussen de waterdruk en de bemonsteringssnelheid van de SorbiCells. Bij de tweede oplossingsrichting wordt eerst een debietproportioneel deel van het drainwater gescheiden van de hoofdstroom. Vervolgens wordt dit deel geheel door één of meerdere SorbiCells geleid.

Oplossingsrichting 1: waterdrukgevoeligheid SorbiCells

Uit tests (zie Figuur 2.3) is gebleken dat er een lineaire relatie bestaat tussen de waterdruk op de SorbiCells en de doorstroomsnelheid of het monstervolume van de SorbiCells. Bij een normale installatie in een drainbuis is de waterdruk op de SorbiCells afhankelijk van de drainafvoer (zie Figuur 2.4). De relatie tussen de drainafvoer en de waterdruk is bij de conventionele montage van de SorbiCells echter niet lineair. Hiernaast zijn de variaties van het waterpeil in de drain erg klein, mede gezien het feit dat het water in de SorbiCell zelf al voor 7-8 cm waterdruk zorgt.



Figuur 2.3: Testen van de waterdruk-doorstroomsnelheid relatie van de SorbiCells.



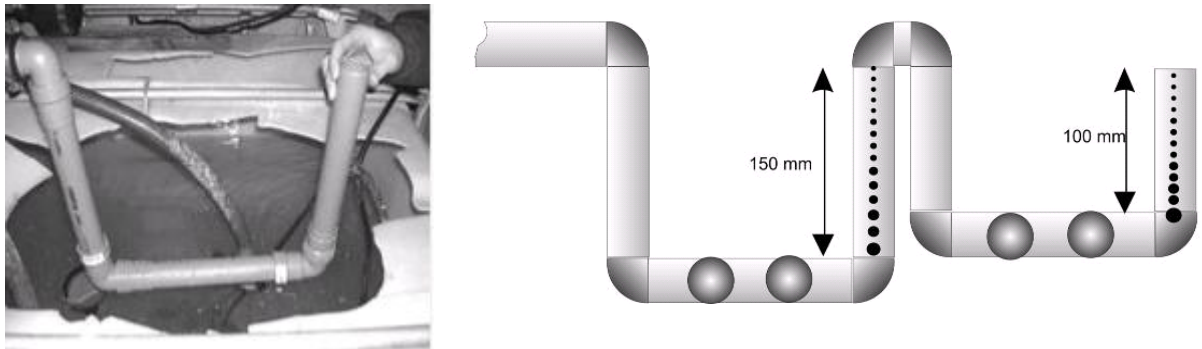
Figuur 2.4: Conventionele installatie in drains met kleine verschillen in waterdruk.

Figuur 2.5 en 2.6 laten twee ontwerpen zien die SorbiSense in samenwerking met Alterra heeft ontwikkeld. Het principe van beide opstellingen is dat de waterdruk boven de SorbiCells gevoeliger wordt voor de drainafvoer en ook lineair gerelateerd is aan de drainafvoer. De opstelling in Figuur 2.5 wordt ook wel de 'zwanenhals' genoemd. Aan de drain wordt een U-vormig verlengstuk gemonteerd. Onder de bodem van de U worden de SorbiCells

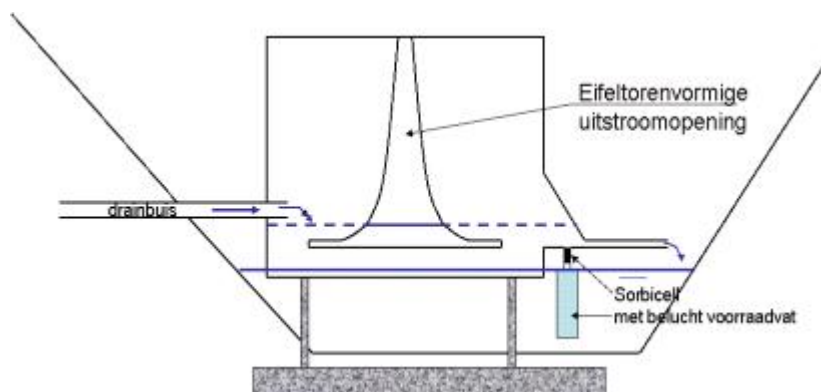
gemonteerd. In de buis waarin het water omhoog stroomt, zitten kleine uitstroomgaatjes boven elkaar. Wanneer het debiet te groot is voor het onderste uitstroomgaatje stijgt het water tot aan het uitstroomgaatje erboven. De gaatjes zijn zodanig gedimensioneerd dat er een lineaire relatie is tussen de drainafvoer en de waterhoogte in de uitstroombuis en daardoor ook met het bemonsteringsvolume van de SorbiCells.

Een systeem met een vergelijkbaar principe is afgebeeld in Figuur 2.6. Hierbij wordt het drainwater opgevangen in een opvangbak met een Eiffeltoren-vormige uitstroomopening. De Eiffeltoren-vorm (een zogenaamde "Sutro"-overloop) zorgt voor een lineaire relatie tussen de afvoer en de waterhoogte in de opvangbak.

Een nadeel van beide systemen is dat ze niet werken wanneer het slootpeil boven de onderkant van de uitstroomopening(en) komt. Een extra nadeel van de zwanenhals is dat de kleine uitstroomgaatjes gevoelig zijn voor dichtslibben met deeltjes en aanslag.



Figuur 2.5: Zwanenhals-opstelling; links een test met een enkele zwanenhals, rechts een schets van een dubbele zwanenhals. De bollen in de rechterFiguur zijn horizontaal geplaatste reservoirs waarin SorbiCells bevestigd zijn.



Figuur 2.6: Opvangbak met Eiffeltorenvormige uitstroming

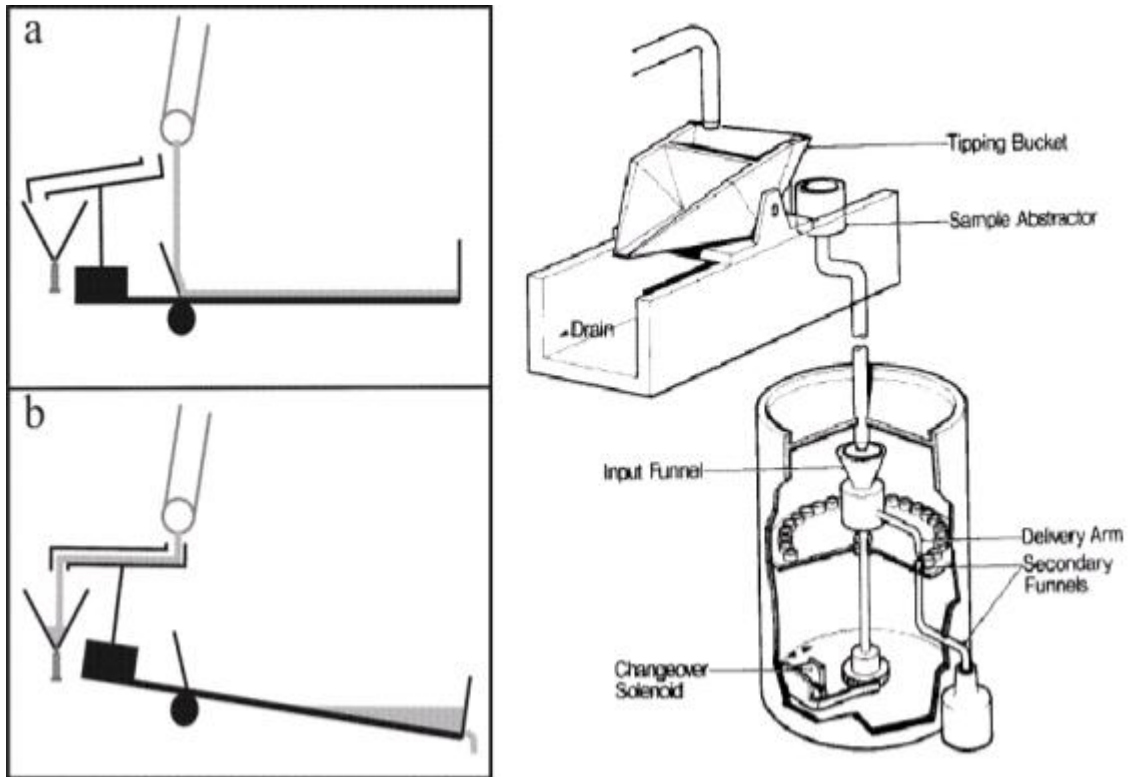
Oplossingsrichting 2: debietproportionele afvoerscheiding

Bij de tweede oplossingsrichting wordt eerst een debietproportioneel monster gescheiden van de hoofdwaterstroom. Dit monster wordt in zijn geheel door een SorbiCell geleid. De relatie tussen de waterdruk op de SorbiCell en het bemonsteringsvolume is niet meer van belang. Het watervolume dat door de SorbiCell wordt geregistreerd is een vooraf bepaalde, vaste fractie van het draindebiet.

Een eerste mogelijkheid voor debietproportionele debietscheiding is de 'tipping-bucket' (Figuur 2.7). Dit systeem wordt ook gebruikt bij continue metingen van neerslaghoeveelheden en neerslagintensiteit. Voor een debietproportionele bemonstering van een drain wordt eerst een groot vat gevuld met drainwater. Bij een bepaald volume kantelt de tipping bucket door het gewicht van dit vat. Terwijl het vat leegstroomt, wordt het draineffluent kortstondig naar een SorbiCell geleid, waarna het systeem terugkantelt. De rechterFiguur in Figuur 2.7 geeft een debietproportionele bemonsteringopstelling van Holdsworth & Roberts (1982), waarbij een tipping bucket is gebruikt voor het vullen van monsterflesjes in een autosampler. Tipping buckets worden onder andere veel toegepast voor neerslagmetingen en zijn daardoor goed doorontwikkeld en betrouwbaar en robuust. Een nadeel van een debietproportioneel bemonsteringssysteem voor drainwater met een tipping bucket is dat het water vrij weg moet kunnen stromen. Bij toepassing onder het slootpeil betekent dit dat er een pomp nodig is.

Een andere mogelijkheid is de drip-sampler (Figuur 2.8). Via een soort ventiel in de drainbuis drupt een klein deel van de drainafvoer naar beneden. Met gaatjes op verschillende hoogtes kan dit monster proportioneel gemaakt worden aan het draindebiet. Het opgevangen water kan door een SorbiCell worden geleid. Een nadeel van dit systeem is de gevoeligheid voor het dichtslibben van de gaatjes. Hiernaast zijn er twijfels over in hoeverre deze methode debietproportioneel te krijgen is.

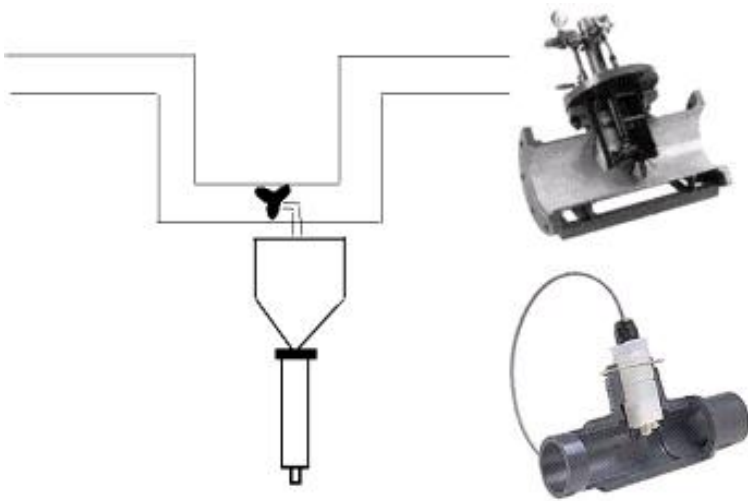
Een derde mogelijk bruikbaar systeem voor het afscheiden van een debietproportioneel monster, zijn de impeller-type samplers, ofwel de propeller-samplers (Figuur 2.9). Bij deze sampler wordt een propeller aangedreven door de stroming van het drainwater. Na een vastgesteld aantal omwentelingen van de propeller wordt een vast volume aan de hoofdstroom onttrokken voor bemonstering. Dit water kan vervolgens door een SorbiCell worden geleid. Voor een eenduidige lineaire relatie tussen de drainafvoer en de stroomsnelheid van het drainagewater moet de drainbuis geheel gevuld zijn. Hiertoe is de propeller-sampler in Figuur 2.9 getekend in een U-vormige buis. Doordat het systeem wordt aangedreven door de kracht van het stromende water is er verder geen elektronica nodig. De bemonstering kan gecombineerd worden met een continue en relatief nauwkeurige registratie van het debiet en is toepasbaar bij een grote range aan stroomsnelheden. Mogelijke nadelen zijn de blokkerende werking en de gevoeligheid van de bewegende onderdelen voor aanslag en dichtslibben.



Figuur 2.7: Tipping-bucket systeem voor debietproportionele bemonstering.



Figuur 2.8: Drip sampler.



Figuur 2.9: Impeller-type sampler, ofwel propeller-sampler.

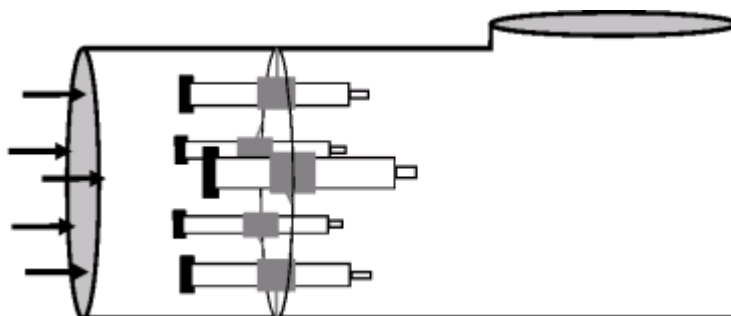
2.4 Resultaten vooronderzoek

In het vooronderzoek (Rozemeijer et al., 2010b) heeft Deltares in opdracht van het RIVM de mogelijkheden verkend voor debietproportionele drainwaterkwaliteitsmetingen met SorbiCells. Aan de hand van een aantal brainstorm- en ontwerp sessies is een voorkeursoptie voor een debietsproportionele opstelling uitgewerkt in een voorontwerp. Het voorkeursontwerp is gebaseerd op de toepassing van SorbiCells in stromend oppervlaktewater, waarbij de kinetische waterdruk zorgt voor het benodigde drukverschil over de SorbiCell. Figuur 2.10 is een schets van de meest eenvoudige variant van het voorkeursontwerp. Het is een opzetstuk met een uitstroomopening aan de bovenkant. De SorbiCells worden horizontaal in een houder geïnstalleerd. Doordat de uitstroomopening zich aan de bovenkant bevindt is de buis altijd geheel met water gevuld, ongeacht de afvoerhoeveelheden. Hierdoor is er een lineaire relatie tussen de stroomsnelheid van het water en de afvoer. Bij een gedeeltelijk gevulde buis is dat niet het geval. De snelheid van het stromende water zorgt voor kinetische waterdruk op de instroomopening van de SorbiCell. Afhankelijk van de stroomsnelheid stroomt er meer of minder water door de SorbiCell.

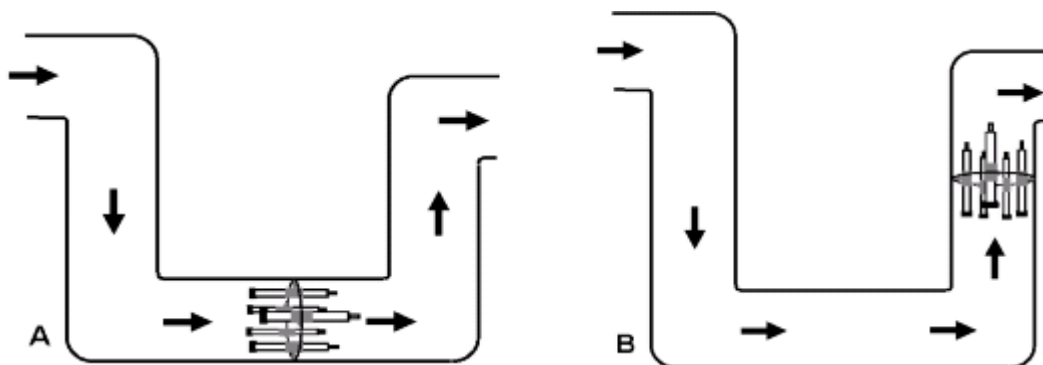
De voordelen van deze opstelling zijn de eenvoud, het installatiegemak en de robuustheid. Voor de installatie is geen graafwerk nodig. Doordat de kracht van de waterstroming wordt gebruikt voor de bemonstering bevat de opstelling geen elektronica en is er geen elektronische voeding nodig. Dit scheelt kosten en verhoogt de robuustheid van de opstelling. Een groot voordeel van de opstelling is dat het voor de werking niet uitmaakt of de drain onder of boven het slootwaterpeil uitmondt. Hierdoor is het systeem in principe overal toepasbaar. Oppervlaktewater dat via de drains infiltreert wordt niet bemonsterd, tenzij de SorbiCell specifiek voor dat doel andersom gemonteerd wordt.

Een nadeel van de opstelling is dat het drainwater iets wordt opgestuwd (ca. 5 cm, afhankelijk van de dikte van de drain) aan het einde van de drainbuis. Dit zorgt voor iets verhoogde grondwaterstanden, maar kan ook de afvoer en dus ook de vracht vanuit de bemeten drains verminderen. Dit mogelijke probleem kan worden ondervangen door de SorbiCells te installeren in een U-vormige buis (Figuur 2.11a). Een ander mogelijk probleem is het geleidelijk toenemen van de instroomweerstand van de SorbiCells door het dichtslibben met deeltjes. Dit probleem kan worden ondervangen door de SorbiCells met de instroomopening naar beneden te plaatsen in het deel van de U-vormige buis waar het water naar boven

stroomt (Figuur 2.11b). Een ander mogelijk probleem van de opstuwing is het veranderen van de redoxcondities, wat invloed kan hebben op de concentraties van redoxgevoelige parameters.



Figuur 2.10: Schets van het opzetstuk voor debietproportionele metingen met SorbiCells.



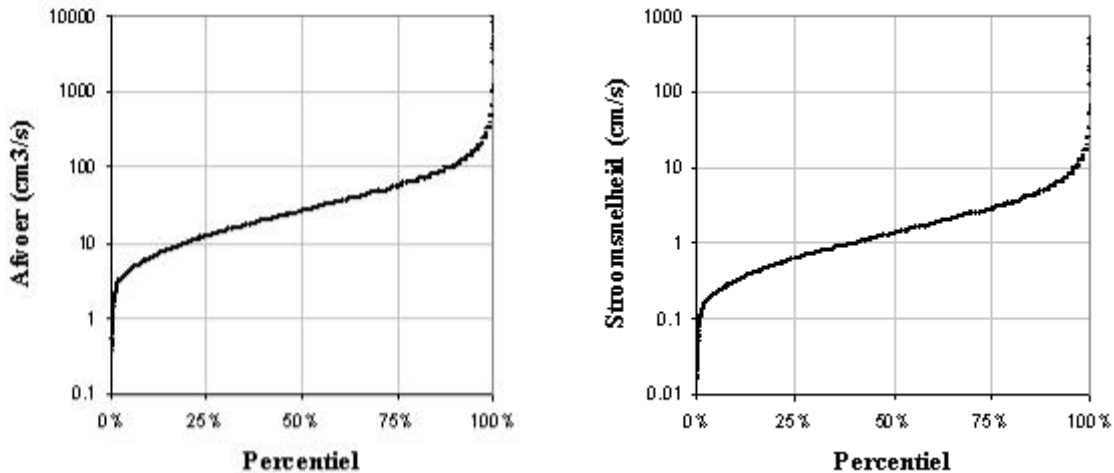
Figuur 2.11: Opstelling met een U-vormige buis ter voorkoming van extra opstuwing (A) en ter voorkoming van het dichtslibben van de SorbiCells (B).

2.5 Aandachtspunten

Voordat het hiervoor beschreven voorkeursontwerp toegepast kan worden, zijn er nog diverse tests in het laboratorium en in het veld nodig. Hier beschrijven we een aantal aandachtspunten, die in de volgende hoofdstukken geadresseerd zullen worden.

