



ALTERRA

WAGENINGEN UR



Retentie van nutriënten in het oppervlaktewater

Meetcampagne in het Zeegserloopje

Alterra-rapport 2133
ISSN 1566-7197

L.P.A. van Gerven, J.J.M. de Klein en F.J.E. van der Bolt

Retentie van nutriënten in het oppervlaktewater

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van
BO-05 'Mineralen en Milieu', thema 4 'Kader Richtlijn Water'
Projectcode [BO-05-004-001]

Retentie van nutriënten in het oppervlaktewater

Meetcampagne in het Zeegserloopje

L.P.A. van Gerven, J.J.M. de Klein en F.J.E. van der Bolt

Alterra-rapport 2133

Alterra, onderdeel van Wageningen UR
Wageningen, 2010

Gerven, L.P.A. van, J.J.M. de Klein en F.J.E. van der Bolt, 2010. *Retentie van nutriënten in het oppervlaktewater; Meetcampagne in het Zeegserloopje*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2133. 84 blz.; 51 fig.; 23 tab.; 19 ref.

Deze meetcampagne geeft meer inzicht in het vermogen van een waterloop om nutriënten vast te leggen of na te leveren (retentie). Dit inzicht draagt bij aan het beter inschatten en optimaliseren van waterkwaliteitsmaatregelen. Hiertoe zijn een genormaliseerd en een meanderend traject in het Zeegserloopje hoogfrequent bemeten in drie perioden van elk een week in de zomer/nazomer van 2009. De gemiddelde stikstofvastlegging in de meetperioden bedraagt 5% tot 50% van de inkomende vrachten. De fosforretentie is grilliger en varieert van een nalevering van 60% tot een vastlegging van 60%. De resultaten suggereren dat hermeandering niet hoeft te leiden tot een betere waterkwaliteit zoals vaak wordt aangenomen. Mede doordat hermeandering in combinatie met het weghalen van stuwen kan leiden tot kleinere verblijftijden van het water.

Trefwoorden: Oppervlaktewaterkwaliteit, KRW, retentie, zelfreinigend vermogen, stikstof, fosfor, meetcampagne, denitrificatie, sedimentatie, waterplanten, meanderen.

ISSN 1566-7197

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

© 2010 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; info.alterra@wur.nl

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

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

Alterra-rapport 2133

Wageningen, december 2010

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Methode	13
2.1 Onderzoeksgebied	13
2.2 Metingen	16
2.2.1 Water- en nutriëntenbalans	17
2.2.1.1 Afvoeren	17
2.2.1.2 Nutriëntenconcentraties	21
2.2.2 Conditie in de waterloop	22
2.2.3 Nutriëntenprocessen in de waterloop	24
3 Resultaten	27
3.1 Water- en nutriëntenbalans	27
3.1.1 Wateraanvoer en -afvoer	27
3.1.1.1 Genormaliseerde traject	28
3.1.1.2 Meanderende traject	31
3.1.2 Nutriëntenconcentraties	35
3.1.3 Nutriëntenvrachten	39
3.1.4 Nutriëntenretentie	40
3.2 Conditie in de waterloop	42
3.2.1 Hydraulische verblijftijd	42
3.2.2 Watertemperatuur	43
3.2.3 Lichtintensiteit	44
3.2.4 Zuurstof in de waterkolom	45
3.2.5 Waterplanten	47
3.2.6 Sedimentsamenstelling	49
3.3 Nutriëntenprocessen in de waterloop	51
3.4 Bijdrage van nutriëntenprocessen aan de retentie	54
4 Conclusies en aanbevelingen	59
Literatuur	61
Bijlage 1 Waterafvoeren	63
Bijlage 2 Nauwkeurigheid stroomsnelheidsmeters	67
Bijlage 3 Nutriëntenspeciatie (concentraties en vrachten)	69

Bijlage 4	Invloed van de zijloopjes op de retentie	75
Bijlage 5	Tabellen over retentie en denitrificatie	77
Bijlage 6	Sedimentmonsters	79
Bijlage 7	Dag-nacht dynamiek van nutriëntenconcentraties	81

Woord vooraf

Voor de waterkwaliteit is het van belang welk deel van de nutriënten die in een waterloop belanden worden vastgelegd. Deze vastlegging, ook wel retentie genoemd, is ofwel permanent ofwel van tijdelijke aard en is een maat voor het 'zuiverend vermogen' van de waterloop. Inzicht hierover draagt bij aan het beter inschatten en optimaliseren van het effect van maatregelen en is relevant voor de realisatie van Kaderrichtlijn Water (KRW)-ambities.

Het doel van deze meetcampagne is het verkrijgen van meer inzicht in de retentie in een kleine waterloop. Hiertoe zijn een meanderend en een genormaliseerd traject bemeaten in het Zeegserloopje, een zijloopje van de Drentse Aa. Voor beide trajecten is een massabalans opgesteld; hoeveel nutriënten komen het traject binnen en hoeveel nutriënten verlaten het traject. Het verschil is de retentie. Ook zijn de belangrijkste retentive processen gemeten. Vanwege het dynamische karakter van de retentie zijn hoogfrequente metingen uitgevoerd gedurende drie perioden van een week, in de zomer en nazomer van 2009. De zomerperiode is gekozen omdat waterlopen dan een grote potentie hebben om nutriënten vast te leggen, mede door de grote hoeveelheden waterplanten en de doorgaans langere verblijftijd van het water. Daarbij hebben de KRW-doelen voor nutriënten betrekking op het zomerhalfjaar. Speciale aandacht gaat uit naar de bijdrage van waterplanten aan de nutriëntenvastlegging.

De meetcampagne is uitgevoerd in het kader van het project 'Relatie grond- en oppervlaktewater' (BO-05-004-001). Er was additionele financiering vanuit 'Monitoring Stroomgebieden' (BO-12.07-005-006). In een vervolgstadium worden de metingen gebruikt om het in 'Monitoring Stroomgebieden' toegepaste oppervlaktewaterkwaliteitsmodel met bijbehorende modelparameters aan te passen. Daarna wordt gekeken in hoeverre het aangepaste model toepasbaar is op andere waterlopen.

Graag willen we het Waterschap Hunze en Aa's bedanken voor de prettige samenwerking in de personen van Geert Nijhof, Marian van Dongen, Egbert Regien en Gerrit Veen. Ook willen we de omwonenden bedanken voor het laten plaatsvinden van het onderzoek in hun 'achtertuin'. Verder gaat een woord van dank uit naar de leerstoelgroepen 'Aquatische ecologie en waterkwaliteitsbeheer' (AEW) en 'Hydrologie en kwantitatief waterbeheer' (HWM) van Wageningen Universiteit (Wageningen UR) voor het beschikbaar stellen van meetapparatuur (Roel Dijkema, John Beijer, Antonie van den Toorn, Claudia Brauer), het analyseren van de watermonsters (Frits Gillissen) en het gebruik van het Hydraulica laboratorium (Matthijs Boersema). Robert Smit, bedankt voor het reviewen van het rapport. En 'last but not least' dank aan Martin Mulder, Frits Gillissen en Rutger Engelbertink voor hun hulp in het veld.

De auteurs

(corresponderend auteur: luuk.vangerven@wur.nl)

Samenvatting

Het doel van deze meetcampagne is het verkrijgen van meer inzicht in de retentie van nutriënten in een kleine waterloop, een maat voor het 'zuiverend vermogen'. Het doorgronden hiervan draagt bij aan de vraag hoe je de retentie kan optimaliseren met een betere waterkwaliteit tot gevolg, met betrekking tot de KRW-doelen voor nutriënten.