Ten eerste zal de SorbiCell zelf moeten worden aangepast om ook bij relatief lage stroomsnelheden water te bemonsteren. De gemeten afvoeren in het LMM en de daaruit berekende stroomsnelheden zijn weergegeven in Figuur 2.12. Vooral de stroomsnelheden binnen het bereik van 1-10 cm/s zijn belangrijk voor een goede vrachtbepaling. Bij metingen in oppervlaktewater in Denemarken is reeds de goede werking van de SorbiCells bij stroomsnelheden van 10-50 cm/s aangetoond. Om de lagere stroomsnelheden goed te kunnen meten zal de weerstand in de SorbiCells moeten worden verlaagd. De weerstand van de huidige SorbiCells wordt bepaald door weerstandsschijfjes en door een klein compartiment met silicakorreltjes. Deze weerstanden kunnen worden verminderd of verwijderd. Aandachtspunt hierbij is dat het tracer-zout niet bepalend mag worden voor de weerstand. Dit zout lost immers langzaam op en dit mag geen verlaging van de weerstand

van de SorbiCell veroorzaken. Ook het eventueel dichtslibben met fijne deeltjes mag geen verlaging van de doorstroming veroorzaken.



Figuur 2.12: Frequentiediagrammen van de gemeten afvoeren van de drains uit het LMM (1997-2008) en daaruit berekende stroomsnelheden bij volledig gevulde drainbuis met een doorsnede van 5 cm. Let op: de y-as is op log-schaal.

Een ander aandachtspunt is de mogelijkheid voor lange installatieperiodes. In verband met de grote spreiding in stroomsnelheden en met de toepasbaarheid in brak water is een grotere capaciteit mogelijk nodig. Ten behoeve van metingen in brak drainwater in Zeeland heeft SorbiSense al een prototype van een SorbiCell met een grotere adsorptiecapaciteit gemaakt en in het laboratorium getest. Mogelijk is ook een vergroting van de capaciteit van het zoutcompartiment nodig. Tevens zal een langere installatieperiode een langere bewaartermijn van de SorbiCells in het veld vereisen. SorbiSense is aan het testen met langere bewaartermijnen van de SorbiCells.

Mogelijk heeft diffusie invloed op de SorbiCell metingen bij lage stroomsnelheden. Het is niet bekend in hoeverre SorbiCells door diffusie stoffen vastleggen in het adsorptiecompartiment zonder dat er water door stroomt. Dit kan vrij eenvoudig worden getest door een SorbiCell gedurende bijvoorbeeld een maand in stilstaand nitraatrijk water te bewaren. Mocht er inderdaad diffusie optreden dan kan hiervoor worden gecorrigeerd door in de opstelling een SorbiCell andersom te installeren.

Tabel 2.1 geeft een overzicht van de hier beschreven aandachtspunten, oplossingen en onderzoeksvragen voor de laboratorium- en veldtests.

Tabel 2.1: Samenvatting van aandachtspunten, eventuele oplossingen en onderzoeksvragen voor de laboratorium- en veldtests.

Aandachtspunt	Eventuele oplossing	Vraag voor lab- en veldtests
Relatief lage stroomsnelheden	* Verlaging van de weerstand van de SorbiCell * Verhoging van de stroomsnelheid door een versmalling of trechttertje	Kan de weerstand voldoende worden verlaagd voor een debietproportionele meting van drainwater?
Dichtslibben	* U-vorm * SorbiCells verticaal met instroomopening aan de onderkant	In welke mate treedt het dichtslibben op en wat is het effect op de doorstroming?
Lengte installatieperiode	Grotere capaciteit van de SorbiCells	In hoeverre kan de capaciteit worden vergroot en de installatieperiode worden verlengd?
Diffusie	Correctie middels omgekeerde SorbiCell	Kan diffusie van stoffen de SorbiCell-meting beïnvloeden?

2.6 Conclusies uitgangspunten en randvoorwaarden meetsysteem

- Het te ontwikkelen meetsysteem moet eenvoudig te installeren zijn, mag geen afvoerblokkerende werking hebben, moet robuust zijn en moet geschikt zijn voor meerdere meetcellen, voor toepassing boven en onder het slootpeil en voor langere meetperiodes (1-6 maanden).
- Er zijn nog geen meetsystemen voor het meten van afvoergemiddelde concentraties en vrachten die aan de bovenstaande randvoorwaarde voldoen.
- Uit evaluatie van SorbiCells blijkt dat dit passieve meetsysteem goede tijdgemiddelde concentratiemetingen oplevert. Afvoergemiddelde metingen met SorbiCells zijn mogelijk door gebruik te maken van de waterdrukgevoeligheid van de SorbiCells of door een debietproportioneel deel van de afvoer te scheiden en door een SorbiCell te leiden.
- In het voorontwerp (Figuur 2.10 en 2.11) wordt gebruik gemaakt van de waterdrukgevoeligheid van de SorbiCells door de SorbiCells in de stroming van de drain te plaatsen en ervoor te zorgen dat de drain volledig gevuld is.
- Laboratorium- en veldtest zijn nodig om het ontwerp te testen. Aandachtspunten hierbij zijn de relatief lage stroomsnelheden (1-10 cm/s), de lengte van de installatieperiode en de mogelijke invloed van dichtslibben en diffusie op de metingen.

3 Ontwikkeling prototype en laboratoriumtests

In dit hoofdstuk beschrijven we de ontwikkeling van prototypes voor het debietproportionele meetsysteem en het labonderzoek naar de werking ervan. Gezien de resultaten van het vooronderzoek is in eerste instantie ingezet op systemen zoals in Figuur 2.10 en 2.11, waarbij de met de afvoer variërende kinetische waterdruk op de SorbiCell zorgt voor de debietproportionele werking. De eerste tests met dit systeem worden beschreven in paragraaf 3.1. Uit deze tests is echter gebleken dat de waterdruk op de instroomopening van de SorbiCells niet alleen van de afvoer afhankelijk is, maar ook van andere onvoorziene invloeden (turbulentie, luchtbellen). Daarom is overgestapt op een prototype met een einddop met een Sutro-uitlaat (de Flow-Cap), waarbij er wel een reproduceerbare relatie is tussen de afvoer en de doorstroming door de SorbiCells. De tests met deze variant worden beschreven in paragraaf 3.2. De laboratoriumexperimenten zijn uitgevoerd in het laboratorium van SorbiSense te Denemarken.

3.1 Kinetische waterdruk-variant

Voor de laboratoriumtests met het meetsysteem dat gebruik maakt van de kinetische waterdruk op de SorbiCell-opening zijn de volgende stappen doorlopen:

- 1 Verlagen van de hydraulische weerstand van de SorbiCells en stroombad-tests voor onderzoek naar de doorstroming van de SorbiCells bij verschillende stroomsnelheden (paragraaf 3.1.1)
- 2 Ontwerp van een prototype meetsysteem (3.1.2)
- 3 Tests debietproportionaliteit van het meetsysteem (paragraaf 3.1.3)

3.1.1 Verlagen hydraulische weerstand en stroombad-tests

Uit het vooronderzoek bleek dat er een aanpassing nodig is om de SorbiCell geschikt te maken voor het relatief lage bereik aan stroomsnelheden van 1-10 cm/s (zie paragraaf 2.5). Hiertoe moet de hydraulische weerstand van de SorbiCell worden verlaagd. Het gaat er hierbij om de juiste balans te vinden in de porositeit en weerstand van de tussenfilters die de verschillende compartimenten afscheiden. Het onderzoek onderscheidt de volgende stappen:

- Verlagen en stabiliseren van de hydraulische weerstand in de SorbiCells door middel van het aanpassen van de filters;
- IJking van de verhouding tussen hydraulische weerstand en stroomsnelheid aan de hand van chemische analyses (uitgevoerd met standaardwater voor tuinbouwonderzoek (Jansen et al., 2011)).

Er is gebruik gemaakt van twee typen filters, namelijk "fritted" borosilicaat glasfilters, en glasfiber filters. Borosilicaat glasfilters kunnen worden geleverd in diverse porositeiten variërend van 1-500 μm . Voor de experimenten bestond al het vermoeden dat bij in-stream montage van glasfilters met porositeit 100-160 μm de invloed van diffusie en turbulentie niet kan worden uitgesloten. Met glasfiber filters zijn goede ervaringen met grondwaterbemonstering (drukmontages), maar de poriën zijn kleiner (naar schatting 2-15 μm) en niet variabel verkrijgbaar. Waarschijnlijk zijn de glasfiber filters ook meer gevoelig voor verstopping.

Tabel 3.1 Overzicht uitgevoerde experimenten.

Protocol	Datum	Meetopstelling	Doel
P090	24-6-2010	Drainbuis simulatie	Haalbaarheidstest voor bemonsteren met SC in vollopende buis via u-bocht
P093	15-6-2011	Stroombad	Visualiseren en testen hydraulische eigenschappen van SC: fritted glas vs. glasfiber voorfilters
P094	23-6-2011	Stroombad	Visualiseren en testen hydraulische eigenschappen van SC : fritted glas vs. glasfiber voorfilters, tevens test met afgesloten SorbiCell in verband met diffusie.
P097	26-7-2011	Stroombad	Visualiseren en testen hydraulische eigenschappen van SC: verschillende porositeit (RB1/RB2) en resin (NiP/CAN) als variërende factor
P100	23-10-2011	Drainbuis simulatie	Reproduceren van exp. P090. Test performance NiP vs. CAN

De invloed van filterkeuze op de doorstroming van de SorbiCell is in een reeks experimenten (nummers P93, P94, P97) getest in een stroombad, waarin de stroomsnelheid gecontroleerd kan worden. De patronen werden in een blok gefixeerd en vervolgens in het waterbad geplaatst (zie Figuur 3.2). Met een propeller wordt het water in het bad in beweging gebracht en rondgepompt. Aan het water is een negatief geladen groene kleurstof toegevoegd zodat de kleuring van het resin in de patronen een directe visuele reflectie is van de doorstroming door het patroon. De patronen werden gedurende een bepaalde periode aan een constante stroming blootgesteld waarna de patronen werden opgenomen en gefotografeerd.



Figuur 3.2: Stroombad in het Sorbisense laboratorium voor het testen van in-stream SorbiCells.

In experiment P93 is het gebruik van 3 verschillende filter-configuraties (fritted glasfilters, glasvezelfilters en een combinatie van beiden). Gekeken is of er goede doorstroming plaatsvindt bij een lage stroomsnelheid van 0,1 m/s. Onderstaande foto laat zien dat goede doorstroming optreedt bij de combinatie van fritted glas en glasvezel (middelste twee SorbiCells). Gebruik van uitsluitend fritted glasfilters resulteert in slecht reproduceerbare

doorstroming (twee linker SorbiCells), terwijl uitsluitend glasvezelfilters (twee rechter SorbiCells) te weinig doorstroming oplevert.



Figuur 3.3: Foto van patronen na 3 dagen plaatsing in doorstroombad bij een stroomsnelheid van 0,1 m/s, experiment P093. De linker 2 SorbiCells hebben fritted glasfilters, de middelste 2 hebben glasvezelfilters aan de bovenzijde en de rechter 2 glasvezelfilters aan twee zijden.

In experiment P094 is getracht het voorgaande te reproduceren en tevens te toetsen of er sprake is van diffusief transport, door een duplicaat aan de benedenstroomse zijde af te sluiten. Uit de resultaten bleek dat geen sprake is van diffusief transport (zie foto hieronder), maar ook dat de eerdere goede respons van SorbiCells uitgerust met glasvezelfilters niet reproduceerbaar blijkt te zijn.



Figuur 3.4: Foto van patronen na 4 dagen plaatsing in doorstroombad bij stroomsnelheid van 0,1 m/s, experiment P094. De linker vier hebben fritted glasfilters en de rechter 4 glasvezelfilters aan de bovenzijde. Per groep van vier zijn de linker 2 (met de dopjes aan de onderkant) afgesloten geweest om te controleren op diffusie.

Hierna is de doorstroming bij twee verschillende porositeiten van de glasfilter vergeleken: 60-100 μm en 100-160 μm (experiment P097). Tevens is doorstroming van SorbiCell CAN vergeleken met SorbiCell NiP. De SorbiCell CAN heeft een zogenaamd "mixed bed" waarin zowel cationen als anionen gewisseld worden, in tegenstelling tot NiP waarin uitsluitend anionen gewisseld worden. De reden om het verschil in doorstroming te testen is dat het resin van SorbiCell NiP vrij elastisch is, wat mogelijk de slechte reproduceerbaarheid bij de eerdere experimenten kan verklaren. Uit onderstaande foto blijkt dat beide glasfilter goede doorstroming geeft voor de SorbiCell CAN.



Figuur 3.5: Foto van patronen na 3 dagen plaatsing in doorstroombad bij een stroomsnelheid van 0,1 m/s, experiment P097. De linker 4 SorbiCells zijn NiP- en de rechter 4 CAN-SorbiCells. Van deze 4 hebben de linker 2 een 60—100µm en de rechter 2 een 100-160 glasfilter.

De hydraulische weerstand blijkt het meest stabiel bij gebruik van de glasfilter met een porositeit van 60-100 µm. Hierna is gekozen om SorbiCell NiP en CAN te testen onder gesimuleerde draincondities, met gebruik van de glasfilter met porositeit 60-100 µm. Gelijkzeitig zijn enkele SorbiCells in de waterbak geplaatst met een dichte einddop, waarmee de mogelijke invloed van diffusie wordt gecontroleerd.

Tijdens het experiment in de waterbak zijn ook enkele SorbiCells geplaatst (1) in de stromingsrichting met een gesloten einddop en (2) omgekeerd met de opening aan de opstroomse kant (zonder einddop). Hiermee is gecontroleerd of er diffusie optreedt in de SorbiCells. Het stromende water drukt immers wel tegen de opening, maar kan de SorbiCell niet passeren vanwege het gesloten uiteinde. De SorbiCells waren voorzien van glasfilters met een porositeit van 60-100 µm (gelijk aan de overige Cells in het experiment). Tijdens deze proef werd geen verkleuring zichtbaar in de SorbiCell, wat erop duidt dat er geen diffusie optreedt.

3.1.2 Ontwerp prototype

Als resultaat van het vooronderzoek zijn 2 opzetstukken beschreven die het meest geschikt leken (zie paragraaf 2.4 en Figuur 2.10 en 2.11.) De eerste optie (Figuur 2.10) is een aan het uiteinde van de drainbuis te monteren opzetstuk met een uitstroomopening in een 90 graden bocht naar boven. De SorbiCells worden horizontaal bevestigd met de instroomopening tegen de stroming van het drainwater in. Het opzetstuk zorgt ervoor dat de drainbuis altijd geheel gevuld is met water, waardoor er een lineair verband is tussen de afvoer en de stroomsnelheid.

Een eerste prototype van een 90-graden opzetstuk is reeds ingezet op een onderzoekslocatie van Waterschap Rivierenland (zie Figuur 3.6). Deze test liep parallel met de laboratoriumtests en er is nog niet gewerkt met een SorbiCell met een verlaagde doorstroom weerstand. In bijlage D zijn de opzet van deze test en de resultaten beschreven.

Naast de 90-graden variant zijn er ook prototypes ontwikkeld met een U-buis constructie (Figuur 2.11). De 90-graden bocht zorgt namelijk voor enige opstuwing, wat vooral bij perceeldrainen niet wenselijk is. Opstuwing zorgt voor hogere grondwaterstanden, wat ongunstig kan zijn voor het agrarisch gebruik. Bovendien beïnvloedt opstuwing de drainafvoer en dus ook de vrachtmeting. Indien het dichtslibben van de instroomopening van de SorbiCells een probleem vormt, biedt de U-buis constructie ook een oplossing. De SorbiCells kunnen met de instroomopening naar beneden in de U-buis geïnstalleerd worden.



Figuur 3.6: Installatie van een prototype met 90 graden bocht aan het lozingspunt van een kas met grondgebonden chrysantenteelt in het Land van Maas en Waal.

3.1.3 Tests debietproportionaliteit van het meetsysteem

Drie opstellingen met een U-buis constructie opzetstuk zijn opgebouwd (zie Figuur 3.6). De afvoer van de drains is ingesteld op 9, 4 en 0,66 L/min. Dit correspondeert met stroomsnelheden in de volledig gevulde buis van 10, 5 en 1 cm/s. Deze stroomsnelheden komen overeen met de gemeten afvoeren in het LMM (zie Figuur 2.18). In het onderste horizontale deel van de U-vormige buis zijn 3 SorbiCells geplaatst, 2 x NiP en 1 X CAN.



Figuur 3.6: Laboratorium testopstellingen met in-stream installatie in u-vormige opzetstukken

De bruto oppervlakte per SorbiCell (dwarsdoorsnede) bedraagt $1,13 \text{ cm}^2$. De bruto oppervlakte van het inwendige van de buis (dwarsdoorsnede) bedraagt $13,85 \text{ cm}^2$. De relatieve oppervlakte van de "vrije doorstroming" is dan: $100\% - (3 \cdot 1,13) / 13,85 = 76\%$. Dit betekent dat de werkelijke stroomsnelheid ter hoogte van de SorbiCells circa 33% hoger ligt.

Gedurende 3 weken is er een constant debiet gepompt. Het debiet is dagelijks gecontroleerd. Na 7, 14, en 21 dagen zijn er foto's van de SorbiCells genomen.

De eerste visuele inspecties van de SorbiCells (Figuur 3.7 t/m 3.9) laten een goed verband zien tussen de opgelegde afvoer en de indringingsdiepte van de kleurstof en hoeveelheid verdwenen zout uit de SorbiCells. Bij lage stroomsnelheid (1 cm/s) is na 3 weken verkleuring en een geringe afname van het tracerzout te zien (Figuur 3.7). Bij de hoogste stroomsnelheid (10 cm/s) is het tracerzout na drie weken bijna helemaal verdwenen. Deze resultaten duiden erop dat de meetopzet de range van stroomsnelheden in drains goed aankan.

Ondanks de positieve visuele resultaten bleek uit de gemeten hoeveelheden tracerzout en NO_3 concentraties dat de relatie met de afvoer niet reproduceerbaar is. Ook uit vervolgtests kwamen geen goede reproduceerbare resultaten.

Als vervolg op dit resultaat is gezocht naar de oorzaak van de slechte relatie tussen afvoer en SorbiCell-doorstroming. In het stroombad (Figuur 3.2) is nogmaals getest of de lineaire relatie tussen stroomsnelheid en doorstroming reproduceerbaar is. Dat bleek nog niet het geval en de oorzaak van de slechte relatie moest gezocht worden in de installatie in de buis. Als eerste optie is gekeken of turbulente stroming in de buis de oorzaak is. Dit zou opgelost kunnen worden door de SorbiCells op voldoende afstand tot de bochten te installeren (5x de buisdiameter na een bocht en 3x de buisdiameter voor een bocht). Bij een test in een rechte buis bleek er echter ook geen goede relatie tussen afvoer en SorbiCell-doorstroming te zijn. Ook andere tests met flauwe bochten (V-vorm) en een geribbelde buis leverden geen goede resultaten op.

In vervolgtests is met kleurtracers gewerkt om de stroming zichtbaar te maken. De SorbiCells zijn daarbij geïnstalleerd in doorzichtige buisstukken, zodat ook de stroming rond de SorbiCell-montage zichtbaar is. Uit deze tests bleek dat luchtbellen die in de buis 'gevangen' zitten veel invloed hebben op de stroming. Daarnaast veroorzaakt de SorbiCell zelf een verstoring van het stromingspatroon in de buis. We verwachten dat deze verstoringen van het stromingspatroon ook in veldsituaties een goede debietproportionele meting in de weg zullen staan. Daarom is besloten verder af te zien van verdere tests met de kinetische waterdruk-variant van het meetsysteem.

Er zijn nog wel twee tests gedaan met een trapezoïde-vormige meetgoot (Pastifab, USA) aan het eind van de drains (zie Figuur 3.12). Uit deze test bleek dat de doorstroming door de SorbiCells goed op gang komt, maar deze doorstroming is ook niet debiet-proportioneel.