Hiertoe zijn twee trajecten intensief bemeten in het Zeegserloopje, een zijloop van de Drentse Aa. Dit is gedaan gedurende drie meetperioden van elk een week in de zomer/nazomer van 2009. Het gaat om een genormaliseerd traject voorzien van stuwen en omringd door landbouw met een lengte van ongeveer 1.400 meter. Het andere traject is ongeveer 875 meter lang en meandert door een natuurlijke omgeving. De retentie is bepaald door te meten hoeveel nutriënten (N en P) het beektraject binnenkomen en verlaten. Ook zijn in elk traject de belangrijkste retentieprocessen gemeten.

Speciale aandacht gaat uit naar de invloed van waterplanten op de retentie. Het maaibeheer is zodanig uitgevoerd dat er in elk van de drie meetperioden een andere hoeveelheid waterplanten stond in het genormaliseerde traject, variërend van vrijwel geen planten tot dichtbegroeid.

De belangrijkste bevindingen zijn:

- In beide trajecten wordt gedurende alle meetperioden stikstof (N) vastgelegd met retentiepercentages van 5% tot 50% per meetperiode.
- In beide trajecten wordt in bijna alle meetperioden fosfor vastgelegd met retentiepercentages (R_p) oplopend tot bijna 60%. Uitzondering is de grote P-nalevering in het genormaliseerde traject in de eerste meetperiode ($R_p = -60\%$).
- De retentie vertoont veel dynamiek zowel in als tussen de meetperioden.
- De P-retentie is dynamischer dan de N-retentie.
- Uit de metingen blijkt niet dat het meanderende traject een structureel groter zuiverend vermogen heeft dan het genormaliseerde traject.
- De kleinere verblijftijd van het water in het meanderende traject draagt mogelijk bij aan de kleinere retentie.
- De gemeten retentie wordt niet volledig verklaard door de gemeten procesbijdrages (denitrificatie, sedimentatie, plantopname).
- De bijdrage van nutriëntenopname door waterplanten aan de retentie is het grootst in meetperiode 2 met veel waterplanten en grote verblijftijden van het water.
- De totale invloed van waterplanten op de retentie, die meer omvat dan alleen nutriëntenopname, kon niet worden afgeleid uit de metingen. Daardoor kon ook het effect van het waterplantentype op de retentie niet worden bepaald.

Anders dan vaak wordt gedacht geven de meetresultaten aan dat hermeandering niet altijd leidt tot grotere verblijftijden en mogelijk ook niet tot een betere waterkwaliteit. Het vergroten van de verblijftijd door het verlengen van het stroompad weegt niet altijd op tegen de verblijftijdsverlaging door het weghalen van stuwen, zeker bij lage afvoeren zoals in de zomer. Het zuiverend vermogen is in de zomer in potentie het grootst maar wordt door de kortere verblijftijden mogelijk niet goed benut. Om dit beter te onderzoeken zou de retentie in een traject voor en na hermeandering moeten worden gemeten.

1 Inleiding

Retentie

Aan een waterloop worden gedurende het stroomtraject nutriënten toegevoegd, onder andere door uitspoeling vanuit het landsysteem. Niet alle toegevoegde nutriënten verlaten de waterloop bij het uitstroompunt. Het verschil tussen de inkomende en uitgaande nutriëntenvrachten noemt men retentie (o.a. Van Gerven et al., 2009). Retentie wordt veroorzaakt door verschillende fysische en biochemische processen in de waterloop (in het water, in de waterbodem en in/aan waterplanten) die nutriënten omzetten, verwijderen of opslaan.

Voor stikstof (N) is denitrificatie een belangrijk retentiemechanisme. Hierbij wordt nitraat door bacteriën omgezet in stikstofgas (N_2) (en soms in lachgas (N_2O)) dat ontsnapt naar de lucht (Gumbrecht, 1993). Ideaal voor denitrificatie zijn lage zuurstofconcentraties, veel nitraat, veel goed afbreekbaar organisch materiaal en hoge temperaturen. Deze condities doen zich voor in de anaerobe sedimentlaag, onder het bovenste aerobe deel van het sediment dat vaak maar enkele millimeters dik is.

Voor fosfor (P) is sedimentatie een belangrijk retentieproces. Dit is het sedimenteren van in het water zwevende deeltjes (die vaak N en P bevatten) afkomstig van onder andere afgestorven waterplanten, algen en bladval. Onder rustige condities sedimenteren de deeltjes. Bij hoge stroomsnelheden, harde wind of bioturbatie kunnen ze weer door het water worden meegenomen (resuspensie) (De Klein, 2008). Sedimentatie kan worden opgevolgd door begraving wat resulteert in permanente verwijdering (Brenner et al., 2006). Een ander belangrijk retentiemechanisme voor P is de binding aan waterbodemdeeltjes zoals ijzer, aluminium en calcium. Deze adsorptie en bijbehorende desorptie is in principe reversibel, maar kan bij aanwezigheid van voldoende zuurstof zorgen voor permanente opslag.

Waterplanten spelen een belangrijke rol in de nutriëntenhuishouding van kleine waterlopen. Ze beïnvloeden de nutriëntenconcentraties als volgt (De Klein, 2008):

- opname van nutriënten voor groei en afgifte door sterfte;
- obstructie van de waterstroom en dus langere hydraulische verblijftijden;
- stimulatie van denitrificatie omdat waterplanten biofilms van denitrificerende bacteriën huisvesten en substraat leveren (Eriksson en Weisner, 1997);
- tegengaan van resuspensie (minder turbulentie en grotere vastlegging van het sediment in de nabijheid van wortels).

De hydraulische verblijftijd is van grote invloed op de retentie. Bij hoge waterafvoer is de waterloop een 'doorspoelbak', waarin onderweg weinig met de nutriënten gebeurt. Bij langzaam transport en grote verblijftijden hebben processen veel tijd om aan te grijpen op de nutriënten.

Het is moeilijk om de retentie te kwantificeren. Enerzijds verschilt de grootte van de retentieprocessen sterk in de ruimte en tijd. Anderzijds is het vaak onduidelijk hoeveel nutriënten er aan een waterloop zijn toegevoegd, wat het moeilijk maakt te bepalen hoeveel retentie er heeft moeten plaatsvinden om de uiteindelijke nutriëntenhoeveelheden bij het uitstroompunt te verklaren.

Meetcampagne

Deze meetcampagne is gericht op het kwantificeren van de retentie in kleine waterlopen om meer inzicht te krijgen in de retentieprocessen en de daaraan gekoppelde natuurlijke zuiverende werking. Hiertoe zijn twee trajecten bemeten in het Zeegserloopje, een zijloop van de Drentse Aa met een vrij hoge nutriëntenbelasting door de omringende landbouw (Roelsma et al., 2008). Het gaat om een meanderend (natuurlijk) en een genormaliseerd beektraject. De retentie in deze trajecten is bepaald door het opstellen van een massabalans. Er is gemeten hoeveel nutriënten het beektraject binnenkomen en verlaten. Tevens zijn de belangrijkste retentiveprocessen gemeten en is hun bijdrage aan de totale retentie bepaald.