Figuur 3.7: Fotoserie na 1,2 en 3 weken doorstroming (van links naar rechts) van patronen bij plaatsing in drains bij een stroomsnelheid van 1 cm/s, P100



Figuur 3.8: Fotoserie na 1,2 en 3 weken doorstroming (van links naar rechts) van patronen bij plaatsing in drains bij een stroomsnelheid van 5 cm/s, P100



Figuur 3.9: Fotoserie na 1,2 en 3 weken doorstroming (van links naar rechts) van patronen bij plaatsing in drains bij een stroomsnelheid van 10 cm/s, P100

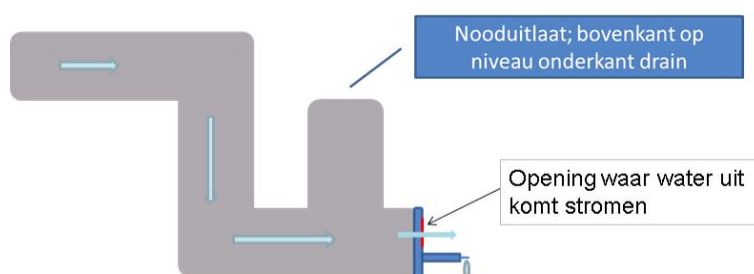


Figuur 3.10: SorbiCell geïnstalleerd in een trapezöide-vormige meetgoot (Pastifab, USA)

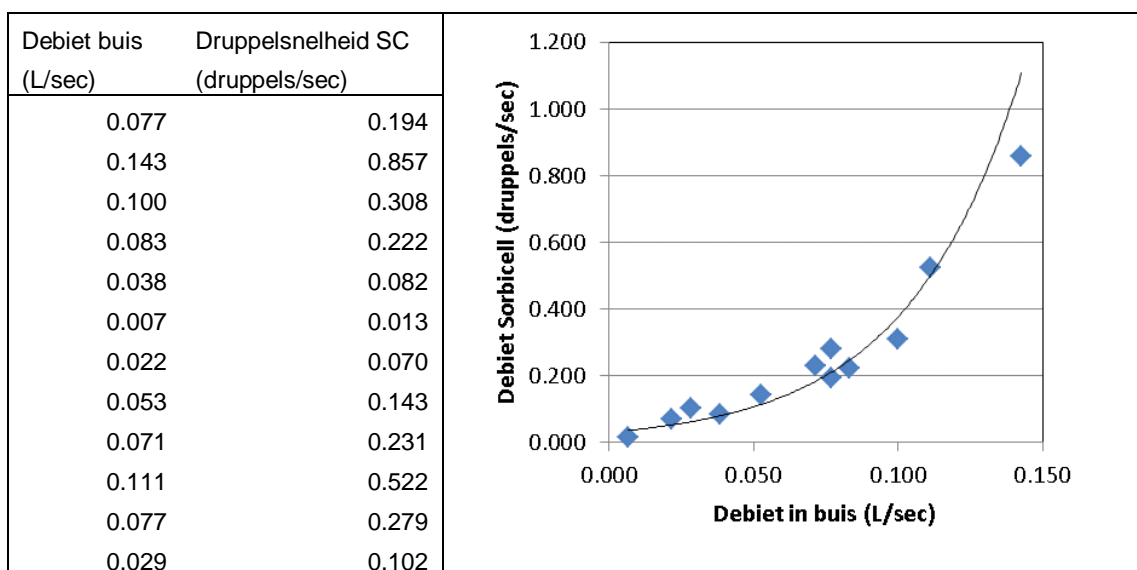
3.2 Einddop-variant: de Flow-Cap

Gezien de slechte debietproportionaliteit van de kinetische waterdruk-variant is verder ingezet op een nieuw ontwerp: de einddop-variant, die later de Flow-Cap is genoemd. Bij deze variant wordt de drain of lozingsbuis aan het eind afgesloten met een dop. In deze dop zitten ronde openingen voor de waterafvoer en bevestigingsplaatsen voor SorbiCells (zie Figuur 3.11). De bemonsteringssnelheid van de SorbiCells is bij deze variant afhankelijk van het waterniveau en de waterdruk aan de binnenkant. Dit waterniveau hangt af van de drainafvoer (zie ook kader "Theorie: stroming door een gat").

In eerste instantie is dit principe getest met één uitstroombuis. In Figuur 3.12 is het opgelegde debiet uitgezet tegen de doorstromingsnelheid door de SorbiCells. De bemonstering is afvoerproportioneel, maar de relatie is niet lineair. Dit was ook te verwachten, want de relatie tussen de afvoer door het gat en het waterniveau aan de binnenkant is niet lineair (zie kader).



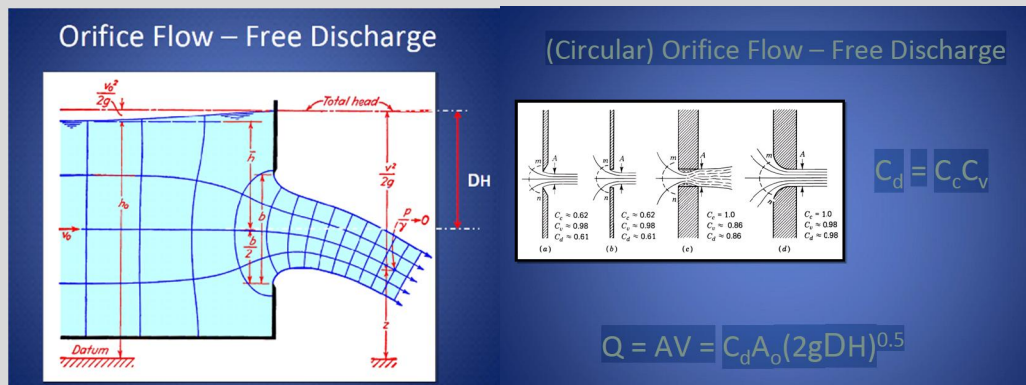
Figuur 3.11: Schematische weergave van de Flow-Cap. De nooduitlaat zorgt dat er geen opstuwning van water op kan treden.



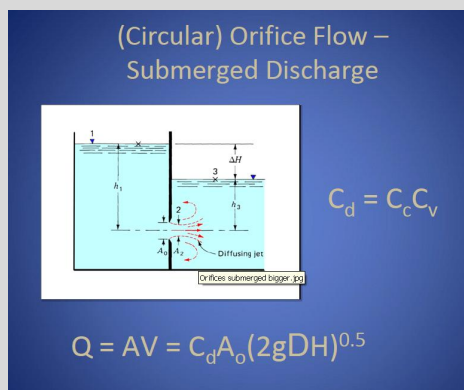
Figuur 3.12: Resultaten van de labtest met betrekking tot de debietproportionaliteit van de Flow-Cap met 1 afvoergat. Hier zijn het opgelegde debiet en de druppelsnelheid door de SorbiCell weergegeven.

Theorie: stroming door een gat

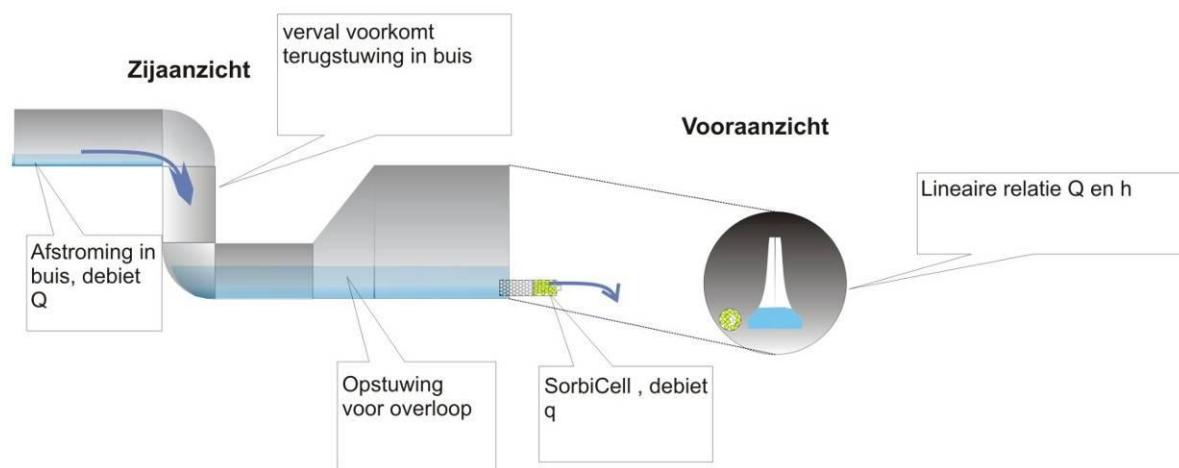
De relatie tussen waterhoogte/waterdruk en de afvoer door een uitstroomopening is theoretisch af te leiden (zie onderstaande Figuur). De afvoer (Q) is het product van de oppervlakte van het uitstroomgat (A) en de stroomsnelheid door het gat (V). In de formule wordt de oppervlakte van het uitstroomgat met de factor C_d gecorrigeerd voor de vorm van de opening. De stroomsnelheid hangt af van de waterhoogte ten opzichte van het midden van het gat (D_H). Die relatie is niet lineair, wat tot uiting komt in de exponent.



Als het uitstroomgat zich onder water bevindt (zie onderstaande Figuur) geldt bijna dezelfde relatie als hierboven. Alleen is D_H vervangen door ΔH , wat het verschil is tussen het waterniveau aan de binnenkant en het waterniveau aan de buitenkant.



Om toch een lineaire relatie tussen de afvoer en de doorstroomsnelheid door de SorbiCells te krijgen is vervolgens getest met meerdere stroomgaten in een zogenaamd Sutro-profiel. Dit profiel heeft de vorm van een Eiffeltoren en zorgt voor een lineair verband tussen de afvoer en het waterniveau. De relatie tussen het waterniveau aan de binnenkant en de doorstroomsnelheid door de SorbiCells is ook lineair. Dit betekent dat er ook een lineaire relatie is tussen de afvoer en de doorstroomsnelheid door de SorbiCells. Het principe van de Flow-cap is weergegeven in Figuur 3.13. Het Eiffeltoren-vormige profiel is te benaderen met uitstroomgaten met een afnemende diameter van onder naar boven (zie Figuur 3.14). De dimensionering van de uitstroomgaten is weergegeven in tabel 3.2. Met deze prototypes zijn tests gedaan met verschillende opgelegde debieten (zie Figuur 3.15) en hydraulische weerstanden. Figuur 3.16 toont het lineaire verband tussen het debiet in de hoofdbuis (Q , x-as) en het debiet door de Sorbicell, momentaan gemeten aan de hand van de druppelfrequentie (q , y-as). De verschillende correlaties betreffen verschillende hydraulische weerstanden van de SorbiCells (Figuur 3.16).



Figuur 3.13: Ontwerp voor een opstelling met Flow-Cap voor een veldsituatie



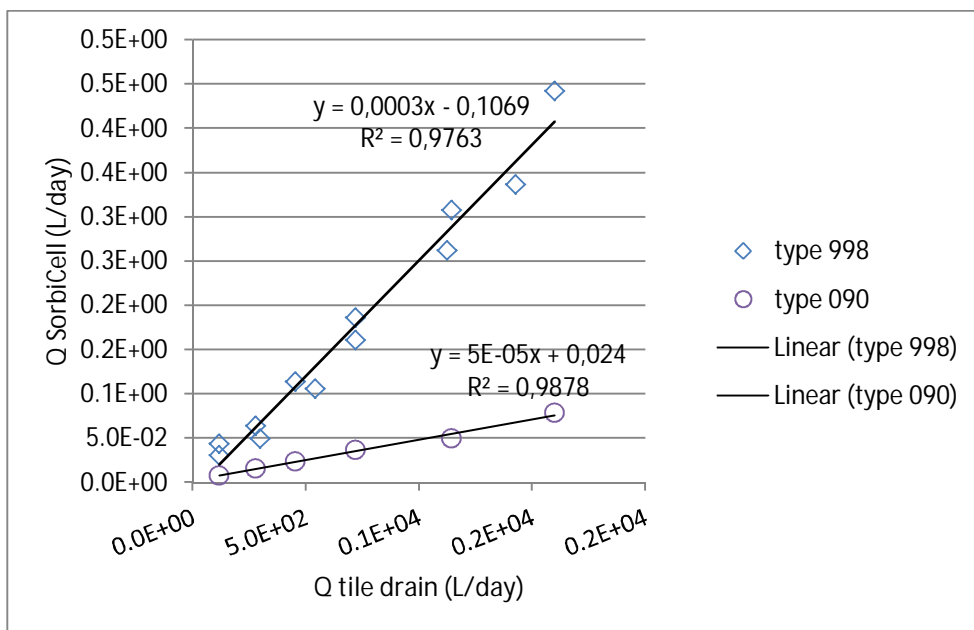
Figuur 3.14: Prototype van de Flow-Cap

Tabel 3.2: Dimensionering van de uitstroombaten in de Flow-Cap met Sutro-profiel. De meest rechtse kolom geeft het opgetelde uitstroomoppervlak inclusief de gaten onder het betreffende uitstroombat.

Hoogte (mm tov onderkant)	Diameter uitstroombat (cm)	Oppervlakte uitstroombat (cm ²)	Opgetelde oppervlakte uitstroombaten (cm ²)
10	0,9	0,64	0,64
20	0,8	0,50	1,14
30	0,8	0,50	1,64
40	0,6	0,28	1,92
50	0,6	0,28	2,21
60	0,5	0,20	2,4
70	0,5	0,20	2,6
80	0,5	0,20	2,79
90	0,4	0,13	2,92



Figuur 3.15: Testen van de Flow-Caps bij verschillende afvoeren



Figuur 3.16: Lineaire relatie tussen de afvoer door de buis en de bemonsteringsnelheid door de SorbiCells voor twee verschillende weerstanden.

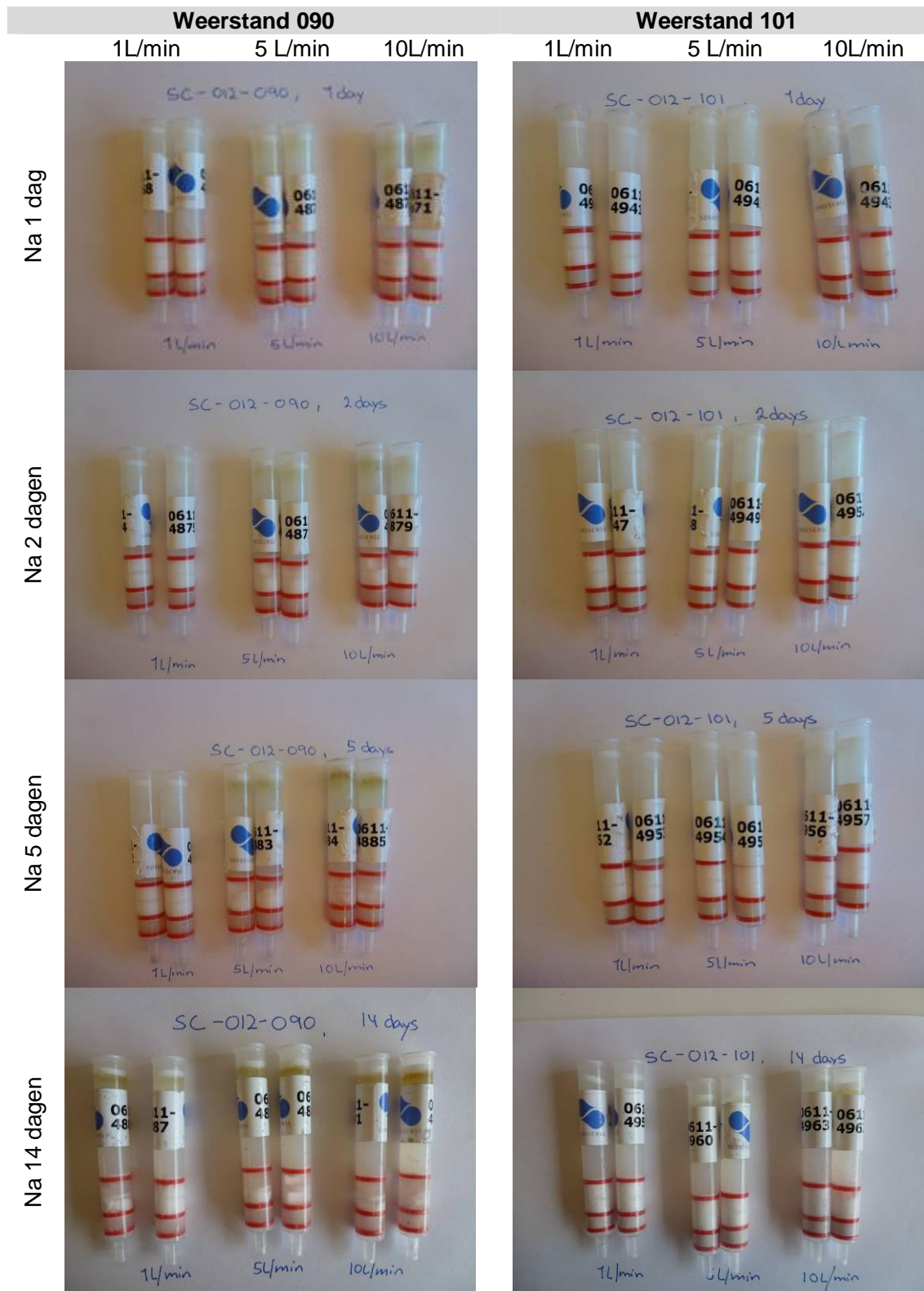
In een laatste test is onderzoek gedaan naar de relatie tussen het debiet door de lozingsbuis en het aan de hand van het tracerzout gemeten bemonsterde volume door de SorbiCells. De relatie in die Figuur 3.16 is weergegeven, is bepaald met druppelsnelheden door de SorbiCells. Bij deze vervolgtest zijn de volumes gebaseerd op metingen aan de hoeveelheid verdwenen tracerzout. Er is tevens gekeken naar de relatie tussen de lozingsvracht door de hoofdbuis en de hoeveelheid geaccumuleerde nitraat in de SorbiCells.

Er is getest met 3 debietniveau's (1; 5 en 10 L/min) en de Flow-Caps waren uitgerust met NiP-SorbiCells met 2 weerstanden (090 en 101). Foto's van de SorbiCells na 1, 2, 5 en 14 dagen zijn weergegeven in Figuur 3.17. In Figuur 3.18 zijn scatterplots opgenomen van de afvoer door de lozingsbuis versus de met tracerzout-analyses bepaalde doorstroomvolumes van de SorbiCells. De relatie tussen de afvoer door de lozingsbuis en de hoeveelheid in de SorbiCells geaccumuleerde nitraat is weergegeven in Figuur 3.19.

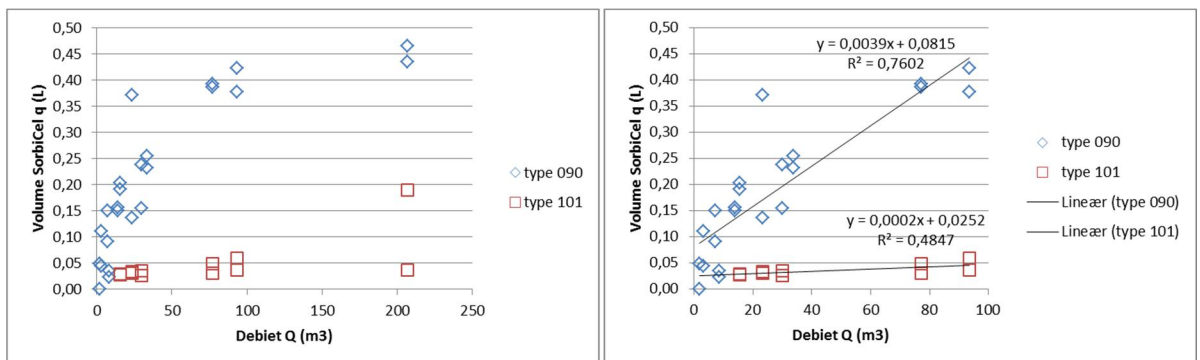
De foto's in Figuur 3.17 geven een kwalitatieve indruk van de doorstroming van de SorbiCells. Het meetbereik van de weerstand 090 blijkt goed te passen bij de debietniveau's en bemonsteringsperioden. De verkleuring van het resin en uitspoeling van het tracerzout is in kwalitatieve overeenstemming met de debietniveau's en bemonsteringsperioden. De weerstand 101 lijkt te hoog in relatie tot de debietniveau's en bemonsteringsperioden van dit experiment. Pas na 14 dagen is er een duidelijke doorstroming zichtbaar; bovendien lijkt het verschil tussen de duplicaten aanzienlijk te zijn.