Speciale aandacht gaat uit naar de invloed van waterplanten op de retentie, wat betreft de hoeveelheden en de soorten waterplanten. Het maaibeheer is zodanig uitgevoerd dat er in elk van de drie meetperioden een andere hoeveelheid waterplanten staat in het genormaliseerde traject, variërend van vrijwel geen planten tot dichtbegroeid. Ook verschillen de beiden trajecten qua soortensamenstelling. Het genormaliseerde traject wordt gedomineerd door waterpest. Het meanderende traject heeft een grote soortenrijkdom.

Omdat de retentie dynamisch is zijn hoogfrequente metingen uitgevoerd in drie meetperioden van elk een week: twee in de zomer (eind juli en medio september) en één in het najaar (eind oktober). Er is gekozen voor met name zomerperioden omdat de zuiverende werking dan in potentie groot is. De lange verblijftijden, hoge temperaturen en grote hoeveelheden waterplanten stimuleren de (biochemische) retentieprocessen. Ook is de zomer interessant met het oog op de Kaderrichtlijn Water (KRW), omdat de daarvoor afgeleide nutriënten-normen betrekking hebben op het zomerhalfjaar.

Onderzoeksvragen

De onderzoeksvragen van dit meetproject richten zich op de vastlegging of nalevering van stikstof (N) en fosfor (P) in kleine waterlopen in de zomerperiode:

- Hoe groot is de vastlegging/nalevering?
- Hoe dynamisch is de vastlegging/nalevering?
- Is er een structureel verschil tussen de vastlegging/nalevering in het genormaliseerde traject en in het meanderende traject?
- Is het verschil toe te schrijven aan eventuele grotere verblijftijden in het meanderende traject?
- Welke processen dragen bij aan de vastlegging/nalevering en in welke mate?
- Welke rol spelen waterplanten in de vastlegging/nalevering?
- Beïnvloedt de soortensamenstelling (waterplanten) de vastlegging/nalevering?

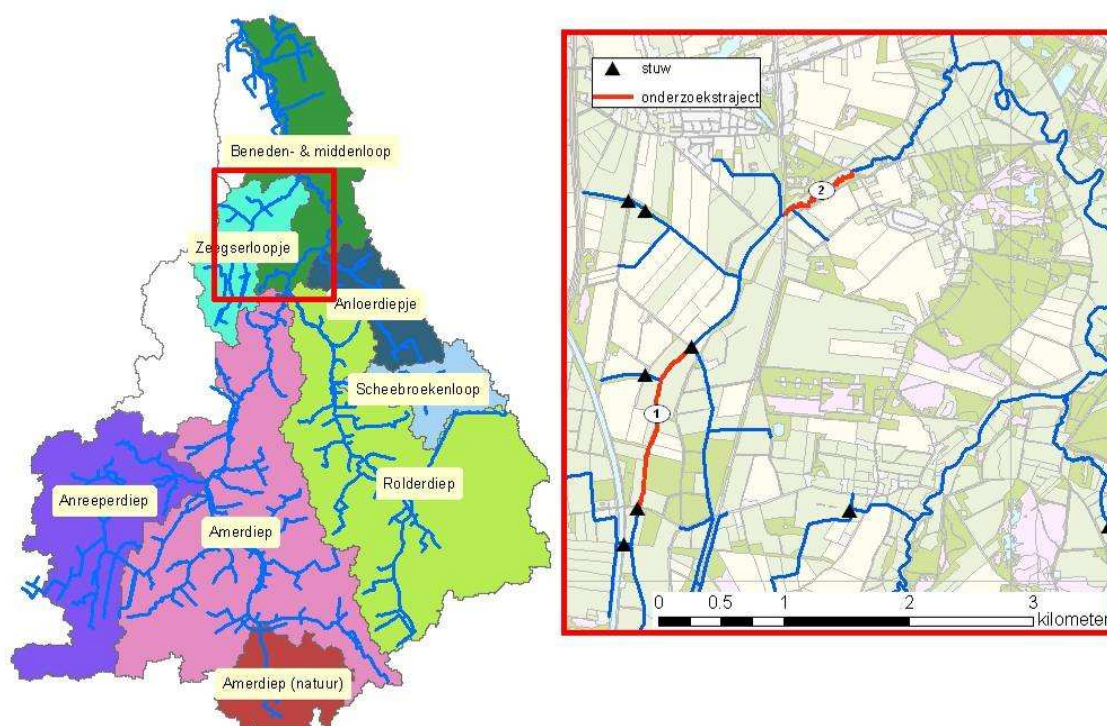
Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat in op de ligging en karakteristieken van de twee onderzochte beektrajecten, evenals de metingen: wat, waar, hoe en wanneer is er gemeten. Hoofdstuk 3 toont de meetresultaten en hun interpretatie. De gemeten nutriëntenbalans en de gemeten bijdrage hieraan van retentieprocessen komen aan bod. In hoofdstuk 4 volgen de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.

2 Methode

2.1 Onderzoeksgebied

De twee onderzoekstrajecten bevinden zich in het Zeegserloopje, een zijloop van de Drentse Aa. Figuur 1 toont de deelstroomgebieden van de Drentse Aa en de locatie van de twee onderzoekstrajecten. Het Zeegserloopje is gekozen vanwege zijn hoge nutriëntenbelasting vergeleken met andere deelstroomgebieden van de Drentse Aa (Roelsma et al., 2008). Dit resulteert in hoge nutriëntenconcentraties van het beekwater waardoor er in potentie veel nutriënten kunnen worden vastgelegd. Daarbij gaat het Zeegserloopje over van een genormaliseerd naar een meanderend (natuurlijk) traject en kan worden onderzocht of ze een andere retentie hebben.



Figuur 1

Deelstroomgebieden van de Drentse Aa (begrenzing uit Roelsma et al., 2008) en de locatie van het genormaliseerde (1) en meanderende (2) onderzoekstraject.

Het genormaliseerde traject is 1.400 meter lang en is begrensd door twee stuwen (Figuur 2). Het traject is omgeven door weiland en twee maïspcelen met een lengte van ongeveer 300 meter aan weerszijden van de loop. Het verhang van de waterbodem bedraagt ruim 40 cm per kilometer. Het verhang van de waterspiegel is kleiner door de opstuwing (stuw op uitstroompunt). Tabel 1 geeft overige karakteristieken van het genormaliseerde traject.



Figuur 2

Het genormaliseerde traject (Google Earth) ingedeeld in vieren.

Het meanderende traject (Figuur 3) heeft een lengte van 875 meter en is begrensd door een duiker onder de spoorlijn (instroompunt) en een duiker onder de weg (uitstroompunt). Het traject wordt omgeven door natuurlijk grasland en bos. Het waterbodenvverhang bedraagt ongeveer 50 cm per kilometer. Andere karakteristieken staan in Tabel 1.



Figuur 3

Het meanderende traject (Google Earth) ingedeeld in vier compartimenten.

Tabel 1

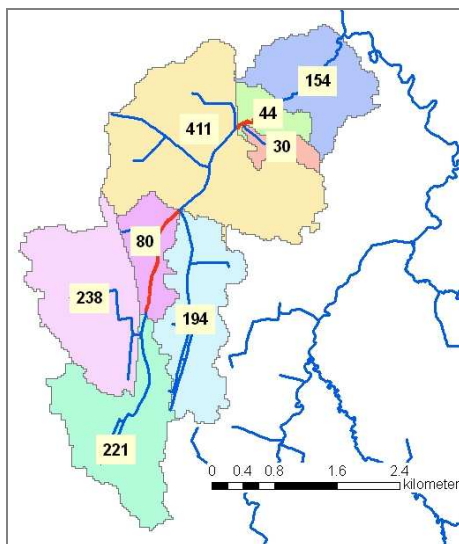
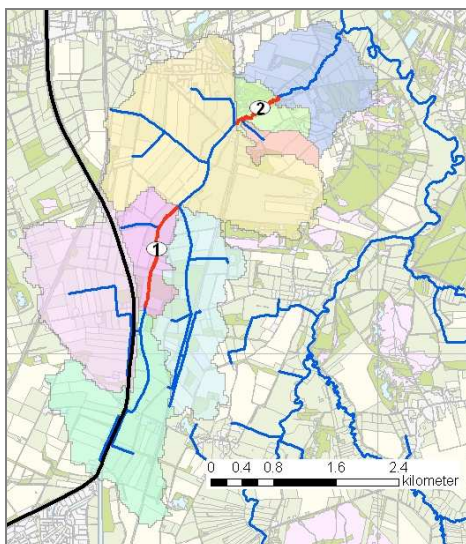
Karakteristieken van het genormaliseerde en meanderende traject, volgend uit metingen op 28 juli (meanderende traject) en 20 oktober (genormaliseerde traject).

	Traject	Lengte (m)	Breedte waterspiegel (m)	Water- diepte (cm)	Talud (°)	Openwater- opp. (m ²)	Water- volume (m ³)	Bodem- opp. (m ²)	Sediment- dikte (cm)	Sediment- volume (m ³)
Recht	I	480	2,5	35	45	1.190	360	850	5	43
	II	300	3,2	45	45	960	370	690	15	104
	III	220	3,4	45	45	740	290	540	20	108
	IV	400	3,6	50	45	1.420	620	1030	30	309
	totaal	1.400	-	-	45	4.310	1.640	3.110	-	564
Meander	V	210	3,0	25	60	630	150	570	9	51
	VI	190	2,5	22	60	475	100	425	14	60
	VII	255	2,5	17	60	640	105	590	15	89
	VIII	220	2,0	17	60	440	70	395	11	43
	totaal	875	-	-	60	2.185	425	1.980	-	243

De precieze ligging van de onderzoekstrajecten in het stroomgebied van het Zeegserloopje is weergegeven in Figuur 4. De vanggebieden van de verschillende deelstromen zijn bepaald op basis van een hoogtekkaart (AHN, 2004) in combinatie met gebiedsinformatie. Het Noord-Willemskanaal doorkruist het bovenstroomse deel van het stroomgebied van het Zeegserloopje. Via twee duikers staan de deelstroomgebieden aan weerszijden van het kanaal met elkaar in verbinding.

Het vanggebied bovenstrooms van het genormaliseerde traject is ruim 450 hectare. Voor het meanderende traject is het bovenstrooms gelegen vanggebied 1.150 hectare groot. Het vanggebied van de trajecten zelf bedraagt 80 hectare voor het genormaliseerde traject (17% van het bovenstroomse vanggebied) en 75 hectare voor het meanderende traject (6% van het bovenstroomse vanggebied). Het vanggebied van de grote zijloop die uitmondt op het einde van het genormaliseerde traject bedraagt bijna 200 hectare.

Het oppervlak van de vanggebieden geeft een grove indicatie van de afvoerbijdrage van de verschillende zijtakken met name tijdens natte perioden. In droge perioden zal de afvoerbijdrage sterker afhangen van regionale en lokale kwel of infiltratie.



Figuur 4

Vanggebieden in het stroomgebied van het Zeegserloopje met hun oppervlakte (in hectares). Het Noord-Willemskanaal is weergegeven door de zwarte lijn.

2.2 Metingen

Het onderzoek bestaat drie meetperioden in 2009 van elk ruim een week:

- meetperiode 1: 27 juli - 4 augustus;
- meetperiode 2: 15 september - 24 september;
- meetperiode 3: 20 oktober - 29 oktober.

In elke meetperiode is het volgende gemeten:

- Water- en nutriëntenbalans (waterafvoeren en nutriëntenconcentraties);
- Condities in de waterloop (temperatuur, zuurstof, licht, samenstelling sediment, hoeveelheid waterplanten en hun soortensamenstelling);
- Nutriëntenprocessen (denitrificatie, sedimentatie, nutriëntenopname door waterplanten).

De condities in de waterlopen zijn gemeten omdat ze het verloop van de nutriëntenprocessen beïnvloeden en daarmee de retentie. Tabel 2 geeft een overzicht van de meetlocaties en het moment van meten. Het vervolg van deze paragraaf gaat hier dieper op in. Ook komt de manier van meten aan bod.

Tabel 2

Overzicht van de plaats en het moment van meten per onderzoekstraject.

Wat	Waar	Wanneer
Waterafvoeren	begin en einde traject	gedurende meetperiode
Nutriëntenconcentraties	begin en einde traject	gedurende meetperiode
Nutriënteninput van zijloopjes	uitmonding zijloopjes	begin/einde meetperiode
Zuurstofgehalte in het water	begin en einde traject	gedurende meetperiode
Watertemperatuur	begin en einde traject	gedurende meetperiode
Lichtintensiteit aan waterspiegel	einde genormaliseerde traject	gedurende meetperiode
Kwel/infiltratie	meerdere locaties	begin/einde meetperiode
Hoeveelheid waterplanten	gehele traject (schatting) + aantal puntmonsters	begin/einde meetperiode
Sedimentsamenstelling	meerdere locaties	begin/einde meetperiode
Denitrificatie	één locatie	begin meetperiode
Sedimentatie	begin en einde traject	gedurende meetperiode

2.2.1 Water- en nutriëntenbalans

Aan het begin en het einde van elk meettraject zijn de waterafvoeren en de nutriëntenconcentraties gemeten om per traject een water- en nutriëntenbalans op te stellen en de retentie af te leiden.

2.2.1.1 Afvoeren

Figuur 5 toont de locaties van de afvoermetingen. Het genormaliseerde traject is begrensd door twee klepstuwen, terwijl in het meanderende traject de afvoeren zijn gemeten in twee duikers aan het begin en einde van het traject. In Tabel 3 staan de gebruikte meetmethodes en meetfrequenties.

**Figuur 5**

Overzicht van de afvoermetingpunten in het Zeegserloopje.

Tabel 3*Locatie, wijze en frequentie van de afvoermetingen.*

Locatie	Wijze	Frequentie
Stuw Oudemolenseweg	Waterstandsmeting (diver) bij stuw. Met gemeten klepstand omrekenen naar overstorthoogte en vervolgens naar debiet.	10 minuten
Stuw Zeegserloopje	Waterstandsmeting (diver) bij stuw. Met gemeten klepstand omrekenen naar overstorthoogte en vervolgens naar debiet.	10 minuten
Duiker onder spoorlijn	Metten van stroomsnelheid en waterhoogte in duiker onder het spoor met een ultrasone sensor (Stingray QZ02 sensor). In combinatie met het doorstroomde dwarsprofiel (breedte duiker = 124 cm) levert dit het debiet.	5 minuten (periode 1 en 2) 10 minuten (periode 3)
Duiker onder weg (MS punt)	Metten van stroomsnelheid en waterhoogte in duiker onder de weg met een ultrasone sensor. In combinatie met het doorstroomde dwarsprofiel (breedte duiker = 247 cm) levert dit het debiet.	1 uur

De overstorthoogtes bij de klepstuwen zijn als volgt omgerekend naar een debiet (CTV 1988):