De linker grafiek in Figuur 3.18 laat zien dat voor weerstand 090 sprake is van een niet-lineaire relatie tussen de doorstroomvolumes door de SorbiCells en de afvoer door de lozingsbuis. De verklaring hiervoor is dat boven een doorstroomvolume van 400 ml (equivalent aan 100 m³ afvoer door de hoofdbuis) er niet langer sprake is van een oplossingsevenwicht van het tracerzout. Het contact tussen het doorstromende water en het tracerzout is niet meer optimaal doordat veel van het zout al is verdwenen. Voor de gegevens met afvoeren <100 m³ (grafiek rechts in Figuur 3.18), blijkt dat de lineaire regressie coëfficiënt hoog is ($R^2=0,76$); wel is er sprake van een "off-set", d.w.z. dat de relatie niet door de oorsprong gaat. Waarschijnlijk heeft dit te maken met de positie van de SorbiCells ten opzichte van de onderkant van het Sutro-profiel. De sorbiCell heeft nog doorstroming terwijl er geen afvoer is, wat te verhelpen is door de openingen waarin de SorbiCells bevestigd worden iets hoger aan te brengen.

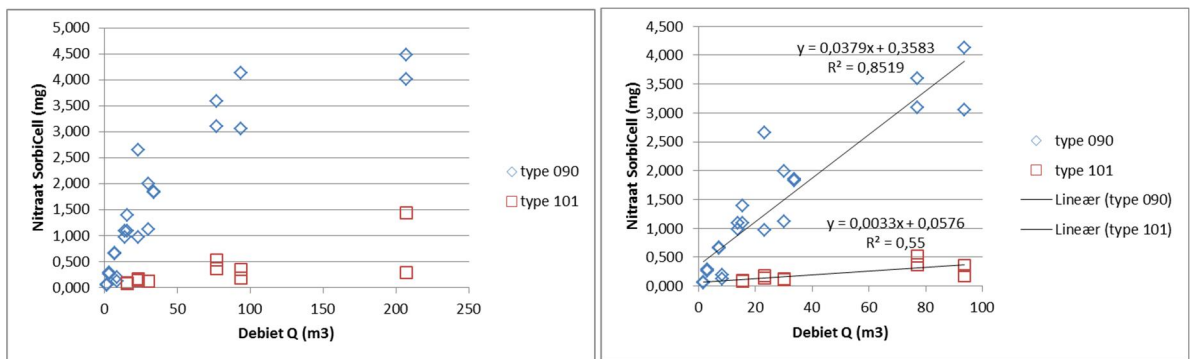
In Figuur 3.19 is te zien dat er voor weerstand 090 bij doorstroomvolumes onder de 400 ml (100m³ afvoer) een lineaire relatie is tussen de afvoer en de hoeveelheid in de SorbiCells geaccumuleerd nitraat. De lineaire regressiecoëfficiënt is hoog ($R^2=0,85$); wel is er sprake van een "outlier", d.w.z. een meting die duidelijk afwijkt. Dit betekent dat de Flow-Cap-vrachten 85% van de variantie in de werkelijke vrachten verklaren. Er is namelijk met een vaste concentratie gewerkt. De resultaten laten ook zien dat de weerstand 101 te hoog is voor de gekozen debieten en de gemeten waarden van nitraat bij deze weerstand niet betrouwbaar zijn.



Figuur 3.17: Foto's van de SorbiCells (weerstand 090 en 101) die bij verschillende debieten (1, 5 en 10 L/min) in Flow-Caps geïnstalleerd waren na 1, 2, 5 en 14 dagen. De verkleuring van het adsorbent reservoir (boven) en de mate van het verdwijnen van het tracerzout uit het zoutreservoir (onder) geven een kwalitatief beeld van de doorstroming.



Figuur 3.18: Relatie tussen gemeten volumes door de lozingsbuis en het met tracerzout-analyse bepaalde doorstroomvolume van in Flow-Caps geïnstalleerde SorbiCells. Links alle data en rechts alleen debieten $< 100 \text{ m}^3$.



Figuur 3.19: Relatie tussen gemeten volumes door de lozingsbuis en de hoeveelheid nitraat die geaccumuleerd is in de in Flow-Caps geïnstalleerde SorbiCells. Links alle data en rechts alleen debieten $< 100 \text{ m}^3$.

3.3 Conclusies na laboratoriumtests

- De kinetische waterdruk-variant waarmee de eerste experimenten zijn gedaan levert geen reproduceerbare resultaten op. De oorzaak is het verstoren van het stromingspatroon in een buis door luchtballen en door de SorbiCells zelf.
- In de labtests treedt geen diffusie van stoffen op vanuit het water de SorbiCells in.
- De Flow-Cap met meerdere uitstroomgaten in een Sutro-profiel levert wel een debietproportionele bemonstering op met een lineair verband tussen afvoer en doorstroomsnelheid door de SorbiCells.
- Benadering van de vracht met Flow-Caps is mogelijk; de gemeten Flow-Cap-vrachten in de laboratoriumtests verklaren 85% van de variantie in de werkelijke vrachten.

4 Veldtests

Er zijn veldtests gedaan met verschillende typen van het debietproportionele meetsysteem. In het drainageseizoen 2011-2012 is getest met de in hoofdstuk 3 beschreven 'kinetische waterdruk variant'. Deze variant bleek uiteindelijk geen reproduceerbare resultaten op te leveren. In het drainageseizoen van 2012-2013 is getest met de Flow-Cap. De test zijn uitgevoerd op drie locaties; een glastuinbouw bedrijf in Bleiswijk, De Rusthoeve in Zeeland en een deelnemer aan het LMM in Zeewolde. De locaties en de resultaten uit de veldtests worden in dit hoofdstuk beschreven.

4.1 Glastuinbouwlocatie Bleiswijk

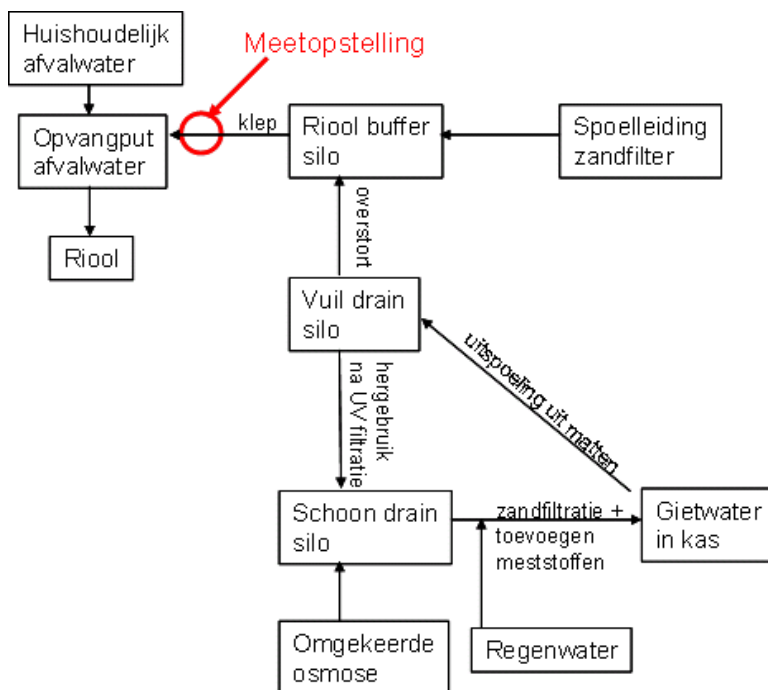
4.1.1 Locatiebeschrijving

Rozenkwekerij Boonekamp Roses B.V. is gelegen in Bleiswijk. De oppervlakte van het bedrijf is ca. 40320 m². In de kas worden rozen gekweekt op matten. Het gietwater wordt via buisjes aan de matten toegevoegd.

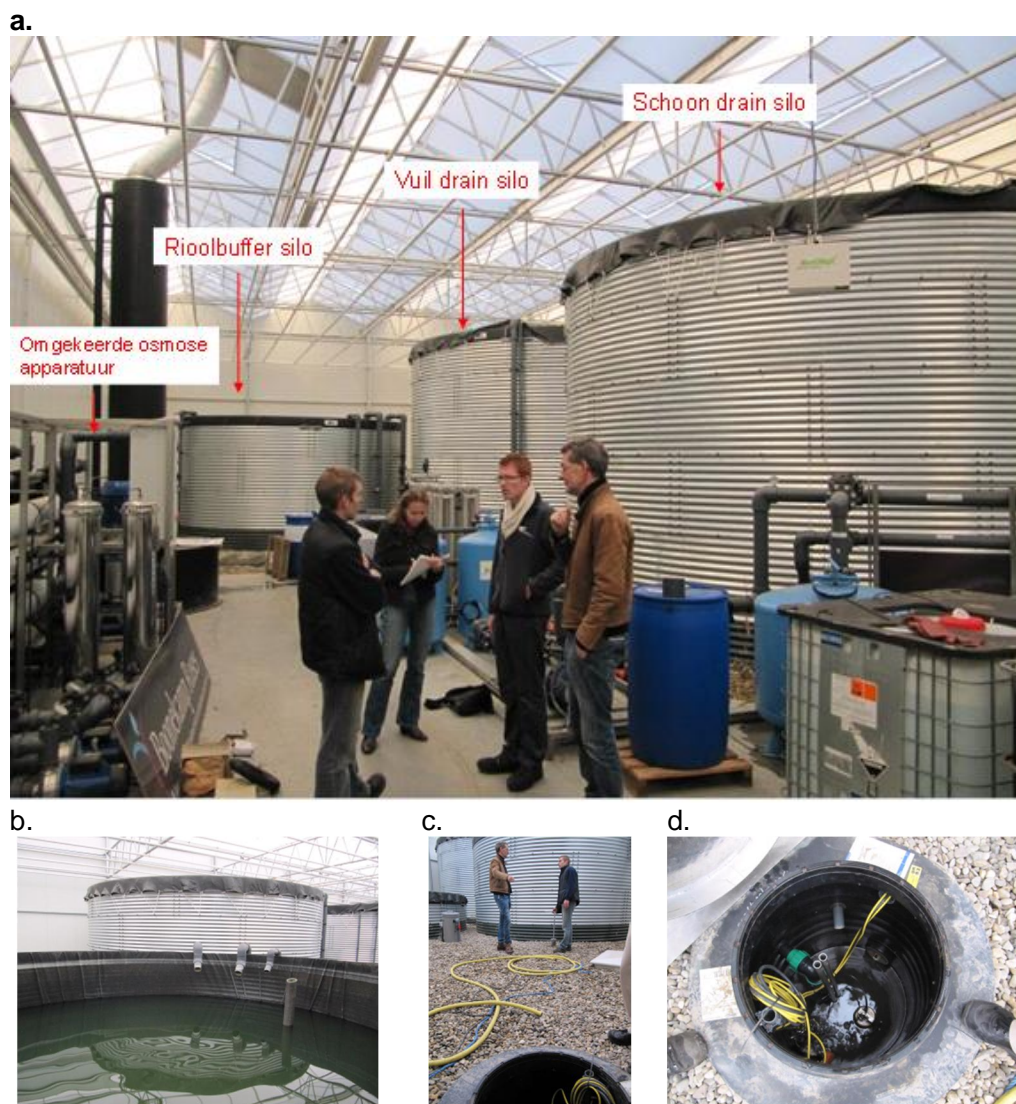


Figuur 4.1 Foto's Rozenkwekerij Boonekamp Roses. Op de rechterfoto zijn de voedingsmatten zichtbaar.

In Figuur 4.2 is een schematische weergave van de waterstromen op de glastuinbouwlocatie te zien. Figuur 4.3 illustreert de verschillende onderdelen van de waterstroom. Water wat als gietwater is toegediend aan de matten waarop de rozen gekweekt worden, spoelt uit en komt terecht in de vuilrain silo. Een deel van dit water wordt na UV-filtratie en zandfiltratie hergebruikt als gietwater. Ook regenwater en grondwater (na omgekeerde osmose om het zout te verwijderen) zijn bronnen van water in deze kwekerij. Voordat het gietwater aan de rozen wordt toegediend, worden er meststoffen aan toegevoegd. Het deel van het water uit de vuilrain silo dat niet wordt hergebruikt komt via een overstort in de rioolbuffer silo terecht. In de rioolbuffer silo komt ook water uit de spoelleiding zandfilter terecht. Via een ondergrondse buis komt het water uit de rioolbuffer silo in de opvangput voor afvalwater terecht. Deze stroom wordt gereguleerd door een klep. Bij een overmaat van water in de rioolbuffer silo kan er water uit het systeem worden gelaten door overstort op de sloot. Vanuit de kas wordt zeer onregelmatig geloosd.



Figuur 4.2 Schematische weergave waterstromen op de glastuinbouwlocatie.



Figuur 4.3 a. Overzicht schoondrain silo, vuil drain silo en rioolbuffer silo. b. Rioolbuffer silo van boven, op de achtergrond de vuil drain silo en de schoondrain silo. c. Rioolbuffer silo, klep en opvangput afvalwater. d. Bovenanzicht opvangput afvalwater.

4.1.2 Beschrijving meetopstelling

Om een beeld te krijgen van de hoeveelheden nutriënten die vanuit de kas geloosd worden, is de meetopstelling opgebouwd tussen de rioolbuffer silo en de opvangput van het afvalwater (zie Figuur 4.2). Aangezien de buis die van de rioolbuffer silo naar de opvangput afvalwater loopt onder de grond ligt, is de meetopstelling in een bak onder de grond ingebouwd.

De buis vanaf de rioolbuffer silo gaat via een bocht de bak in. Nadat de buis in de bak is, zit er een opening aan de bovenkant als nooduitlaat. Aan het einde van de bak gaat de buis via een bocht omhoog om te zorgen dat het de buis volledig gevuld is met water. Nadat het water door een watermeter is gestroomd komt het water in de bak terecht. Aan het uitstroompunt zijn SorbiCells geïnstalleerd op de conventionele manier (tijdgemiddelde concentraties) en in een Flow-Cap (debietgemiddelde concentraties) (zie Figuur 4.4b). In de bak is de Nitratax (zie uitleg hieronder) geïnstalleerd. Vanuit de bak kan het water weer de buis in stromen die verder loopt naar de opvangput afvalwater.



Figuur 4.4 Foto's van de meetopstelling

Met deze meetopstelling worden verschillende metingen uitgevoerd:

- Met de Sorbicellen in de Flow-Cap wordt over een bepaalde periode een debietproportionele nitraatconcentratie gemeten;
- Met de Nitratax wordt een UV-meting uitgevoerd waarbij wordt gekeken naar het stralingspectrum; nitraat adsorbeert een bepaald deel van de golflengtes. Hiermee worden continue metingen (eens per kwartier) van de nitraatconcentratie verkregen. De nitratax zit aangesloten op een computer/datalogger waarmee de informatie uitgelezen kan worden.
- Uit het water in de bak kunnen eens in de zoveel tijd steekmonsters gehaald worden en geanalyseerd worden op nitraat;
- De debietmeter is een pulsmeter. Telkens als er een bepaalde hoeveelheid water langs is gestroomd wordt er een pulsje afgegeven. Hieruit is het debiet af te leiden. De watermeter zit aangesloten op een computer/datalogger waaruit de data uitgelezen kan worden.

Bij de aanleg van de opstelling bleek dat er heel veel leidingen lopen tussen de rioolbuffer silo en de opvangput afvalwater. De afvoerbuus liep dan ook niet in een rechte lijn tussen de silo en de opvangput. Daarnaast was er maar zeer beperkte ruimte om de bak in te graven.

De klep waarmee de stroom kan worden gereguleerd bleek niet de hele stroom te kunnen afsluiten; er bleef onder alle omstandigheden water door de buis heen stromen. Omdat voor het installeren van de meetopstelling de buizen doorgezaagd moesten worden, is de hele rioolbuffer silo leeggepompt voordat de meetopstelling aangesloten kon worden.

4.1.3 Meetresultaten

De metingen op de glastuinbouwlocatie zijn eind 2012 gestart. Er is daardoor op deze locatie niet getest met de kinetische waterdruk-variant maar direct met de Flow-Cap.

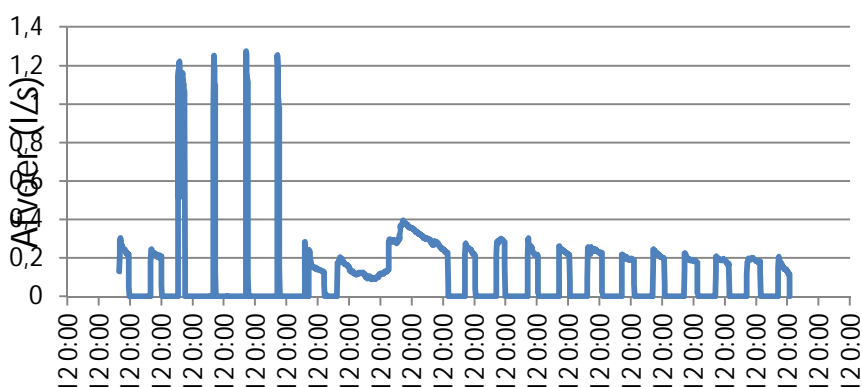
Eerst zullen er enkele resultaten van de continue afvoerregistratie en NO_3^- concentratiemetingen volgen. In Figuur 4.5 is te zien dat de afvoer zeer variabel is. Er wordt meestal in pulsen geloosd. De duur van de afvoerpulsen varieert en soms wordt enkele dagen continu water afgevoerd. De hoeveelheden en de timing van de lozing hangen af van de watercirculatie in de kas en de watervoorraad in de rioolbuffersilo.

De NO_3^- concentraties van de lozing bleken zo hoog, dat ze meestal buiten het meetbereik van de Nitratax lagen ($>100 \text{ mgN/l}$). Gedurende enkele perioden werden tijdens de lozingen echter wel concentraties onder de 100 mgN/l gemeten (zie Figuur 4.6). Daarbij daalde de concentratie steeds aanzienlijk gedurende de lozing. In de nacht van 1 op 2 februari werd een

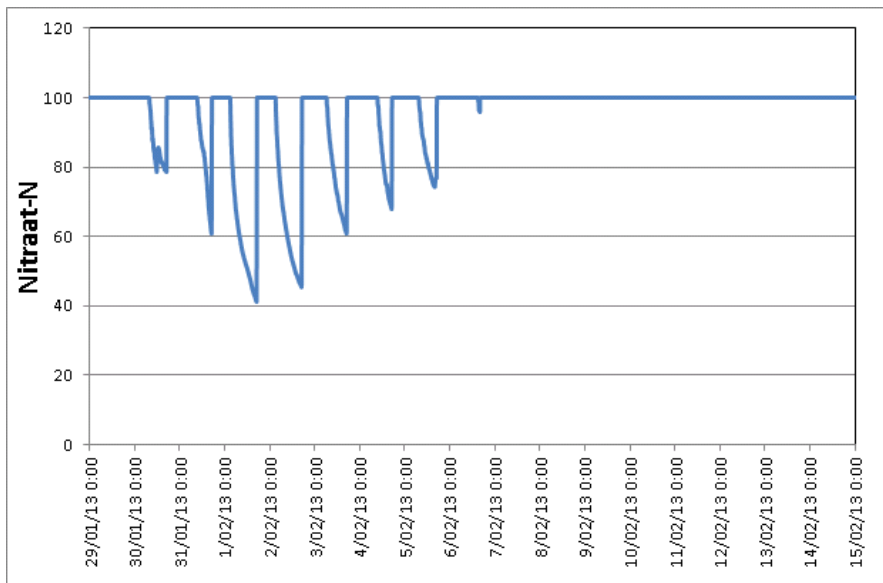
minimale concentratie van 40 mgN/l waargenomen. Na 8 februari is de daling niet meer te zien doordat ook de minimumconcentraties boven het maximum van de Nitratax liggen.

De onregelmatigheden in de gemeten afvoeren en concentraties onderstrepen het belang van een debietproportionele concentratiemeting voor het bepalen van de emissievracht. De continue NO₃-concentratiemetingen laten zien dat de concentraties dalen tijdens het lozen. Een vrachtschatting op basis van steekmonsters overdag zou daardoor een sterke overschatting van de vracht geven.