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} g C_d C_v B (h_w - h_s)^{1.5} = \mu B (h_w - h_s)^{1.5} \quad (1)$$

waarin:

Q	Stuwafvoer	$[\text{m}^3 \text{s}^{-1}]$
μ	Stuwconstante	$[\text{m}^{0.5} \text{s}^{-1}]$
B	Breedte stuw	$[\text{m}]$
h_w	Bovenstrooms waterpeil	$[\text{m NAP}]$
h_s	Klepstand van de stuw	$[\text{m NAP}]$
C_d	Coefficient voor afvoer efficiency	$[-]$
C_v	Coefficient voor snelheidscorrectie	$[-]$
g	Zwaartekrachtsconstante	$[\text{m s}^{-2}]$

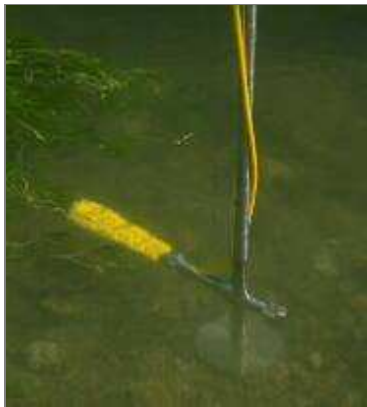
Voor beide stuwen is een stuwconstante μ van $1.79 \text{ m}^{0.5}/\text{s}$ aangenomen. De breedte van stuw Oudemolense weg bedraagt 1.43 m. Stuw Zeegserloopje is 1.45 m breed. De klepstand van de stuw Oudemolense weg bedroeg 463.4 cm NAP. De klepstand van stuw Zeegserloopje varieerde per meetperiode; 386.2 cm NAP in periode 1, 388.5 cm NAP in periode 2 en 378.7 cm NAP in periode 3.

Bij elk afvoermeetpunt is ter controle aan het begin en einde van elke meetperiode handmatig de afvoer gemeten. Bij de klepstuwen is dit gedaan door te meten hoeveel tijd er nodig is om een cementkuip vol te laten lopen (Figuur 6). Rekening houdend met de breedte van de stuw en de breedte en het volume van de kuip levert dit het debiet. Bij de duikers zijn ter controle handmetingen uitgevoerd met twee verschillende elektromagnetische stroomsnelheidsmeters (Figuur 7), waarvan de meetwaarden zijn gecorrigeerd aan de hand van laboratoriummetingen (Bijlage 2). Op meerdere punten in het dwarsprofiel van de duikers is de stroomsnelheid gemeten, op 40% van de waterdiepte ten opzichte van de bodem. Dit is de hoogte die de gemiddelde stroomsnelheid in de verticaal representeert (Boiten et al., 1995).



Figuur 6

Meten van de stuwaafvoer met een cementkuip.

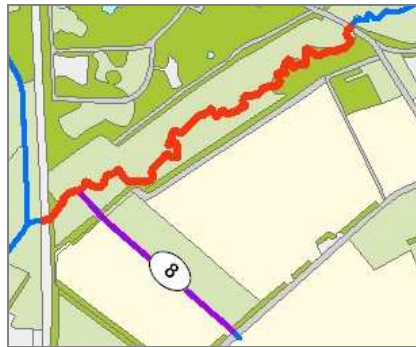
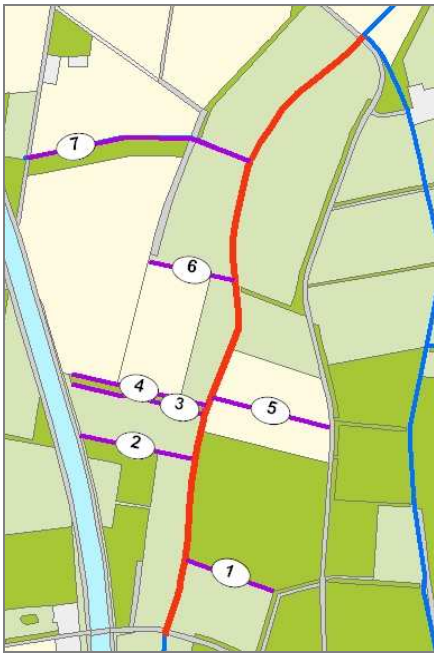


Figuur 7

Elektromagnetische stroomsnelheidsmeter (Sensa RC2).

De elektromagnetische stroomsnelheidsmeter is ook gebruikt om de afvoeren van de zijloopjes te bepalen aan het begin/einde van elke meetperiode. Het genormaliseerde traject heeft zeven zijloopjes, het meanderende traject heeft één zijloop (Figuur 8). Voor het opstellen van de water- en nutriëntenbalans is het belangrijk om te weten hoe groot de wateraanvoer vanuit de zijlopen is. Ook is de waterafvoer van de grote zijloop gemeten die net voor stuw Zeegserloopje op het genormaliseerde traject uitmondt. De waterkwaliteit van het traject is vlak voor de uitmonding bepaald (zie paragraaf 2.2.1.2). Om de juiste waterafvoer op dit punt te bepalen moet de stuwaafvoer worden verminderd met de afvoer van de grote zijloop.

Om de waterbalans sluitend te krijgen moet ook de hoeveelheid kwel of infiltratie gedurende de trajecten worden beschouwd. De kwel/infiltratie is alleen in het meanderende traject gemeten op een drietal locaties (Figuur 9). De hoeveelheid is gemeten met een kwelmeter. De stijghoogte ('kwelpotentie') is gemeten met een potentiaalnaald. In het genormaliseerde traject zijn geen metingen verricht en is uitgegaan van een gedetailleerde kwel/infiltratie kaart van Waterschap Hunze en Aa's (2006). Uit deze kaart blijkt dat er nauwelijks kwel of wegzijging is in het genormaliseerde traject.



Figuur 8

Zijloopjes van het genormaliseerde (links) en het meanderende (rechts) onderzoekstraject.



Figuur 9

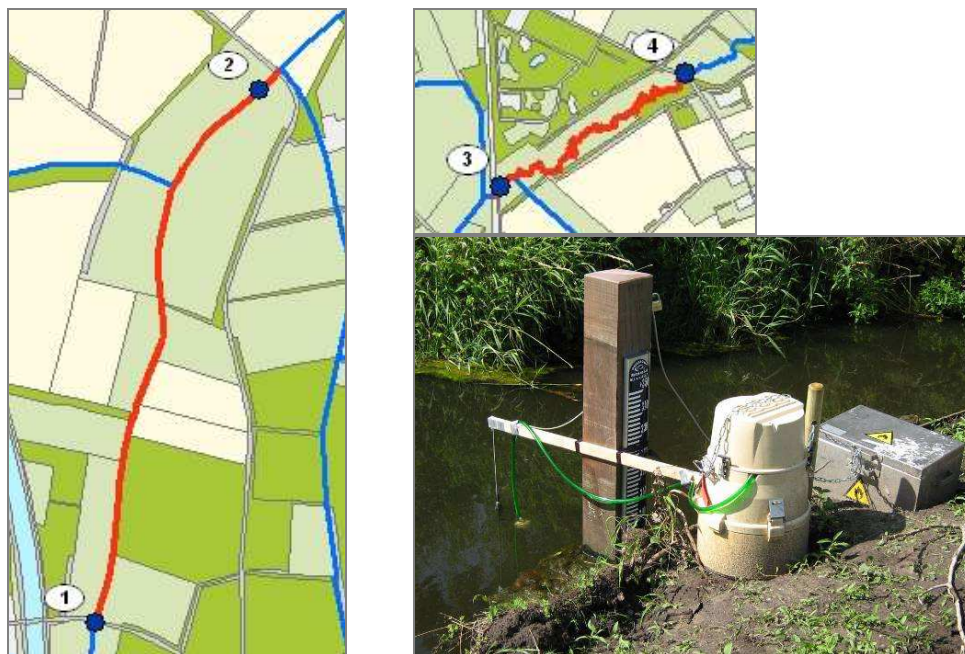
Locaties waar kwelmers (foto rechts) zijn geplaatst en stijghoogtes (foto links) zijn gemeten.

2.2.1.2 Nutriëntenconcentraties

Figuur 10 laat de locaties zien waar de waterkwaliteit is gemeten met de automatische watermonsternemers (ISCO's). De locaties komen overeen met de afvoermeetpunten, afgezien van locatie 2. De ISCO is hier voor de uitmonding van de grote zijloop geplaatst zodat de gemeten nutriëntenconcentraties niet worden verstoord door de nutriëntenaanvoer vanuit de grote zijloop vlak voor Stuw Zeegserloopje. Om de juiste waterafvoer bij locatie 2 te bepalen moet de stuwaflower worden verminderd met de afvoer van de grote zijloop (zie paragraaf 2.2.1.1).

De ISCO's zijn zo ingesteld dat er elke acht uur een fles met beekwater wordt gevuld. Dit gebeurt in drie keer met tussenposen van 2 uur en 40 minuten. Elke ISCO bevat 24 flessen waardoor de waterkwaliteit gedurende acht dagen wordt gemeten. De flessen zijn van tevoren voorzien van een kleine hoeveelheid zinkchloride oplossing om te voorkomen dat micro-organismen de nutriëntenconcentraties van het bemonsterde beekwater beïnvloeden, vanaf de monsternamen tot de analyse. De watermonsters zijn geanalyseerd op stikstof en fosfor waarbij onderscheid is gemaakt tussen de opgeloste anorganische fracties (nitraat en nitriet, ammonium en (ortho-)fosfaat) en de hoeveelheid totaal-N en totaal-P. Het verschil tussen de totaalconcentraties en de opgeloste anorganische fracties bestaat uit de opgeloste organische fractie en nutriënten in zwevende stof.

De nutriëntenconcentraties van de zijloopjes (Figuur 8) zijn bepaald door het nemen van watermonsters aan het begin of einde van elke meetperiode.



Figuur 10

Locaties waar waterkwaliteit, watertemperatuur en zuurstofconcentraties zijn gemeten. Op locatie 2 is ook een lichtmeter aan het wateroppervlak geplaatst. De foto toont de meetopstelling op locatie 3.

2.2.2 Condities in de waterloop

Zuurstof, licht en temperatuur

De watertemperatuur en het zuurstofgehalte in het water zijn gemeten op de waterkwaliteitsmeetpunten (Figuur 10). De meetfrequentie is weergegeven in Tabel 4. Vanwege technische mankementen zijn er in meetperiode 2 geen metingen op locatie 4 uitgevoerd. Op locatie 2, gelegen in open veld, is de lichtintensiteit aan het wateroppervlak gemeten.

Tabel 4

Meetfrequentie van de watertemperatuur, het zuurstofgehalte en de lichtintensiteit, per locatie, per periode.

Meetperiode	Locatie 1	Locatie 2		Locatie 3	Locatie 4
	O2 , T	O2 , T	licht	O2 , T	O2 , T
1	5 min	15 min	15 min	5 min	5 min
2	30 min	30 min	5 min	30 min	-
3	30 min	5 min	5 min	30 min	30 min

Hydraulische verblijftijd

De hydraulische verblijftijd is per meetperiode bepaald door het schatten van het totale watervolume per traject aan de hand van de gemeten geometrie en waterstanden. Samen met de gemeten waterafvoer geeft dit de verblijftijd:

$$T_h = \frac{V_{tot}}{Q} \quad (2)$$

Waarin:

T_h	hydraulische verblijftijd van traject	uur
V_{tot}	totale watervolume in traject	m ³
Q	waterafvoer in het traject	m ³ /uur

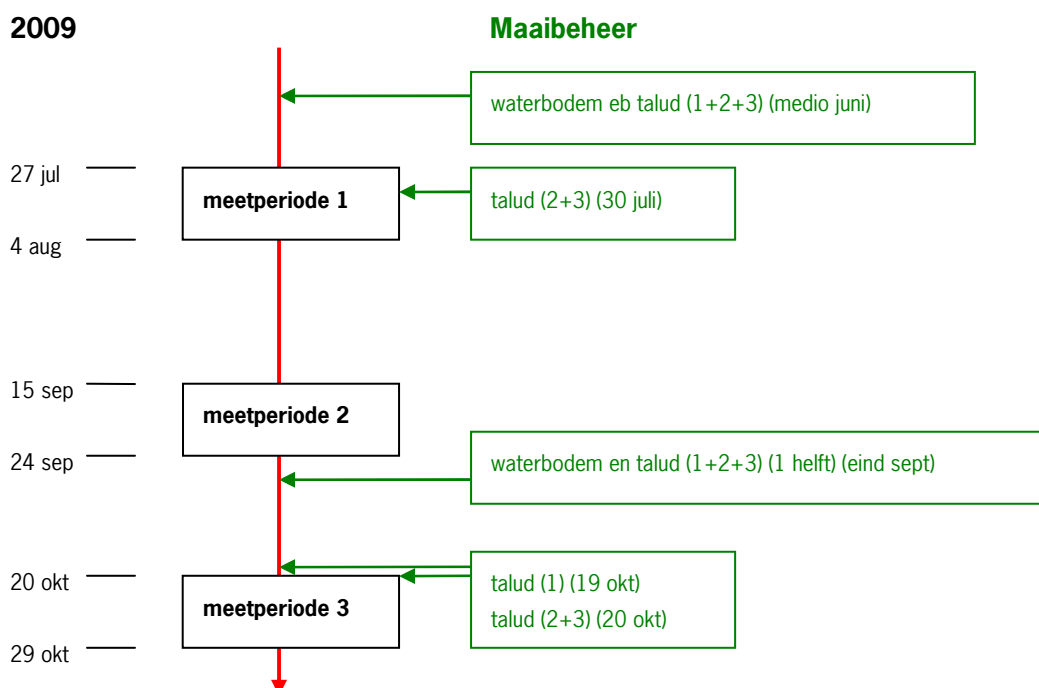
Waterplanten

De hoeveelheid waterplanten is bepaald door het schatten van de bedekkingsgraad en de bijdrage van drijvende, ondergedoken en emergente waterplanten hieraan. Per compartiment van de onderzoekstrajecten (Figuur 2 en Figuur 3) is aan het begin of einde van de meetperiode de bedekkingsgraad geschat. Waar mogelijk is een sample genomen van de waterplanten op een dichtbegroeide locatie binnen het compartiment met een bedekkingsgraad van 100%. Hiervoor is een stukje van 30 bij 30 cm handmatig gemaaid door er een bak met deze afmetingen overheen te zetten. Vervolgens is het drooggewicht hiervan bepaald.



Figuur 11

Genormaliseerde traject voor (links) en na (rechts) maaien. De linkerhelft van de beek is niet gemaaid.