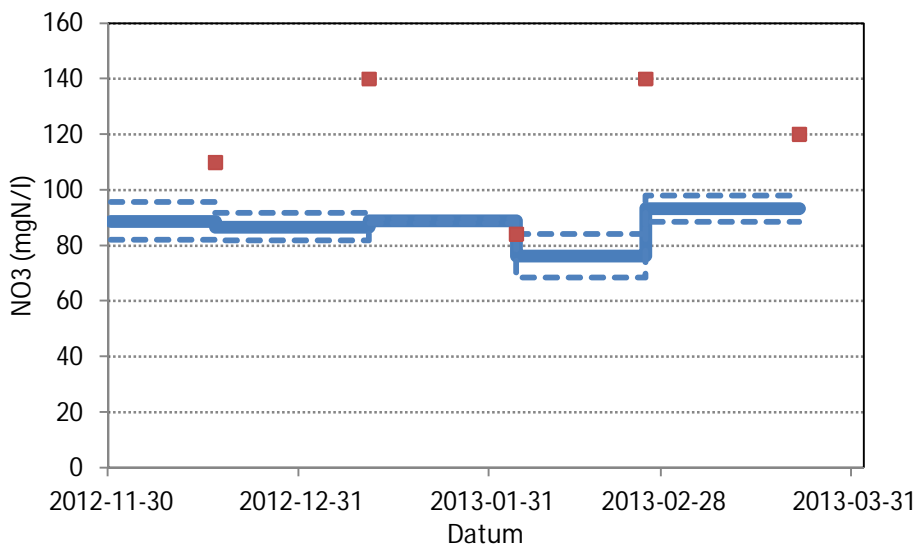
In de Flow-Cap zijn grote (10 ml) en kleine (3 ml) NiP SorbiCells geïnstalleerd. Van de NiP-SorbiCells is een normale en een grote variant getest. Door de hoge concentraties in combinatie met een te groot bemonsterd volume is de adsorptiecapaciteit van de grote (10 ml) NiP-SorbiCells overschreden. De gemeten concentraties waren daardoor te laag. De adsorptiecapaciteit van de kleine SorbiCells zijn niet overschreden. De meetresultaten van de SorbiCells zijn in Figuur 4.7 geplott samen met de steekmonsters die door Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard zijn genomen en geanalyseerd. Vergelijking met continue concentraties is niet mogelijk aangezien de concentratie meestal boven het bereik van de Nitratax lagen. In Figuur 4.7 is te zien dat duplo's van de debietproportionele gemiddelde concentraties dicht bij elkaar liggen, wat laat zien dat de meetresultaten reproduceerbaar zijn. De gemeten debietproportionele gemiddelde concentraties zijn lager dan de steekmonstermetingen. Gezien de concentratie-dalingen tijdens het lozen is het goed mogelijk dat de debietgemiddelde concentraties lager zijn dan de steekmonsters. In tabel 4.1 zijn de vrachten gegeven die berekend zijn op basis van de debietgemiddelde concentratiemetingen. De vrachten op basis van de steekmonsters liggen gemiddeld ca. 25% hoger dan de vrachten berekend met de SorbiCells in de Flow-Cap. Dit klopt met de waarneming dat de concentraties dalen tijdens het lozen en dat steekmonsters uit de meetbak overdag (als er niet geloosd wordt) hogere concentraties opleveren dan afvoergemiddelde metingen.



Figuur 4.5: Continue registratie van de afvoer van de lozing vanuit de glastuinbouwlocatie



Figuur 4.6: Continue registratie van NO₃ concentraties van de lozing vanuit de glastuinbouwlocatie



Figuur 4.7: Resultaten van de Flow-Cap SorbiCells (blauwe lijn) en met steekmonsters (vierkantjes). De stippellijnen geven de duplo's weer, de dikke lijn de gemiddelde waarde.

Tabel 4.1: NO₃-vrachten voor de glastuinbouwlocatie op basis van afvoergemiddelde concentraties gemeten met de SorbiCells in de Flow-Cap.

periode	Aantal dagen	afvoer (m3)	Afvoergemiddelde NO ₃ concentratie (mg/l)	NO ₃ vracht (kg N)	NO ₃ vracht per dag (kg N/dag)
30 nov-17 dec	17	137	88.8	12.2	0.72
17 dec-11 jan	25	244	86.7	21.2	0.85
11 jan - 4 feb	24	282	88.9	25.1	1.04
4 feb - 25 feb	21	131	76.2	10.0	0.48
25-feb - 22 mrt	25	412	93.2	38.4	1.54

4.1.4 Conclusies glastuinbouwlocatie

- Lozingen zijn zeer onregelmatig, concentraties veranderen tijdens de lozing. Vrachtschattingen op basis van steekmonsters zijn daardoor onzeker. Dit onderstreept het belang van een afvoerproportioneel meetsysteem.
- De concentraties van het lozingswater op de proeflocatie zijn erg hoog. De adsorptiecapaciteit van de SorbiCells wordt daardoor relatief snel overschreden. Dit is te voorkomen door SorbiCells met een hogere weerstand te gebruiken.
- Met de SorbiCell-NiP werden in deze tests de beste resultaten verkregen doordat de adsorptiecapaciteit niet overschreden is.
- Met de SorbiCells in de Flow Cap in combinatie met debietmetingen (zijn nitraatvrachten berekend voor de installatieperiodes.
- Doordat de nitraatconcentratie meestal buiten het bereik van de Nitratax lag, is een vergelijking met vrachten op basis van een continue meting niet mogelijk.

4.2 Proefboerderij De Rusthoeve

4.2.1 Locatiebeschrijving

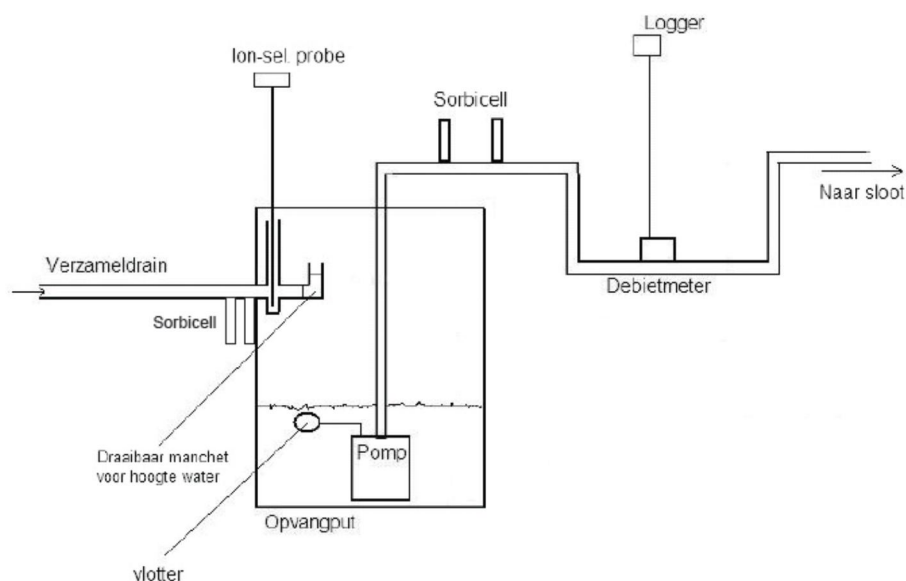
Proefboerderij de Rusthoeve ligt bij Colijnsplaat op Noord-Beveland. Op deze locatie wordt ondermeer een praktijkonderzoek uitgevoerd naar diepe drainage onder leiding van Grontmij in samenwerking met Alterra en PPO en in opdracht van de provincie Zeeland (Schipper & Van der Schans, 2012). Voor het testen van het debietproportionele meetsysteem is gebruik gemaakt van de bestaande meetopstellingen.

Op de Rusthoeve zijn twee keer vier proefvakken aanwezig op het bemeten perceel, elk met drains aangesloten op verzameldrains, die uitkomen in acht opvangputten waarin metingen gedaan worden (zie Figuur 4.8 en 4.9). In deze opstellingen is reeds met SorbiCells gemeten. De bevindingen van die metingen zijn gerapporteerd door Harmsen en Van Kleef (2013). Samengevat was de doorstromingsnelheid van de gebruikte SorbiCells te hoog en waren er bij de fosformetingen die voor het onderzoek van Harmsen en Van Kleef (2013) ook gedaan zijn problemen met adsorptie aan ijzeroxides.

De veldtests binnen dit project zijn gedaan in verzamelputten 1 en 4. De betreffende drains lagen op 120 cm –mv en het overlooppniveau van het peilgestuurde drainagesysteem was ingesteld op 90 cm –mv.



Figuur 4.8 Verzamelvaten met uitgang verzameldrain, pomp, en opstelling met Sorbisense systeem en ion-selectieve elektroden. Verzamelvat van ondiepe drain (boven) vertoont geen ijzeraanslag, verzamelvat van diepe drain (onder) wel.



Figuur 4.9 Meetopstelling voor verzamelen en meten van drainwater bij proeflocatie Rusthoeve. Uit: Harmsen en Van Kleef (2013).

4.2.2 Beschrijving metingen voorjaar 2012

In het voorjaar van 2012 is op de Rusthoeve getest met de kinetische waterdruk variant. In twee verzamelputten zijn in februari 2012 onder de ionselectieve elektroden elk twee SorbiCells tussen twee stukken spacer aangebracht (zie Figuur 4.10).



Figuur 4.10 SorbiCells in spacer zoals geïnstalleerd op locatie Rusthoeve.

4.2.3 Resultaten

De SorbiCells zijn tussentijds geïnspecteerd op 12 maart en op 25 april zijn ze verwijderd voor analyse. Er bleek niet veel water door de SorbiCells te zijn gegaan. Net als bij de laboratorium tests bleek bij deze veldtests dat de gecontroleerde doorstroming door de kinetische waterdrukvariant niet te waarborgen is. Doordat de drainafvoer in het voorjaar van 2012 al snel erg laag werd, zijn er geen verdere tests uitgevoerd. De resultaten van de continue meting van het voorjaar zijn niet weergegeven in deze rapportage.

4.2.4 Beschrijving metingen winter 2012 en voorjaar 2013

In het drainageseizoen 2012-2013 is getest met Flow-Caps. Er is in drie rondes gemeten met de installatieperiodes: 14 december tot 16 januari, 16 januari tot 22 februari en 22 februari tot 24 april. Tijdens de meetperiodes zijn de afvoeren (debieten) continu gemeten. De NO_3^- concentraties zijn continu gemeten met ion-selectieve elektroden. Daarnaast zijn tijdens de

meetperiode 3 steekmonsters genomen. De meetfrequentie van de elektroden was hoog, elke 15 minuten werd een meting opgeslagen. Hieruit kon worden geconcludeerd dat binnen een dag de meetwaarden constant waren en verschillen binnen een dag zeer klein. Voor de verdere verwerking van de gegevens is daarom uitgegaan van de waarde gemeten om 12 uur 's middags. De ion-selectieve elektrodes zijn gecalibreerd op basis van de eerste veldmeting en later niet gehercalibreerd. De elektroden hadden vooral als functie het verloop van de nitraatconcentraties te meten, rekening houdend met eventuele pieken. Heralibratie van de sensoren geeft een verschuiving van het signaal wat later geïnterpreteerd kan worden als verandering in de concentratie. Om deze reden is er niet tussentijds gecalibreerd. Een langzaam verloop van de sensoren wordt hierbij dan geaccepteerd.

De installatie van de SorbiCells is tussentijds gewijzigd. In de meetperiodes van 14 december tot 16 januari en 16 januari tot 22 februari kwamen de SorbiCells door ruimtegebrek in de put bijna tegen de rand aan (zie Figuur 4.11). Voor de installatieperiode van 22 februari tot 24 april is de opstelling aangepast. Er is in beide putten een nooduitlaat aangebracht en de SorbiCells hadden meer ruimte.



Figuur 4.11: Installatie van de Flow-Caps. Links: eerste opstelling (tot 22 februari 2013); rechts: tweede opstelling (vanaf 22 februari 2013), met nooduitlaat.

4.2.5 Resultaten metingen winter 2012 en voorjaar 2013

De afvoer van de twee putten is weergegeven in Figuur 4.12. Opvallend is dat in put 4, afgezien van een kleine hoeveelheid op 10 december, geen afvoer is geregistreerd. De continue afvoermeting in deze put heeft niet goed gefunctioneerd. Voor put 4 zijn wel totaalafvoeren afgelezen van de doorstroommeter. Daaruit blijkt dat put 4 in de periode van 1 december tot 22 februari 171 m^3 water heeft afgevoerd en in de periode van 22 februari tot 24 april slechts $0,39 \text{ m}^3$.

In put 1 zijn de continue afvoermetingen wel goed gegaan. Put 1 heeft het meeste water afgevoerd in twee perioden in december en februari. In maart was nog een korte afvoerperiode. De totale afvoeren in deze perioden waren respectievelijk 338 m^3 , 215 m^3 en $7,3 \text{ m}^3$. De meetperiodes van de SorbiCells overlappen de drie waargenomen afvoerperiodes (zie Figuur 4.12).

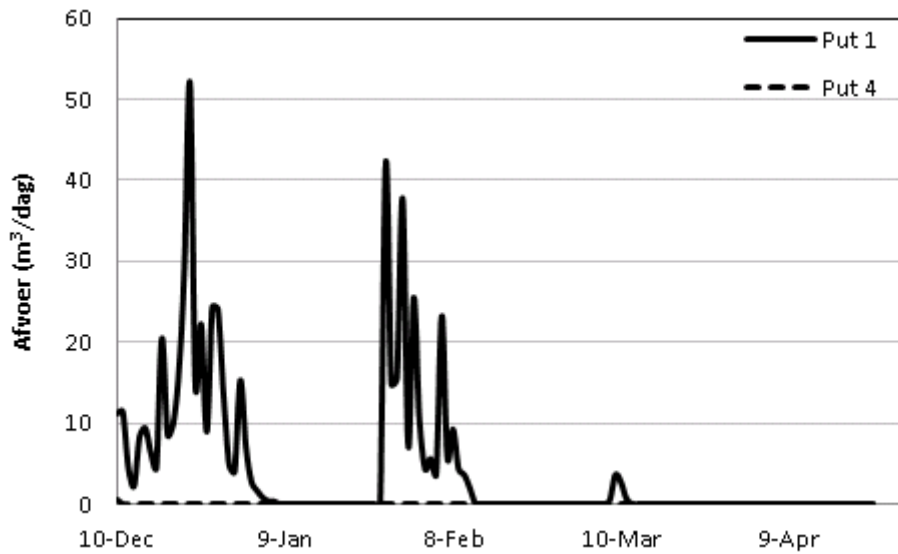
In Figuur 4.13 zijn de resultaten van de continue nitraatmetingen en de steekmonsters weergegeven. De continu gemeten concentraties zijn zowel weergegeven voor de periodes

met drainafvoer als voor de periodes zonder drainafvoer. In de periodes zonder afvoer worden de concentraties in het dode volume steeds lager door denitrificatie. Het verloop van de electrode is in het meetseizoen 2012-2013 beperkt geweest; de steekmonsterconcentraties liggen nabij de lijn gemeten door de elektroden. De continue gemeten concentraties worden daarom betrouwbaar geacht. Figuur 4.13 laat ook zien dat het nemen van steekmonsters op vooraf afgesproken dagen niet altijd een goede procedure is. Twee van de drie metingen hebben plaatsgevonden in een periode zonder afvoer. De gemeten concentratie is wel juist, maar door de denitrificatie lager dan in een periode met afvoer.

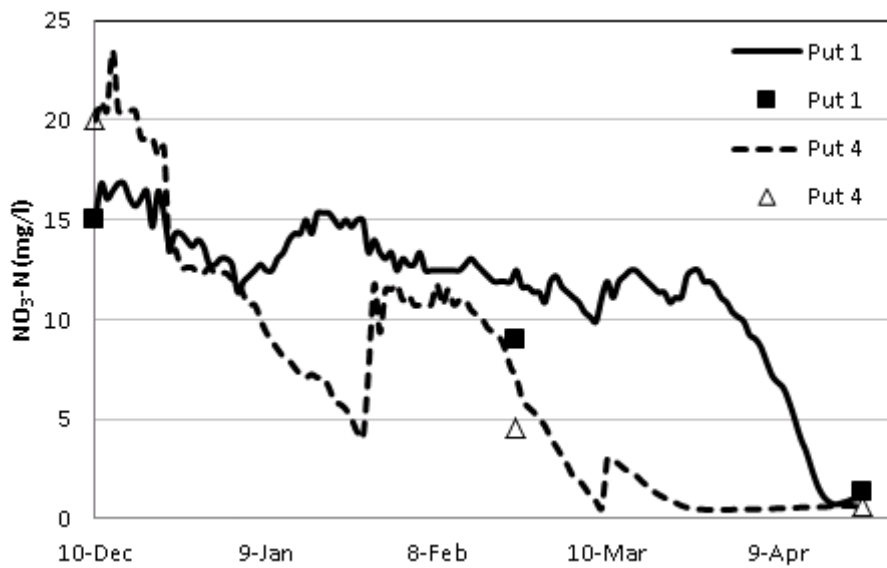
Opvallend is dat de nitraatconcentraties in de drainafvoer relatief constant zijn gedurende de afvoerperiodes en niet lijken te correleren met de afvoer. In dit geval zal een afvoergemiddelde concentratie daarom weinig afwijken van een tijdgemiddelde concentratie. In tabel 4.2 zijn tijd- en afvoergemiddelde concentraties op basis van de tot dagwaarden geaggregeerde continue metingen opgenomen.

De resultaten van de Flow-Cap metingen zijn weergegeven in tabel 4.3. De doorstroming in een aantal 3ml SorbiCells is te klein geweest voor een betrouwbare meting, voornamelijk in put 4. De 10 ml SorbiCells hebben betere doorstroomhoeveelheden gehad. Mogelijk zijn de doorstroomvolumes klein doordat er lekkage heeft opgetreden langs de bevestigingsranden van de Flow-Caps. Wellicht heeft ook de installatie bijna tegen de wand van de put aan de doorstroming belemmerd. Aangezien er tijdens de veldbezoeken geen afvoer was, konden de Flow-Caps niet op lekkage en een goede doorstroming van de SorbiCells gecontroleerd worden. Voor put 1 (de put met de meest betrouwbare afvoermetingen) zijn de doorstroomde volumes als functie van de afvoer weergegeven in figuur 4.14. De doorstroomvolumes zijn debietproportioneel, maar de spreiding in de duplometingen is erg groot. De regressie-lijn gaat ook niet door de oorsprong, wat erop duidt dat er in periodes zonder afvoer toch water (dood volume) door de SorbiCells is bemonsterd.

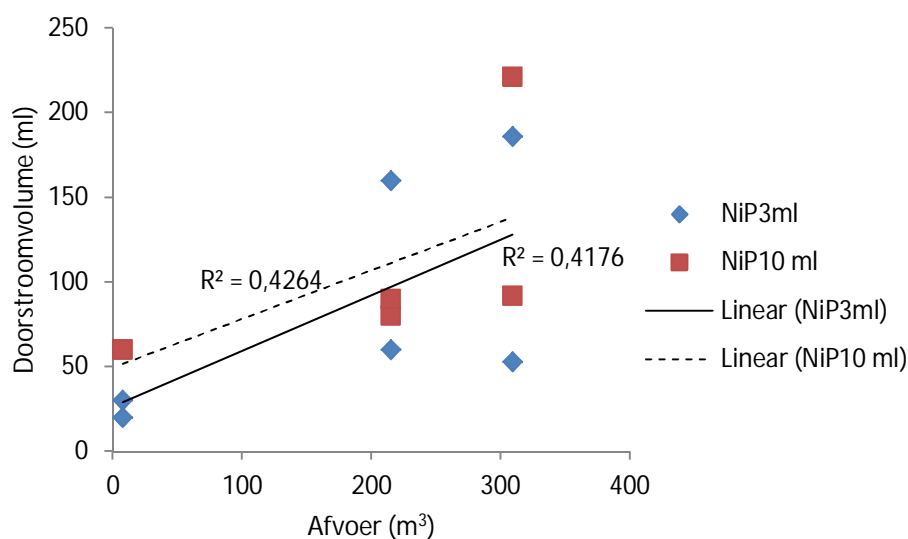
De verschillen tussen de duplometingen zijn vrij groot, zowel qua doorstroomd volume als qua gemeten concentraties. De oorzaak hiervan is niet vastgesteld. Mogelijk komt ook dit door lekkage en de bevestiging dichtbij de wand van de put. Vergeleken met de continue nitraatmetingen zijn de Flow-Cap resultaten van 14 dec - 16 jan vrij laag, vooral voor put 4. Voor 16 jan - 22 feb en 22 feb - 24 apr komen de Flow-Cap resultaten voor put 1 redelijk overeen met de continue meting, al zijn de verschillen tussen de duplo's groot. Voor put 4 zijn de Flow-Cap concentraties te laag. Ook in de laatste ronde zijn de Flow-Cap concentraties lager dan de continue concentraties. Mogelijk worden de lage concentraties veroorzaakt doordat de SorbiCells in periodes zonder afvoer dood volume hebben bemonsterd met door denitrificatie verlaagde concentraties.