Figuur 12

Timing en locatie van het maaibeheer rondom het genormaliseerde traject (1=genormaliseerde meettraject, 2=bovenstrooms van het meettraject, 3=benedenstrooms van het meettraject (tot aan het spoor).

In het genormaliseerde traject wordt de hoeveelheid waterplanten sterk bepaald door het maaibeheer. Figuur 12 toont de maaimomenten in en rondom het genormaliseerde traject. In het meanderende traject is niet gemaaid tijdens de onderzoeksperiode. Figuur 11 laat het verschil in (water)plantbegroeiing zien door het maaien.

Sediment

Op een aantal locaties in de onderzoekstrajecten zijn aan het einde van de eerste meetperiode en het begin van de laatste meetperiode kernen gestoken van de waterbodem (Figuur 13). De bovenste vier centimeter van het sediment is in het laboratorium geanalyseerd op nutriëntenconcentraties, de concentratie aan organische

stof en de hoeveelheid ijzer en aluminium in het sediment als maat voor de bindingscapaciteit voor P. Ook is op veel locaties de sedimentdikte gemeten.



Figuur 13

Locaties waar waterbodemmonsters zijn genomen.

2.2.3 Nutriëntenprocessen in de waterloop

Denitrificatie

Figuur 14 toont de locaties waarop en de meetopstelling waarmee de denitrificatiesnelheid is gemeten aan het begin van elke meetperiode. De meetmethode is gebaseerd op de Isotope Pairing Technique zoals is beschreven in het NICE (Nitrogen Cycling in Estuaries) protocol handboek (Dalsgaard, 2000). De methode is aangepast voor meting in het veld (De Klein, 2008). Drie afgesloten bakken worden op de waterbodem geïnstalleerd, waarbij eventueel aanwezige waterplanten worden ingesloten. Vervolgens wordt een kleine hoeveelheid ^{15}N (in de vorm van $^{15}\text{NO}_3^-$) aan de bakken toegediend. Het ^{15}N isotoop komt van nature veel minder voor dan ^{14}N (0.3 %). Door deze toevoeging ontstaat er als gevolg van denitrificatie behalve $^{28}\text{N}_2$ ook $^{29}\text{N}_2$ en $^{30}\text{N}_2$ gas. Deze laatste twee gassen zijn goed meetbaar, in tegenstelling tot $^{28}\text{N}_2$ dat 80% van de atmosferische gassen vormt.

In het laboratorium worden de watersamples die elk uur uit elke bak zijn genomen geanalyseerd op de gas-samenstelling ($^{29}\text{N}_2$ en $^{30}\text{N}_2$). Dit gebeurt met de Membrane Inlet Mass Spectrometry techniek (MIMS) (o.a. Kana et al., 1998). Uit de toename van $^{29}\text{N}_2$ en $^{30}\text{N}_2$ kan de productiesnelheid (p29, p30) worden afgeleid alsmede de totale denitrificatie snelheid in $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{uur}$:

$$\text{Denitrificatie} = p^{28}N_2 + p^{29}N_2 + p^{30}N_2 \quad \text{waarbij} \quad p^{28}N_2 = \frac{(p^{29}N_2)^2}{4(p^{30}N_2)} \quad (3)$$

Op deze manier wordt in elke bak gedurende vier uur de gemiddelde denitrificatiesnelheid bepaald. Door per meetlocatie met drie bakken te werken krijg je een idee van de bandbreedte in de snelheid.



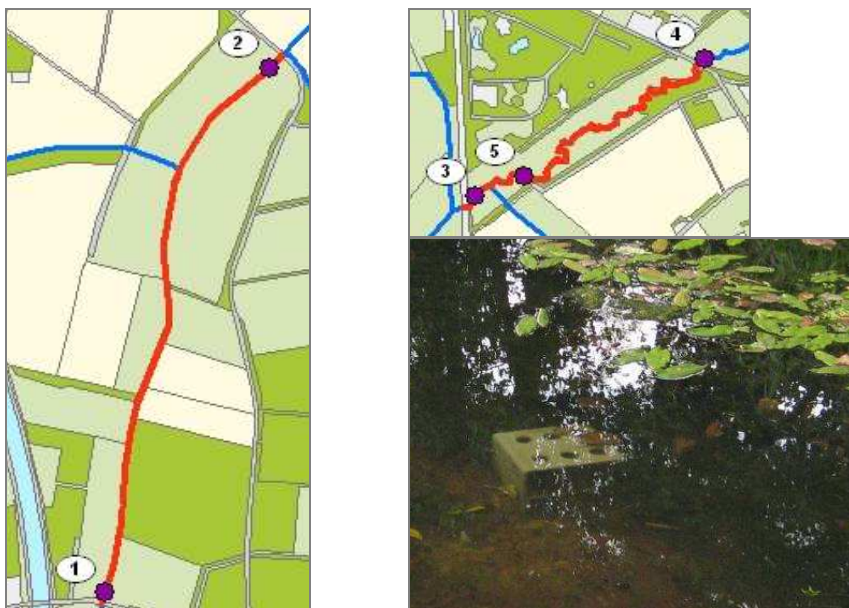
Figuur 14

Locaties waar denitrificatiesnelheden zijn gemeten.

Sedimentatie

Aan het begin en einde van de meettrajecten is de sedimentatie gemeten (Figuur 15). In het genormaliseerde traject zijn losse sedimentvallen geplaatst, terwijl in het meanderende traject vanwege de beperkte waterdiepte gebruik is gemaakt van kleinere sedimentvallen in een rekje. Na de plaatsing aan het begin van de meetperiode zijn ze aan het einde van de periode opgehaald en geanalyseerd op de hoeveelheid bezonken zwevende deeltjes. Deze hoeveelheid in combinatie met het vangoppervlak van de sedimentvallen geeft een idee van de sedimentatie per oppervlakte-eenheid gedurende de meetperiode.

Om een inschatting te maken van de hoeveelheid zwevende stof is aan het begin of einde van elke meetperiode een watermonster genomen bij de instroom en uitstroom van de trajecten en geanalyseerd op zwevende stof.



Figuur 15

Locaties waar sedimentvallen (foto) zijn geplaatst.

Nutriëntenopname door waterplanten

Voor de groei van waterplanten worden nutriënten uit het water opgenomen. De opname van nutriënten door waterplanten is afgeleid uit de gemeten hoeveelheid waterplanten (zie paragraaf 2.2.2). Door een vaste relatie tussen koolstof, stikstof en fosfor in de waterplanten aan te nemen kan de (netto) nutriëntenopname door plantengroei worden meegenomen in de nutriëntenbalans.

Adsorptie

Analyse van de genomen sedimentmonsters op o.a. ijzer- en aluminiumgehaltes geeft een indicatie van het belang van de binding van fosfaat aan de waterbodem.

3 Resultaten

Tabel 5 geeft een overzicht van de belangrijkste gemeten kenmerken per traject. In het vervolg van dit hoofdstuk worden de kenmerken verder uitgelicht. Deze karakterisering helpt bij de interpretatie van de gemeten retentie en retentieprocessen.

Tabel 5

Gemiddelde condities per traject en per meetperiode, volgend uit de metingen.