Figuur 4.12: Afvoer van drainagewater gemeten in de putten 1 en 4 op de Rusthoeve.



Figuur 4.13 Nitraatconcentraties in put 1 en 4 gemeten met de sensoren (lijnen) en op het laboratorium (punten).



Figuur 4.14: Relatie tussen met Sorbicell gemeten doorstroomvolumes en de afvoer gemeten in put 1

Tabel 4.2 Tijdgemiddelde en afvoergemiddelde nitraatconcentraties in de putten 1 en 4 op basis van tot dagwaarden geaggregeerde continue nitraat en afvoer-metingen.

Meetperiode	Put 1			Put 4*	
	Totale afvoer(m ³)	Nitraat concentratie (mg NO ₃ -N/l)		Nitraat concentratie (mg NO ₃ -N/l)	
		Tijdgemiddelde	Afvoergemiddelde	Tijdgemiddelde	Afvoergemiddelde
14 dec - 16 jan	309	14,0	14,5	13,1	15,1
16 jan – 22 feb	215	13,3	13,0	9,1	10,4
22 feb – 24 apr	7,3	8,9	11,4	1,5	1,7

* De berekende vrachten voor put 4 zijn bedoeld als rekenvoorbeeld, want gebaseerd op de afvoeren van Put 1.

Tabel 4.3: Meetresultaten met Flow-Cap bij de experimenten (winter 2012-voorjaar 2013) op de Rusthoeve.

Periode	Put	Type	Doorstroomvolume (ml)	NO3 (mg N/l)
14 dec-16 jan	1	NiP 3 ml	186	12
		NiP 3 ml	53	3.7
	1	NiP 10 ml	92	1.6
		NiP 10 ml	221	8.9
16 jan- 22 feb	1	NiP 3 ml	160	9.3
		NiP 3 ml	60	5.1
	1	NiP 10 ml	80	9.7
		NiP 10 ml	90	16.9
22 feb - 24 april	1	NiP 3 ml	30	-
		NiP 3 ml	20	-
	1	NiP 10 ml	60	2.3
		NiP 10 ml	60	4.9
14 dec-16 jan	4	NiP 3 ml	8	-
		NiP 3 ml	54	5.5
	4	NiP 10 ml	120	2.3
		NiP 10 ml	153	0.9
16 jan- 22 feb	4	NiP 3 ml	60	-
		NiP 3 ml	30	-
	4	NiP 10 ml	200	0.7
		NiP 10 ml	160	0.8
22 feb - 24 april	4	NiP 3 ml	10	-
		NiP 3 ml	20	-
	4	NiP 10 ml	110	1.2
		NiP 10 ml	100	1.3

4.2.6 Conclusies Rusthoeve

- Veel Flow-Cap testmetingen op de Rusthoeve zijn door verschillende oorzaken (zie volgende conclusies) niet of niet volledig gelukt. De werkelijkheid is weerbarstig en in het uitgevoerde onderzoek is de veldbezoekfrequentie te laag geweest. Hierdoor kon onvoldoende worden ingespeeld op de werkelijke gang van zaken. Betere resultaten zouden zijn verkregen als de locatie minimaal één keer per week was bezocht. Uit financieel oogpunt was dit niet mogelijk en er is achteraf teveel uitgegaan van verwachtingen.
- De gelukte metingen komen qua grootte orde redelijk overeen met de continue gemeten concentraties en afvoeren. Duploverschillen zijn echter groot.
- Controle van de Flow-Cap op lekkage en doorstroming van de SorbiCells in periodes met afvoer is belangrijk.
- De Flow-Caps op de Rusthoeve waren gedimensioneerd op een debiet van 600 m³ per dag. Door de veel lagere werkelijke debieten (max 50 m³ per dag) is er door veel SorbiCells te weinig doorstroming geweest. Ook voor het bijstellen van de dimensionering is regelmatige controle belangrijk.
- Concentraties in dood volume dalen door denitrificatie; het is belangrijk te voorkomen dat er dood volume is en/of te voorkomen dat dit dode volume door de SorbiCells

weglekt en dus bemonsterd wordt.

- Het is van belang SorbiCells met verschillende doorstroomweerstand te installeren; bij de tests op de Rusthoeve hebben de 10 ml NiP SorbiCells de beste doorstroomhoeveelheden gehad.
- De Flow-Cap is robuust genoeg voor toepassing in opstellingen zoals bij de Rusthoeve; geen verstopping, wel goede doorstroming door de SorbiCells.

4.3 LMM-deelnemer Zeewolde

4.3.1 Locatiebeschrijving

Bij Zeewolde in het zuidelijke deel van de Flevopolder zijn enkele veldtests gedaan op een gedraineerd grasperceel van een veehouderijbedrijf. Het bedrijf doet mee aan het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) van het RIVM. Het bedrijf ligt in de kleiregio, waar het RIVM onder andere drainwater bemonsterd op de deelnemende bedrijven. De deelname aan het LMM is anoniem en de exacte locatie van het bedrijf kan daardoor niet gegeven worden.

4.3.2 Beschrijving metingen voorjaar 2012

In het voorjaar van 2012 zijn op 2 drains op het bedrijf (drain nummer 6 en 7) tests uitgevoerd met de kinetische waterdruk-variant. In de drains zijn opzetstukken geplaatst met daarin SorbiCells (Figuur 4.14 en 4.15). De SorbiCells zijn in een plastic 'honingraat' bevestigd. Twee SorbiCells zijn direct in het verlengde van de drain geplaatst en twee zijn onderin een U-constructie bevestigd. Met deze opzet konden eventuele verschillen tussen deze twee plaatsingsmogelijkheden onderzocht worden. De SorbiCells zijn op 14 februari geïnstalleerd en op 19 maart verwijderd. Op 2 maart zijn de SorbiCells geïnspecteerd. Bij alle veldbezoeken zijn ook drainafvoeren gemeten en zijn nitraatconcentraties gemeten met een Nitracheck. Een Nitracheck is een veldtest met een redelijk goede nauwkeurigheid. Er wordt telkens tweemaal gemeten en bij een grote afwijking (>10%) nog een derde maal. Bij twee metingen wordt het gemiddelde gerapporteerd en bij drie metingen de mediaan.



Figuur 4.14 Impressies van eerste test met SorbiCells in spacer op locatie Zeewolde.

4.3.3 Resultaten metingen voorjaar 2012

De veldwaarnemingen van het voorjaar van 2012 zijn samengevat in tabel 4.4. Het voorjaar van 2012 was relatief droog en er was weinig afvoer door de drains. Door de meeste SorbiCells was te weinig water gestroomd voor een betrouwbare analyse. Bij drie SorbiCells was wel genoeg water gestroomd; de resultaten hiervan zijn weergegeven in tabel 4.5. De doorstroomde volumes variëren sterk en laten zien dat in deze kinetische waterdruk variant

geen uniforme en voorspelbare stromingscondities heersen. Deze waarneming werd in dezelfde periode met labexperimenten bevestigd (zie hst 3.1). De twee metingen in drain 6 komen wel goed met elkaar overeen. Ook zijn de concentraties vergelijkbaar met de met Nitratecheck bepaalde concentraties.

Een belangrijke veldwaarneming is dat de drainafvoer geblokkeerd werd door het verhoogde uitstroomniveau van het opzetstuk. De drains waren geselecteerd op basis van hun goede uitstroom. Echter, tijdens de veldbezoeken liepen de drains alleen zonder opzetstuk, terwijl de omliggende drains wel liepen. Het verhoogde uitstroomniveau zorgt niet alleen voor hogere grondwaterstanden, maar ook voor minder afvoer door de drain waarvoor de vrachten bepaald moeten worden. Dit zorgt voor een onderschatting van de vrachten.

Tabel 4.4: Waarnemingen bij eerste serie experimenten (voorjaar 2012) in Zeewolde.

Datum	Drain-nummer	Nitratecheck-NO3 (mgN/l)	Debiet (L/min)	Opmerkingen
14 feb	6	5,2	12	
14 feb	7	nvt	Nvt	Drain loopt niet
2 maart	6	10,6	3	Drain loopt alleen zonder opzetstuk
2 maart	7	25,1	0,4	Drain sijpelt alleen zonder opzetstuk
19 maart	6	7,2	2,6	Drain loopt alleen zonder opzetstuk
19 maart	7	23,3	0,13	Drain sijpelt alleen zonder opzetstuk

Tabel 4.5: Meetresultaten van eerste experimenten in Zeewolde (voorjaar 2012). Let op: alleen resultaten voor SorbiCells met voldoende doorstroomd volume voor betrouwbare resultaten zijn weergegeven.

Drain-nummer	Positie	Meetperiode	Doorstroomd volume (ml)	Nitrate-N (mg N/L)
6	Voor U-bocht	14 feb – 19 mrt	235	11
6	In U-bocht	14 feb – 19 mrt	131	9,4
7	In U-bocht	14 feb – 19 mrt	58	11,2

4.3.4 Beschrijving metingen winter 2012 en voorjaar 2013

In het drainageseizoen 2012-2013 zijn metingen met de Flow-Cap gedaan op dezelfde drains als waar in het voorjaar van 2012 getest was. De opzetstukken met de Flow-Caps hebben ook een nooduitlaat, zodat er nooit opstuwning van water kan optreden (zie Figuur 4.15). Als de capaciteit van de Flow-Cap overschreden wordt kan de afvoer plaatsvinden via de nooduitlaat die net lager ligt dan de onderkant van de drain. De Flow-Caps en SorbiCells zijn beschermd met een dik stuk buis om het opzetstuk heen (zie Figuur 4.15).

De Flow-Caps met de eerste ronde SorbiCells zijn op 30 november geïnstalleerd, op 14 december geïnspecteerd en op 11 januari verwijderd. Een tweede meetronde liep van 11 januari tot 5 februari en een derde van 5 februari tot 19 maart.



Figuur 4.15: De Flow-Cap geïnstalleerd op de drain in Zeewolde, rechts in een grotere buis als beschermkap.

4.3.5 Resultaten metingen winter 2012 en voorjaar 2013

De meetresultaten van de veldmetingen van afvoeren en concentraties (Nitracheck) zijn weergegeven in tabel 4.6. De NO_3 -concentraties in drain 6 bleken bij bijna elke meting onder de detectielimiet van de Nitracheck (1 mgN/l) te liggen. Alleen op 11 januari is een concentratie van 1,4 mgN/l gemeten. Door een onbekende oorzaak zijn de concentraties in drain 6 veel lager dan in het vorige drainageseizoen. In drain 7 zijn de concentraties ook lager dan in het voorjaar van 2012, maar nog wel meetbaar met de Nitracheck.

De foto's in Figuur 4.16 laten zien dat de SorbiCells goed doorstroomd zijn en dat dichtslibben van de Suro-gaatjes geen probleem is geweest. Tijdens het veldbezoek van 5 februari waren de afvoeren extreem hoog. Tijdens dit veldbezoek werd de afvoercapaciteit van de Flow-Cap overschreden en stroomde ongeveer de helft van de afvoer via de nooduitlaat (Figuur 4.17).

Gedurende de experimenten zijn een aantal wijzigingen gedaan aan de Flow-Caps om lekkage tegen te gaan en de gebruiksvriendelijkheid te vergroten. De bevestigingsranden van de Flow-Cap zijn bij de eerste installatie al afgetaped tegen lekkage. Bij het eerstvolgende controlebezoek is een beschermkap geplaatst om de Flow-Cap en de SorbiCells te beschermen tegen weerinvloeden. Aan het begin van de derde meetronde zijn de bevestigingsgaatjes voor de SorbiCells verruimd om het verwisselen van de SorbiCells eenvoudiger te maken.

De resultaten van de Flow-Cap metingen zijn samengevat in tabel 4.7. Er was in alle drie de installatieperiodes voldoende afvoer om goede metingen te doen met de Flow-Caps. De afvoeren waren hoger dan op basis van de in het verleden gemeten afvoeren verwacht. De doorstroomvolumes (tabel 4.7) zijn vooral in de meting van 5 februari tot 19 maart vrij hoog geweest. Als er veel tracerzout uit de SorbiCell verdwijnt, kunnen preferente stroombanen door het zoutcompartiment ontstaan. Mogelijk is hierdoor onvolledige oplossing van het tracerzout geweest. Dit zou echter leiden tot een onderschatting van het doorstroomvolume en een overschatting van de concentratie. De relatief lage concentraties wijzen echter niet op een overschatting. Door Harmsen & Van Kleef (2013) is vastgesteld dat vanaf een doorstroming van 300 ml het zout minder snel begint op te lossen. De zoutcompartimenten

zijn later echter wel vergroot en aangepast (verdeeld in 2 deelcompartimenten) om preferente stroming en onvolledige oplossing te voorkomen.

Gezien de hoge doorstroomde volumes en de overschrijding van de afvoercapaciteit van de Flow-Caps was een ruimere dimensionering van de Suro-gaatjes achteraf beter geweest. Mogelijk is in de toekomst een Flow-Cap te ontwerpen met verwisselbare Suro-profielen zodat bij de plaatsing rekening gehouden kan worden met de actuele afvoer. Er was geen sprake van verstopping van de Suro-gaatjes, maar er zaten soms wel grassprietjes in de Flow-Caps die mogelijk invloed op de stroming hebben gehad.

De absolute afwijking tussen de duplometingen van de SorbiCells is beperkt. Relatief is de afwijking soms groot door de lage concentraties die gemeten zijn. Het doorstroomde volume door de duplo's is in de meeste gevallen ook ongeveer gelijk. Verschillen kunnen optreden door bijvoorbeeld lichte scheefstand van de Flow-Cap of door verschillen in de doorlatendheid van de SorbiCells.

De concentratiemetingen zijn voor deze proeflocatie niet goed te controleren, want betrouwbare steekmonstermetingen en continue metingen van afvoer en concentraties ontbreken. Wel is vergelijking met de Nitracheck metingen mogelijk die aan het begin en eind van de installatie-periode van de SorbiCell gedaan zijn. De Flow-Cap metingen in drain 6 bevestigen dat de concentraties erg laag zijn en inderdaad onder de detectielimiet van de Nitracheck liggen (<1 mgN/l). In drain 7 zijn zowel met de Nitracheck als met de Flow-Caps hogere concentraties gemeten. Het is niet te achterhalen of de verschillen door temporele variaties in de NO₃-concentraties komen of door de beperkte nauwkeurigheid van de metingen bij deze relatief lage concentraties.

Tabel 4.6: Veldwaarnemingen bij de tweede serie experimenten (winter 2012-voorjaar 2013) in Zeewolde.

Datum	Drain-nummer	Nitracheck-NO3 (mgN/l)	Debiet (L/min)	Opmerkingen
30 nov	6	LOW	4,0	bevestigingsranden Flow-Cap afgetaped i.v.m. lekkage
30 nov	7	1,4	2,6	
14 dec	6	LOW	7,5	Beschermkap bevestigd, grassprietjes op uitstroomgaatjes, geen verstopping
14 dec	7	2,9	6,7	
11 jan	6	1,4	10	Verwisselen moeizaam i.v.m. kleine gaatjes, grassprietjes, geen verstopping
11 jan	7	3,4	7,5	
5 feb	6	LOW	27	Bevestigingsgaatjes verbeterd, veel afvoer via nooduitlaat.
5 feb	7	5,6	60	
19 maa	6	stuk	2,0	Nitracheck stuk, kleur strip visueel vastgesteld.
19 maa	7	stuk	2,3	

Tabel 4.7: Meetresultaten met Flow-Cap bij de tweede serie experimenten (winter 2012-voorjaar 2013) in Zeewolde.

Datum	Drain	Type	Doorstroomd Volume (ml)	NO3 (mg N/l)
30 nov-11 jan	6	NiP 3 ml	329	<0.2
	6	NiP 3 ml	337	<0.2
	6	NiP 10 ml	1107	0.1
	6	NiP 10 ml	972	0.1
11 jan- 5 feb	6	NiP 3 ml	273	<0.18
	6	NiP 3 ml	264	0.7
	6	NiP 10 ml	596	0.3
	6	NiP 10 ml	462	1.6
5 feb - 19 maa	6	NiP 3 ml	570	<0.09
	6	NiP 3 ml	570	<0.09
	6	NiP 10 ml	1180	0.1
	6	NiP 10 ml	1220	0.1
30 nov-11 jan	7	NiP 3 ml	416	1.6
	7	NiP 3 ml	576	0.8
	7	NiP 10 ml	1069	0.6
	7	NiP 10 ml	926	0.8
11 jan- 5 feb	7	NiP 3 ml	326	2.1
	7	NiP 3 ml	241	2.6
	7	NiP 10 ml	833	1.5
	7	NiP 10 ml	553	5.5
5 feb - 19 maa	7	NiP 3 ml	350	0.4
	7	NiP 3 ml	510	0.3
	7	NiP 10 ml	850	0.2
	7	NiP 10 ml	910	0.2

Drain 1



Drain 2



Figuur 4.16: Flow-Caps na de installatieperiode van 30 november tot 11 januari; geen verstopping, wel wat grassprietjes (links), goed verkleurde adsorptiereservoirs en ruime hoeveelheden zout verdwenen in de SorbiCells (rechts).



Figuur 4.17: Flow-Cap Zeewolde op 5 februari 2013.

4.3.6 Conclusies testlocatie Zeewolde

- Het is belangrijk te voorkomen dat de Flow-Cap opstuwung van drainwater veroorzaakt. Niet alleen in verband met vernatting van het perceel, maar ook omdat de afvoer en de vrachtmeting zelf teveel beïnvloed worden.
- Dichtslibben van de Suro-openingen bleek op deze testlocatie niet op te treden.
- De Suro-opening bleek ondergedimensioneerd tijdens hoge afvoer, maar de noodoverloop ter voorkoming van opstuwung heeft goed gewerkt. Flexibiliteit in de afvoercapaciteit (de grootte van de Suro-opening) is een pré voor vervolgonwerpen.
- De Flow-Cap is robuust, gebruiksvriendelijk en eenvoudig te installeren en weg te nemen. Om het bevestigen van de SorbiCells makkelijker te maken en lekkage te voorkomen zijn rubbers aangebracht. Lekkage langs bevestigingsranden is eenvoudig opgelost door af te tapen, lekkage minimaliseren bij vervolgonwerpen.
- De Flow-Cap metingen zijn niet nauwkeurig te controleren aangezien in Zeewolde geen steekmonster- of sensormetingen zijn gedaan. De duplo FlowCap-metingen komen wel zowel qua volumes als concentraties goed overeen en er is een redelijk verband met de Nitratecheck NO_3 -concentratie-metingen (met beperkte nauwkeurigheid).

5 Conclusies en aanbevelingen

Het doel van het project DiVeLOp was het ontwikkelen van een debietproportionele meetopstelling met SorbiCells die toegepast kan worden in waterschapsmonitoring, het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) en in de glastuinbouw. Het project heeft geresulteerd in de ontwikkeling van de Flow-Cap. De Flow-Cap kan geïnstalleerd worden op een drain of lozingsbuis en zorgt ervoor dat een vast gedeelte van de totale afvoer door een in de FlowCap aangebrachte SorbiCell stroomt. De SorbiCell registreert de hoeveelheid passerend water door een langzaam oplossend tracerzout en legt de te meten stof vast. Daarmee wordt over de installatieperiode de debietgemiddelde concentratie gemeten. Door de vaste lineaire relatie tussen de afvoer en het bemonsteringsvolume van de in de Flow-Cap geïnstalleerde SorbiCells kan ook de vracht vastgesteld worden.

5.1 Vooronderzoek

Voorafgaand aan DiVeLOp is in een vooronderzoek (Rozemeijer et al, 2010b) middels literatuurstudie en workshops al gekeken naar de haalbaarheid en naar de randvoorwaarden waaraan een nieuw meetsysteem moet voldoen. De belangrijkste conclusies uit dit vooronderzoek zijn:

- Het te ontwikkelen meetsysteem moet eenvoudig te installeren zijn, mag geen afvoerblokkerende werking hebben, moet robuust zijn en moet geschikt zijn voor meerdere meetcellen, voor toepassing boven en onder het slootpeil en voor langere meetperiodes (1-6 maanden).
- Er zijn nog geen meetsystemen voor het meten van afvoergemiddelde concentraties en vrachten die aan de bovenstaande randvoorwaarde voldoen.
- Uit evaluatie van SorbiCells blijkt dat dit passieve meetsysteem goede tijdgemiddelde concentratiemetingen oplevert. Afvoergemiddelde metingen met SorbiCells zijn mogelijk door gebruik te maken van de waterdrukgevoeligheid van de SorbiCells of door een debietproportioneel deel van de afvoer te scheiden en door een SorbiCell te leiden.

5.2 Laboratoriumtests

In het laboratorium van SorbiSense in Denemarken is in eerste instantie getest met de 'kinetische waterdruk variant' van het meetsysteem, waarbij de SorbiCells in de stroming van een volgelopen lozingsbuis bevestigd worden. Vervolgens is getest met de Flow-Cap die door een uitlaat met een Suro-profiel zorgt voor een waterdruk op de SorbiCells die proportioneel is aan de afvoer. De belangrijkste conclusies uit de laboratoriumtests zijn:

- De kinetische waterdruk-variant waarmee de eerste experimenten zijn gedaan levert geen reproduceerbare resultaten op. De oorzaak is het verstoren van het stromingspatroon in een buis door luchtbellen en door de SorbiCells zelf.
- Er treedt in de labtests geen diffusie van stoffen op vanuit het water de SorbiCells in.
- De Flow-Cap met meerdere uitstroombuizen in een Suro-profiel levert wel een debietproportionele bemonstering op met een lineair verband tussen de afvoer en doorstroomsnelheid door de SorbiCells.
- Benadering van de vracht met Flow-Caps is mogelijk; de gemeten Flow-Cap-vrachten

in de laboratoriumtests verklaren 85% van de variantie in de werkelijke vrachten.

5.3 Veldtests

Er zijn veldtests gedaan op een glastuinbouwbedrijf in Bleiswijk, een proefboerderij (de Rusthoeve) in Zeeland en een bedrijf in Zeewolde uit het Landelijke Meetnet Effecten Mestbeleid (LMM) van het RIVM. In het eerste drainageseizoen (2011-2012) is nog getest met de 'kinetische waterdruk variant'. Deze variant bleek uiteindelijk geen reproduceerbare resultaten op te leveren. In het drainageseizoen van 2012-2013 is getest met de Flow-Cap. Op de veldlocaties zijn de Flow-Caps op verschillende manieren aangesloten op de drains en lozingsbuizen. Ook zijn er verschillende typen SorbiCells in de Flow-Caps geïnstalleerd.

De belangrijkste conclusies van de veldmetingen op de glastuinbouwlocatie in Bleiswijk zijn:

- Lozingen zijn zeer onregelmatig, concentraties veranderen tijdens de lozing. Vrachtschattingen op basis van steekmonsters zijn daardoor onzeker. Dit onderstreept het belang van een afvoerproportioneel meetsysteem.
- De concentraties van het lozingswater op de proeflocatie zijn erg hoog. De adsorptiecapaciteit van de SorbiCells wordt daardoor relatief snel overschreden. Dit is te voorkomen door SorbiCells met een hogere weerstand te gebruiken.
- Met de SorbiCell-NiP werden in deze tests de beste resultaten verkregen doordat de adsorptiecapaciteit niet overschreden is.
- Met de SorbiCells in de Flow Cap in combinatie met debietmetingen (zijn nitraatvrachten berekend voor de installatieperiodes.
- Doordat de nitraatconcentratie meestal buiten het bereik van de Nitratax lag, is een vergelijking met vrachten op basis van een continue meting niet mogelijk.

De belangrijkste conclusies van de veldmetingen op Proefboerderij de Rusthoeve zijn:

- Veel Flow-Cap testmetingen op de Rusthoeve zijn door verschillende oorzaken (zie volgende conclusies) niet of niet volledig gelukt. De werkelijkheid is weerbarstig en in het uitgevoerde onderzoek is de veldbezoekfrequentie te laag geweest. Hierdoor kon onvoldoende worden ingespeeld op de werkelijke gang van zaken. Betere resultaten zouden zijn verkregen als de locatie minimaal één keer per week was bezocht. Uit financieel oogpunt was dit niet mogelijk en er is achteraf teveel uitgegaan van verwachtingen.
- De gelukte metingen komen qua grootte orde redelijk overeen met de continue gemeten concentraties en afvoeren. Duploverschillen zijn echter groot.
- Controle van de Flow-Cap op lekkage en doorstroming van de SorbiCells in periodes met afvoer is belangrijk.
- De Flow-Caps op de Rusthoeve waren gedimensioneerd op een debiet van 600 m³ per dag. Door de veel lagere werkelijke debieten (max 50 m³ per dag) is er door veel SorbiCells te weinig doorstroming geweest. Ook voor het bijstellen van de dimensionering is regelmatige controle belangrijk.
- Concentraties in dood volume dalen door denitrificatie; het is belangrijk te voorkomen dat er dood volume is en/of te voorkomen dat dit dode volume door de SorbiCells weglekt en dus bemonsterd wordt.
- Het is van belang SorbiCells met verschillende doorstroomweerstand te installeren;

bij de tests op de Rusthoeve hebben de 10 ml NiP SorbiCells de beste doorstroomhoeveelheden gehad.

- De Flow-Cap is robuust genoeg voor toepassing in opstellingen zoals bij de Rusthoeve; geen verstopping, wel goede doorstroming door de SorbiCells.

De belangrijkste conclusies van de veldmetingen op de LMM meetlocatie in Zeewolde zijn:

- Het is belangrijk te voorkomen dat de Flow-Cap opstuwing van drainwater veroorzaakt. Niet alleen in verband met vernatting van het perceel, maar ook omdat de afvoer en de vrachtmeting zelf teveel beïnvloed worden.
- Dichtslibben van de Sutro-openingen bleek niet op te treden.
- De Sutro-opening bleek ondergedimensioneerd tijdens hoge afvoer, maar de noodoverloop ter voorkoming van opstuwing heeft goed gewerkt. Flexibiliteit in de afvoercapaciteit (de grootte van de Sutro-opening) is een pré voor vervolgotwerpen.
- De Flow-Cap is robuust, gebruiksvriendelijk en eenvoudig te installeren en weg te nemen. Om het bevestigen van de SorbiCells makkelijker te maken en lekkage te voorkomen zijn rubbers aangebracht. Lekkage langs bevestigingsranden is eenvoudig opgelost door af te tapen. Bij vervolgotwerpen zal lekkage geminimaliseerd moeten worden.
- De Flow-Cap metingen zijn niet nauwkeurig te controleren aangezien in Zeewolde geen steekmonster- of sensormetingen zijn gedaan. De duplo FlowCap-metingen komen wel goed overeen en er is een redelijk verband met de Nitracheck NO₃-concentratie metingen (met beperkte nauwkeurigheid).

De veldtests hebben laten zien de Flow-Caps goed kunnen werken onder veldomstandigheden. Door uiteenlopende oorzaken zijn echter niet alle metingen goed gegaan en is de debietproportionele werking onder veldomstandigheden nog niet goed aangetoond. Aan de hand van de praktijkervaringen is het meetsysteem voor zover mogelijk gaandeweg al verbeterd en gebruiksvriendelijker gemaakt. Aangezien er maar één seizoen met de Flow-Caps is getest, was het binnen dit project niet mogelijk een geoptimaliseerd ontwerp en meetprotocol van de Flow-Cap te maken en te testen. Met name voor de glastuinbouwlocatie hebben continue debiet- en concentratiemetingen bevestigd dat een Flow-Cap een nauwkeurigere (en in dit geval een lagere) vrachtmeting oplevert dan de gebruikelijke steekmonsters.

5.4 Aanbevelingen

De Flow-Cap is klaar om ook getest te worden op andere locaties, voor andere stoffen en/of voor andere typen lozingen. De veldervaringen met de Flow-Caps zijn echter nog te beperkt om direct goede vrachtmetingen te kunnen garanderen. Zeker in de beginfase van een meetcampagne moet de werking goed gecontroleerd worden. We bevelen aan om regelmatig (bijvoorbeeld wekelijks) de werking van de Flow-Caps te controleren, zodat tijdig ingespeeld kan worden op de lokale omstandigheden. Daarbij zijn twee aspecten belangrijk:

- Controleer de debietproportionele werking. Dit kan door bij veldbezoeken handmatig gemeten afvoeren te vergelijken met druppelsnelheden door de SorbiCells. Ook moet de doorstroming van de SorbiCells stoppen als er geen afvoer is. Daarnaast kan gecontroleerd worden of er water door de nooduitlaat gegaan is en er een grotere Sutro-opening nodig is.
- Voorkom dat de doorstroomcapaciteit (ca. 300-400 ml bemonsteringsvolume) van de SorbiCells overschreden wordt. Door SorbiCells met verschillende weerstanden te

installeren kan per locatie het meest geschikte type gevonden worden. Ook is het raadzaam bij de eerste metingen regelmatig te controleren hoe snel het tracerzout verdwijnt.

Uit de veldtest op de glastuinbouwlocatie is gebleken dat bij de hoge ionenconcentraties in de lozing de capaciteit van het adsorptiereservoir mogelijk overschreden wordt. Dit is op te lossen door de grotere 10ml SorbiCells te gebruiken met een grotere weerstand. Hoe snel het adsorptie reservoir opvult is echter niet visueel te controleren tijdens veldbezoeken.

Aan de hand van de in dit project opgedane praktijkervaringen is het aan te bevelen een geoptimaliseerd ontwerp en meet- en bevestigingsprotocol voor de Flow-Cap te maken. Enkele ideeën voor verbeteringsmogelijkheden voor de Flow-Cap zijn:

- In plaats van (geboorde)gaatjes die een Sutro-profiel benaderen kan ook een exact Eiffeltoren-vormig Sutroprofiel uitgefreesd worden. Dit verbetert de precisie van de meting en verkleint de kans op verstoring van de uitstroom door dichtslibben of het blijven hangen van grassprietjes of andere deeltjes.
- De schijf met het Sutro-profiel en de bevestigingsplekken voor de SorbiCells kan uitschuifbaar gemaakt worden. Dat maakt het makkelijker de SorbiCells te verwisselen. Ook kan de Sutro-opening dan eenvoudiger worden vervangen door een kleinere of grotere opening als de afvoercapaciteit kleiner kan of groter moet.
- De bevestigingsplekken van de SorbiCells kunnen met een rubberen ring uitgerust worden om het verwisselen makkelijker te maken en lekkage langs de randen te voorkomen. Een rubberen aansluitstuk tussen de Flow-Cap en de drain kan lekkage langs de bevestigingsranden voorkomen.
- Er kunnen bevestigingsplekken voor SorbiCells op verschillende hoogtes ten opzichte van het Sutro-profiel aangebracht worden. Dat maakt het mogelijk om alleen afvoerpieken te bemonsteren. De bevestigingsplekken kunnen afsluitbaar worden gemaakt voor het geval dat ze niet gebruikt worden.

De veldervaringen hebben verschillende vragen opgeroepen die met relatief eenvoudige experimenten te beantwoorden zijn. Het gaat daarbij vooral om de robuustheid van de vrachtmetingen met Flow-Caps onder uiteenlopende omstandigheden die in het veld kunnen voorkomen. Het was binnen dit project niet meer mogelijk te testen of de debietproportionele werking gehandhaafd blijft als de Flow-Caps onder water uitkomen of als de Flow-Caps (iets) scheef geïnstalleerd zijn. Ook is nog niet gecontroleerd of de Flow-Cap onder alle mogelijke veldcondities (vorst, hitte, zwevend stof, bacteriegroei) goede vrachtmetingen blijft opleveren.

6 Literatuur

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

Harmsen, J., J. van Kleef (2013); Meten van nutriëntenemissies met Sorbicellen op de Rusthoeve. Alterra-rapport 2402, Wageningen.

Holdsworth, P.M. & G. Roberts. 1982. A flow-proportional sampler for plot and lysimeter studies. *Journal of Hydrology* 57, 389-393.

Jansen, R., E. van Os, E. Beerling (2011). Voorstel 'Standaard water' voor toetsing zuiveringstechnologie voor de glastuinbouw. Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen.

Makarewicz, J.C., D'Aiuto, P.E., Bosch, I. (2007). Elevated Nutrient Levels from Agriculturally Dominated Watersheds Stimulate Metaphyton Growth. *J. Great Lakes Res.* 33, 437-448.

Oenema, O., Oudendag, D., Velthof, G.L. (2007). Nutrient losses from manure management in the European Union. *Livest. Sci.* 112, 261-272.

Rozemeijer, J.C., Van der Velde, Y., De Jonge, H., Van Geer, F.C., Broers, H.P., Bierkens, M.F.P. (2010a). 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.

Rozemeijer, J.C., Visser, A., De Jonge, H., Klein, J. (2010b). Debietproportioneel meten met SorbiCells. Vooronderzoek. *Deltares rapport 1202742-000-BGS-0004-cl*, Deltares, Utrecht

Rozemeijer, J.C., Van der Velde, Y., Van Geer, F.C., Bierkens, M.P.F., Broers, H.P. (2010c). Direct Measurements Of The Tile Drain And Groundwater Flow Route Contributions To Surface Water Contamination: From Field-Scale Concentration Patterns In Groundwater To Catchment-Scale Surface Water Quality. *Environ. Pollut.* 158, 3571-3579.

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

Van Vliet, M.E., Passier, H.F., Van der Griff, B., Brils, J., Joziassse, J., Schipper, P., Clement, P., Van Lanen, R. (2006). Herkomst stoffen in het Maasstroomgebied, *TNO-rapport 2006-U-R0095/B*, TNO Bouw en Ondergrond, Utrecht.

Weijters, M.J., Janse, J.H., Alkemade, R., Verhoeven, J.T.A. (2009). Quantifying the effect of catchment land use and water nutrient concentrations on freshwater river and stream biodiversity. *Aquat. Conserv.* 19, 104-112.

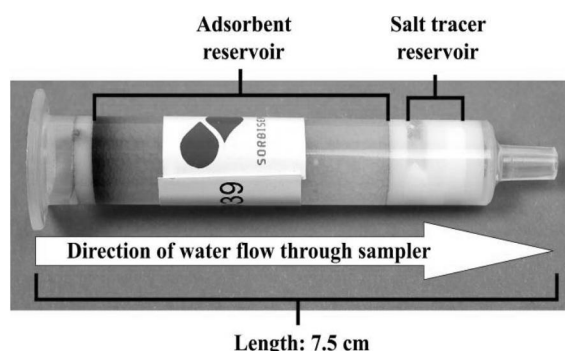
A Meetprincipe SorbiCells

De SorbiCell is een door het Deense bedrijf SorbiSense ontwikkelde, geteste en gepatenteerde 'passive sampling' techniek voor het meten van gemiddelde concentraties over langere installatieperiodes (De Jonge & Rothenberg, 2005). In tegenstelling tot andere passieve sampling technieken is de SorbiCell niet gebaseerd op min of meer constante diffusie of absorptie, maar op advectieve stroming door de sampler. Dit principe maakt de SorbiCell bij uitstek geschikt voor het meten van representatieve gemiddelde concentraties in stilstaand of stromend water met variabele concentraties.

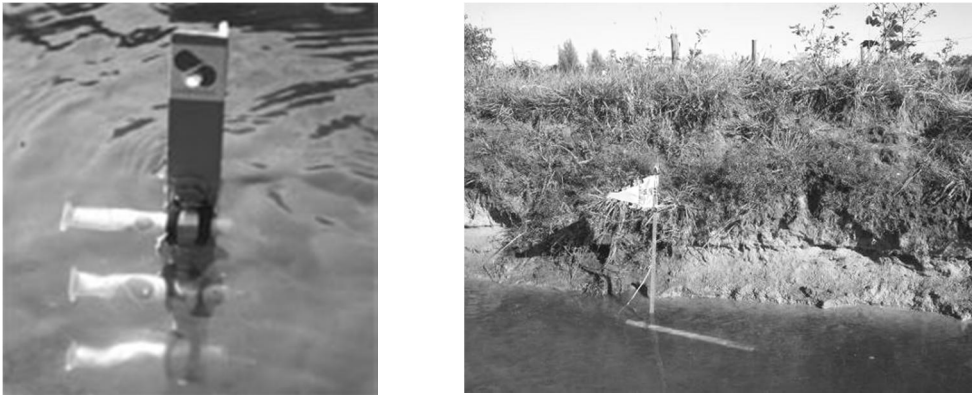
De Sorbicell bestaat uit twee compartimenten waar een deel van het te bemonsteren water langzaam doorheen stroomt: een adsorbent reservoir en een tracer reservoir (zie Figuur 1). Terwijl het monster door de SorbiCell sijpelt, wordt de te meten stof vastgelegd in het adsorbent reservoir. Vervolgens stroomt het water door een tracer reservoir, waar een zout met een bekende oplosbaarheid wordt opgelost. Na de installatieperiode wordt de te meten stof losgemaakt van het adsorbent en geanalyseerd. Dit levert de totale hoeveelheid (massa) van de stof in het bemonsterde water op. Tevens wordt gemeten hoeveel zout er is opgelost, wat een nauwkeurige maat is voor het volume van het bemonsterde water. Uit deze twee getallen (massa en volume) wordt een gemiddelde concentratie in het bemonsterde water over de installatieperiode berekend.

De meest eenvoudige installatiemethode voor de SorbiCells is directe bevestiging in stromend oppervlaktewater (Figuur 2, links). Hierbij zorgt de kinetische waterdruk voor een drukverschil over de SorbiCells waardoor de bemonstering op gang komt. In grondwater en in stilstaand of langzaam stromend oppervlaktewater wordt de SorbiCell bevestigd op een reservoir (Figuur 2, rechts). Met een luchtslang wordt dit reservoir op atmosferische luchtdruk gehouden. In dit geval zorgt de waterdruk boven het reservoir voor de stroming van water door de SorbiCell.

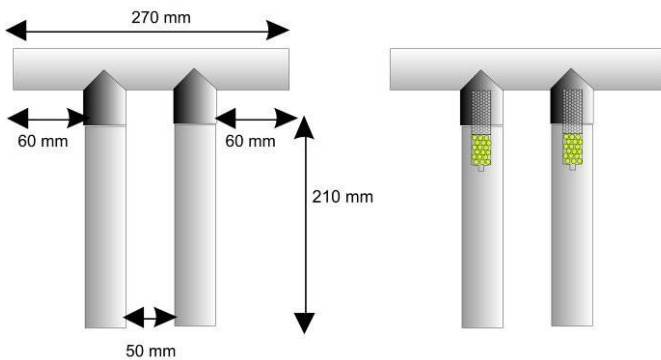
Voor metingen aan het effluent van drains heeft SorbiSense een opzetstuk ontwikkeld waarin de SorbiCells geïnstalleerd kunnen worden (Figuur 3). Dit opzetstuk kan in het veld aan het uiteinde van een drain bevestigd worden. Het grootste deel van het drainwater blijft rechtdoor de sloot in stromen. Een klein deel van het draineffluent sijpelt naar beneden door SorbiCells, die verticaal met de instroomopening naar boven zijn geïnstalleerd in een of meerdere reservoirs. De reservoirs worden via een luchtslag op luchtdruk gehouden. Het laagje drainwater boven de SorbiCell plus de waterkolom van 7 cm in de SorbiCell zelf zorgen samen voor de waterdruk die nodig is om de stroming door de SorbiCell op gang te brengen.



Figuur 1: Basiscomponenten van een SorbiCell.



Figuur 2: Installatie van SorbiCells in stromend (links) en stilstaand of langzaam stromend oppervlaktewater (rechts).



Figuur 3: Opzetstuk voor SorbiCells aan een drain in het veld (boven) en in een schets (onder).

B Resultaten DYNAQUAL

Het doel van DYNAQUAL (Dynamics in Groundwater and Surface water Quality, promotieonderzoeken Ype van der Velde & Joachim Rozemeijer) was het meten, verklaren en voorspellen van variaties in waterkwaliteit. Het meetgedeelte betrof onder meer het gebruik van innovatieve meetsystemen voor het monitoren van waterkwaliteit. In dit kader zijn er continue concentratie metingen verricht met ionselectieve electrodes (Hydrion-10) en een auto-analyser (Phosphax).

In samenwerking met het RIVM is besloten om tevens te experimenteren met het meten van gemiddelde concentraties met SorbiCells. De doelstelling van dit deel van het DYNAQUAL project was het evalueren van de bruikbaarheid van SorbiCells in regionale waterkwaliteitsmeetnetten. Voor een uitgebreide beschrijving van dit onderzoek verwijzen we naar Rozemeijer et al. (2010a). Hieronder volgt een samenvatting van de belangrijkste resultaten met betrekking tot SorbiCells.

In het DYNAQUAL-onderzoek zijn in totaal bijna 1000 SorbiCell metingen gedaan van gemiddelde nitraatconcentraties in grondwater, oppervlaktewater en drainwater. De opzet van het DYNAQUAL onderzoek maakte het mogelijk om op meerdere locaties de SorbiCell metingen te vergelijken met wekelijkse steekmonsters. Voor het uitstroompunt van het stroomgebied kon ook een vergelijking gemaakt worden met continue metingen. Daarnaast zijn op meerdere locaties twee SorbiCells tegelijkertijd geïnstalleerd. Ook deze duplo-metingen zijn gebruikt bij de evaluatie.

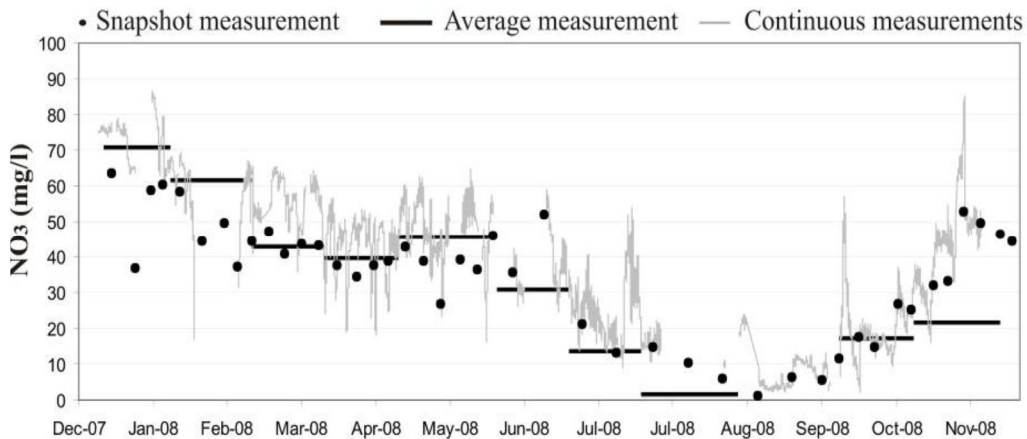
Tijdens de eerste meetrondes bleken de Nederlandse veldcondities wat problemen op te leveren voor de SorbiCell metingen. Zo bleek de doorstromingsnelheid vaak te hoog te zijn; was de fixatie van de compartimenten onvoldoende; en was de capaciteit van het tracerzout te laag. Deze praktische problemen werden in de loop van het onderzoek opgelost door verschillende aanpassingen aan de SorbiCells.

De resultaten van de metingen van december 2007 tot december 2008 zijn weergegeven in Figuur 4, 5 en 6. Figuur 4 laat de gemeten NO_3 -concentraties bij het uitstroompunt van de Hupselse beek zien. Op die locatie zijn de NO_3 -concentraties zowel gemeten met SorbiCells (maandgemiddelde), als met een Hydrion-10 (continue), als met steekmonsters. Figuur 5 geeft de resultaten voor vier locaties waar zowel SorbiCell metingen als wekelijkse steekmonsters uitgevoerd zijn. In Figuur 6 zijn de duplo-metingen tegen elkaar uitgezet. De metingen uit DYNAQUAL laten zien dat SorbiCell concentraties vergelijkbaar zijn met de NO_3 -concentraties uit de wekelijkse steekmonsters en de continue metingen (Figuur 4 en 5). De te lage SorbiCell NO_3 -concentraties in november zijn veroorzaakt door een slechte fixatie van het adsorbent-compartiment in de SorbiCells die in deze meetronde gebruikt zijn. De resultaten van de duplo-metingen tonen aan dat de SorbiCell resultaten goed reproduceerbaar zijn (Figuur 6).

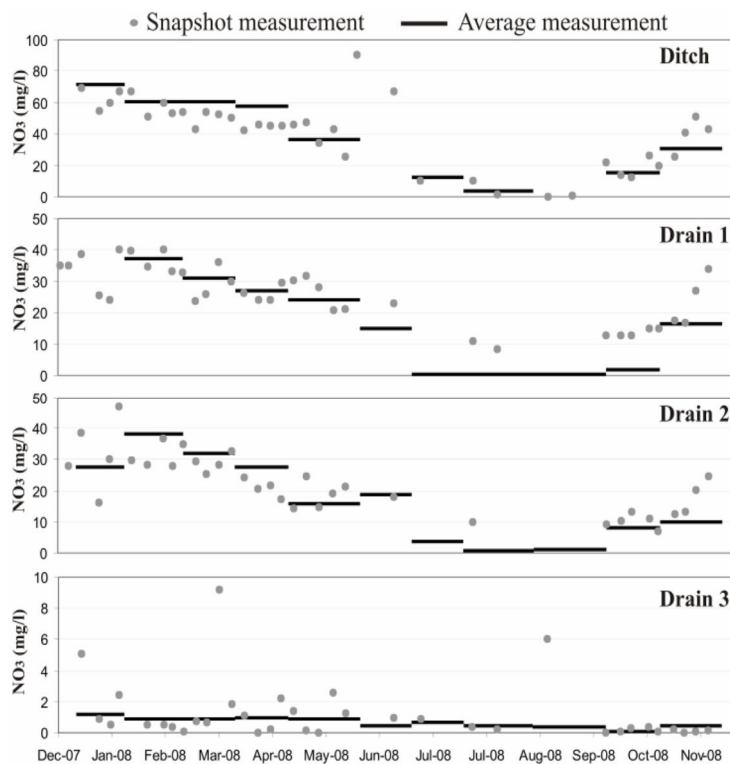
In de uitwerking van de metingen is ook gekeken naar het voordeel van de gemiddelde concentratiemetingen voor het schatten van totaalvrachten over een bepaalde periode. Hiertoe zijn uit de continue meetreeksen wekelijkse, twee-wekelijkse en maandelijks steekmonsters van NO_3 -concentraties geselecteerd. Ook zijn maandgemiddelden berekend die de SorbiCell metingen representeren. De vrachten zijn berekend door de concentraties te vermenigvuldigen met de continu gemeten afvoer. Figuur 7 laat het resultaat zien van de

vrachtberekeningen voor 12 februari tot 1 mei 2008. De vrachtbepaling uit de gemiddelde concentratiemetingen geven een kleine overschatting van de werkelijke vracht uit de continue metingen. De vrachtbepalingen uit de steekmonsters laten echter grotere afwijkingen zien die veroorzaakt worden door de beperkte representativiteit van de metingen. De betrouwbaarheidsbanden rondom de vrachtbepalingen (Figuur 7) geven de minimale en maximale vracht die bij de gemeten variaties op basis van steekmonsters voor de betreffende periode bepaald kunnen worden.

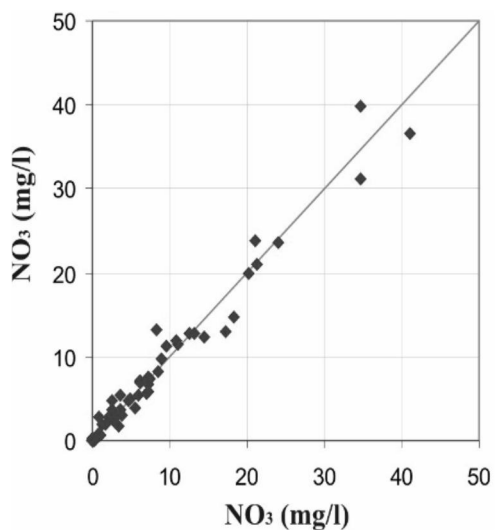
De algemene conclusie van dit DYNAQUAL-onderdeel was dat SorbiCells mogelijk een goed alternatief zijn voor steekmonsters in waterkwaliteitsmeetnetten. Uit een vergelijking met andere meetmethoden en uit duplo-metingen blijkt dat SorbiCells betrouwbare resultaten opleveren. Hiernaast levert het meten van gemiddelde concentraties door de verbeterde representativiteit van de metingen veel nauwkeurigere vrachtbepalingen op dan steekmonsters.



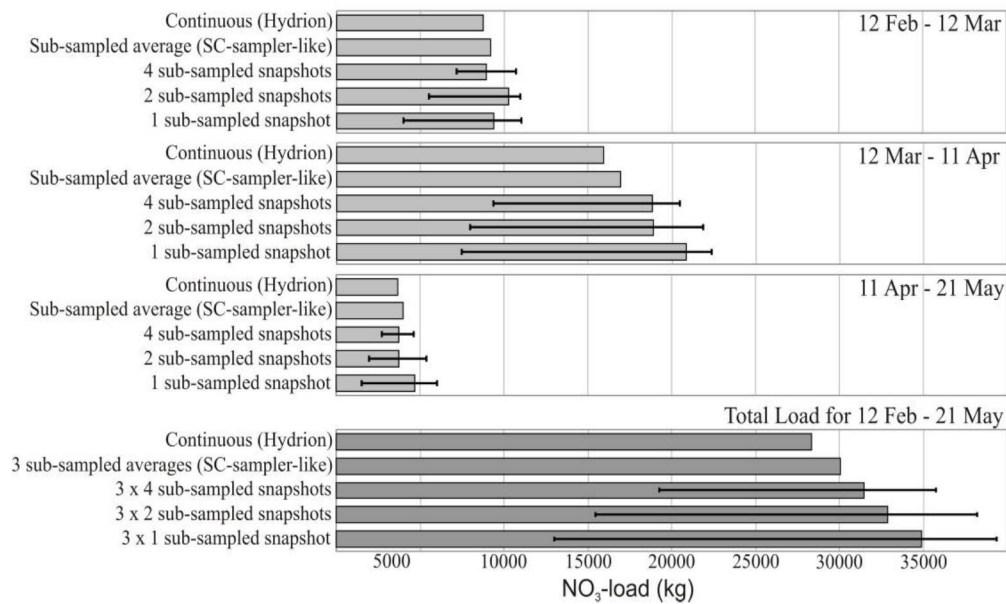
Figuur 4: Vergelijking tussen SorbiCell metingen (average measurements), Hydriion-metingen (continuous measurements) en steekmonsters (snapshot measurements) bij het uitstroompunt van de Hupselse beek.



Figuur 5: Vergelijking tussen SorbiCell metingen (average measurements) en steekmonsters (snapshot measurements) in een sloot en drie drains in het Hupsel stroomgebied.



Figuur 6: Scatterplot van de SorbiCell duplo-metingen.

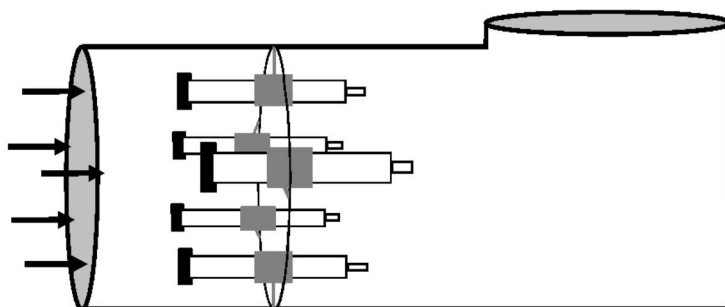


Figuur 7: Nitraatvrachten vanuit het Hupsel stroomgebied berekend uit de continue meetreeks, uit maandgemiddelde concentraties en uit wekelijkse, twee-wekelijkse en maandelijkse steekmonster concentraties voor 3 meetperiodes en de totale meetperiode (zie tekst voor meer uitleg).

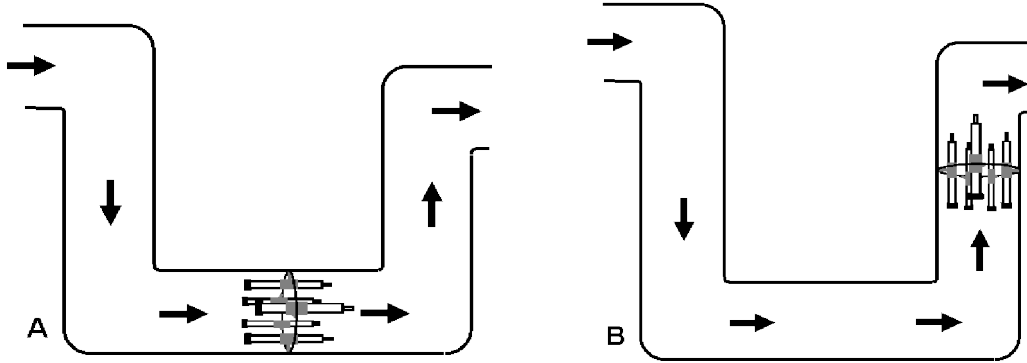
C Resultaten vooronderzoek

In het vooronderzoek (Rozemeijer et al., 2010b) heeft Deltares in opdracht van het RIVM de mogelijkheden verkend voor debietproportionele drainwaterkwaliteitsmetingen met SorbiCells. Deltares heeft aan de hand van literatuuronderzoek en een aantal brainstorm- en ontwerpessies een voorkeursoptie voor een debietsproportionele opstelling uitgewerkt in een voorontwerp. Als voorkeursoptie kwam een aan het uiteinde van de drainbuis te monteren opzetstuk met een uitstroomopening aan de bovenkant naar voren (zie Figuur 8). De SorbiCells worden horizontaal in een houder geïnstalleerd. Doordat de uitstroomopening zich aan de bovenkant bevindt is de buis altijd geheel met water gevuld, ongeacht de afvoerhoeveelheden. Hierdoor is er een lineaire relatie tussen de stroomsnelheid van het water en de afvoer. Bij een gedeeltelijk gevulde buis is dat niet het geval. De snelheid van het stromende water zorgt voor kinetische waterdruk op de instroomopening van de SorbiCell. Afhankelijk van de stroomsnelheid stroomt er meer of minder water door de SorbiCell. In Figuur 9 zijn twee opstellingen met een U-vormige buis ter voorkoming van extra opstuwing (A) en ter voorkoming van het dichtslibben van de SorbiCells (B) weergegeven.

Er is nog vervolgonderzoek nodig voor het aanpassen van de SorbiCells aan het relatief lage bereik aan stroomsnelheden van 1-10 cm/s (opm: dit is in het hier gerapporteerde DiVeLOp onderzoek gedaan). Hiertoe zal de weerstand moeten worden verlaagd. Indien nodig kan de stroomsnelheid en de kinetische waterdruk worden verhoogd door een versmalling in het opzetstuk en/of een trechttertje op de instroomopening van de SorbiCell. Hiernaast is onderzoek nodig naar het dichtslibben van SorbiCells, de invloed van diffusie op metingen bij lage stroomsnelheden en naar mogelijkheden om de installatieduur te verlengen.



Figuur 8: Schets van het opzetstuk voor debietproportionele metingen met SorbiCells.



Figuur 9: Opstelling met een U-vormige buis ter voorkoming van extra opstuwning (A) en ter voorkoming van het dichtslibben van de SorbiCells (B).

D Parallele veldtest Waterschap Rivierenland

Bij Waterschap Rivierenland is in 2011 een meetonderzoek verricht naar lozing van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen door grondgebonden glastuinbouw. Daarbij zijn continue afvoermetingen van de lozing verricht en zijn afvoerproportionele monsters genomen met autosamplers voor goede vrachtbepalingen. De locatie en de meetgegevens zijn door Waterschap Rivierenland beschikbaar gesteld voor een parallelle veldtest. Het deel van de test die in dit onderzoek van belang is, bestaat uit het plaatsen van in-stream SorbiCells in een afvoerbuis. De afvoerbuis van 19 cm inwendige doorsnee wordt dagelijks gebruikt voor het batchgewijs (1 á 2 uur per dag) lozen van effluent op de naastgelegen sloot. De verwachte hoeveelheid water is 100 á 200 m³ per week. Voor de test is voor de afvoerbuis een opzetstuk van 90 graden ontworpen, waardoor de buis vol bleef staan. Om het mogelijk te maken de SorbiCells te verwijderen, was het opzetstuk draaibaar. Het bijzondere aan deze opstelling was bovendien dat de buis een inwendige doorsnede van 19 cm heeft, waardoor er weinig invloed op de doorstroming (bijvoorbeeld turbulentie) rondom de SorbiCells te verwachten was. Om het effluent niet te verstoren met eventuele verstoppingen, is ervoor gekozen om de SorbiCells niet in een honingraad, maar met een kliksysteem te plaatsen. De SorbiCells zijn aangebracht op circa 6 cm van de wand van de buis, dus op 1/3 van de diameter van de buis. Besloten is om wekelijks te bemonsteren met SorbiCells NIP en SorbiCells VOC. De gebruikte SorbiCells (NiP 101 en VOC 101) hebben nog geen aangepaste (verbeterde) hydraulische weerstand.



Figuur 2 90 graden opzetstuk met kliksysteem voor SorbiCells op ca. 6 cm van de wand, zoals gebruikt bij het Waterschap Rivierenland

Gedurende de korte test zijn er geen problemen met de afvoer en doorstroming geweest. Hierbij dient wel opgemerkt dat het geen landbouwdrain betreft en dat er dus ook geen invloed op grondwaterstanden is. De afvoerbuis is bovendien dermate groot (19 cm doorsnede), dat de SorbiCells zonder het verwijderen van het opzetstuk, geplaatst en verwijderd konden worden.



Figuur 3 Gemonteerde opzetstuk in de sloot. Let ook op de grote hoeveelheid kroos.

De test is uitgevoerd om een beeld te krijgen van de verhouding tussen uitgespoelde tracerzout en het totale debiet van het effluent. In onderstaande tabel is aangegeven hoe de verhouding tussen effluent en doorstroomvolume van de onaangepaste SorbiCells is. Bovendien is gekeken naar de stabiliteit van het doorstroomvolume (weggespoeld tracerzout) ten opzichte van het geloosde debiet.

Tabel D1: Meetresultaten van de veldtest. Opmerking: Bij de SorbiCell VOC is de laatste meting niet meegewogen in het gemiddelde.

Effluent Kooiweg bemonsteringsperiode	doorstroomvolume			volume per oppervlakte in l/cm2			factor	
	NIP (ml)	VOC (ml)	drain (m3)	NIP	VOC	drain	drain/NIP	drain/VOC
11.8-18.8	42,39	62	162	0,04239	0,062	578,57	13.649	9.332
18.8-25.8	48,33	27,22	135	0,04833	0,02722	482,14	9.976	17.713
25.8-1.9	32,78	20,56	136	0,03278	0,02056	485,71	14.817	23.624
1.9-8.9	39,39	10	168	0,03939	0,01	600,00	15.232	60.000
gemiddelde verhoudingsfactor							13.419	16.890
maximale afwijking							25,7%	44,7%

Uit de verhoudingsfactor blijkt dat de NIP een vrij constante weerstand laat zien, indien de tweede meting als "uitbijter" wordt gewaardeerd, is de maximale afwijking minder dan 7 %. Bij de VOC is de afwijking groter, dit kan te maken hebben met de pakking van de korrels. Van de laatste meting wordt verondersteld dat er iets is misgegaan: het doorstroomvolume is vrijwel nihil.

Bij deze metingen is nog niet gebruik gemaakt van de aangepaste In-stream SorbiCell. De stroomsnelheid in de buis was, indien aangenomen wordt dat er ongeveer 2 uur per dag is geloosd, bij alle metingen rond de 10 cm/s. De SorbiCells zijn dus gemiddeld 14 uur blootgesteld aan actieve stroming. Een langere blootstelling is meer optimaal omdat dit zal leiden tot grotere monstervolumes en nauwkeuriger metingen.

Uit deze metingen kan voorlopig worden afgeleid dat, bij een stabiele hydraulische weerstand in de SorbiCell, het mogelijk moet zijn om een doorstroomvolume te berekenen met een onnauwkeurigheid van maximaal 20-30 %.

E Besprekingsverslagen

nr	Onderwerp	Datum
1	Startoverleg	7 jun 2011
2	Voortgangsoverleg; resultaten fase 1 en 2, opstarten fase 3	29 nov 2011
3	Voortgangsoverleg; nieuwe resultaten laboratorium- en veldtests, invulling fase 4	21 mei 2012
4	Voortgangsoverleg; nieuwe resultaten veldtests, afronding project.	26 feb 2013