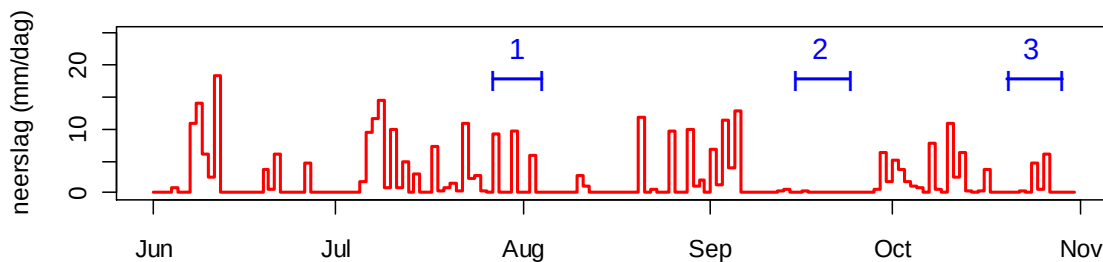
	Meetperiode 1		Meetperiode 2		Meetperiode 3	
	recht	meand.	recht	meand.	recht	meand.
Afvoer (l/s)	17,5	18,5	11,6	13,2	16,9	21,2
Stroomsnelheid (cm/s)	1,5	3,8	0,9	1,8	1,5	3,3
Hydraulische verblijftijd (uren)	26	6	43	13	27	7
Watertemperatuur (°C)	17,5	17,5	14,5	14,5	9,5	9,5
Waterplanten (g/m ²)	6	67	84	126	138	134
N-totaal (mg/l)	1,5	2,0	0,6	0,4	2,1	1,7
P-totaal (mg/l)	0,12	0,10	0,11	0,13	0,08	0,06

3.1 Water- en nutriëntenbalans

In deze paragraaf worden de waterafvoermetingen (3.1.1) en de waterkwaliteitsmetingen (3.1.2) besproken, waarmee voor elk traject de nutriëntenvrachten (3.1.3) en de daaruit volgende retentie (3.1.4) kan worden bepaald.

3.1.1 Wateraanvoer en -afvoer

Figuur 16 toont de dagelijkse neerslag op het KNMI station Eelde dat op ongeveer zeven km van de onderzoekstrajecten ligt. Hierop is te zien dat periode 2 droger is en door een drogere periode wordt voorafgegaan dan de andere meetperioden. Dit geeft een indicatie van de te verwachten waterafvoer in de drie perioden. Op elk traject is de inkomende en uitgaande waterstroom gemeten. Uitgaande van juiste metingen wordt het verschil tussen de gemeten in- en uitstroom veroorzaakt door wateraanvoer of -afvoer binnen het traject zoals aanvoer vanuit zijloopjes, kwel/wegzijging in de waterloop, openwaterverdamping/neerslag, eventuele buisdrainage (zoals in delen van het genormaliseerde traject) en oppervlakkige afstroom van water bij hevige neerslag. In deze paragraaf worden per traject de aanvoer en afvoertermen besproken.



Figuur 16

Dagelijkse neerslagsommen te Eelde (KNMI station). De blauwe balkjes representeren de meetperioden.

3.1.1.1 Genormaliseerde traject

Neerslag

De neerslag op openwater is berekend met neerslagdata van de KNMI stations Eelde en Assen in combinatie met het openwateroppervlak (Tabel 11). De openwaterneerslag bedraagt gemiddeld 0.13 l/s in meetperiode 1, 0.01 l/s in periode 2 en 0.07 l/s in meetperiode 3. Dit komt neer op een bijdrage aan de afvoer van minder dan 1%. Op dagbasis kan de bijdrage aan de afvoer oplopen tot bijna 2%.

Verdamping

De openwaterverdamping is berekend met de daggegevens van het KNMI station Eelde over de referentie gewasverdamping (Makkink). Vermenigvuldiging met een omrekenfactor (op 10-daagse basis) (CTV, 2000) levert de openwaterverdamping. De openwaterverdamping varieert van gemiddeld 4 mm per dag in meetperiode 1 tot minder dan 1 mm per dag in meetperiode 3. Voor het gehele traject komt dit neer op gemiddeld 0.19 l/s in meetperiode 1, 0.10 l/s in meetperiode 2 en 0.03 l/s in meetperiode 3. Dit betekent dat minder dan 1% van het debiet in het traject verdampt. In meetperiode 3 betreft het slechts enkele promillen.

Kwel

De kwel is niet gemeten in dit traject. Volgens een gedetailleerde kwel/infiltratiekaart van Waterschap Hunze en Aa's (2006) blijkt dat er nauwelijks kwel of wegzijging is in het genormaliseerde traject.

Instroom

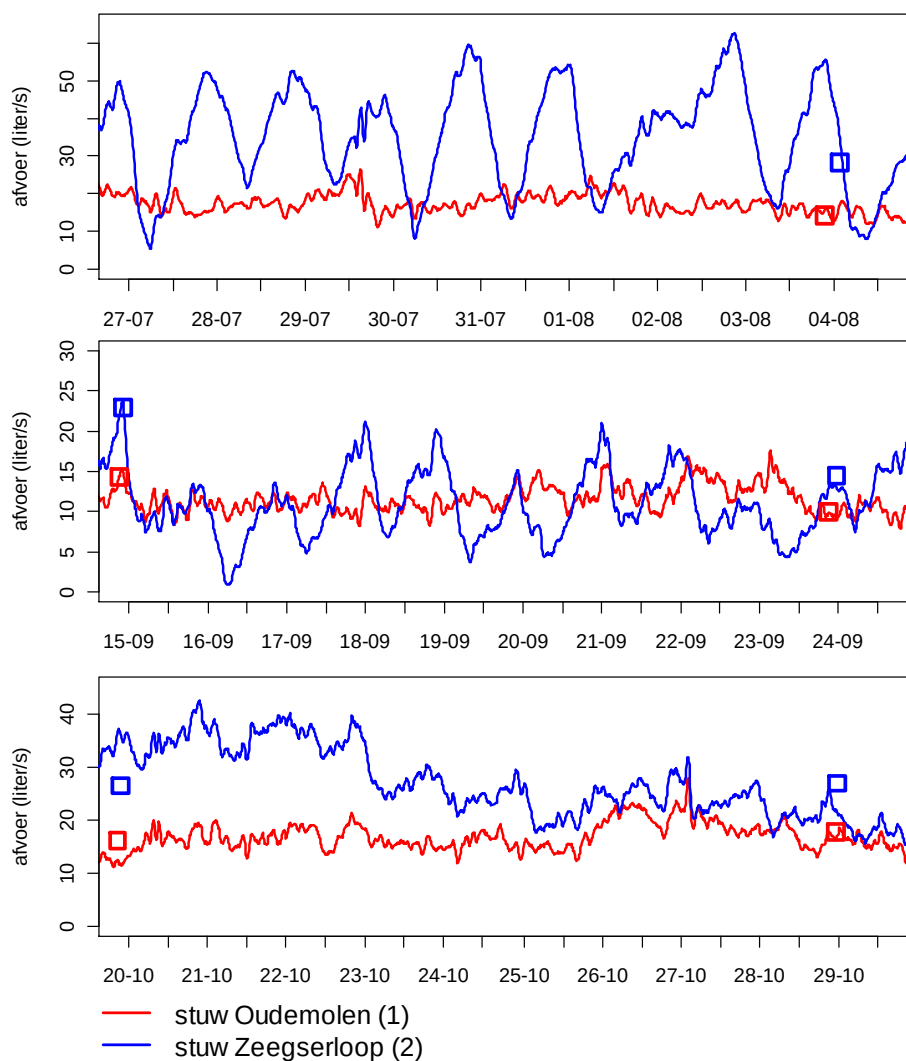
Figuur 17 geeft een overzicht van de gemeten in- en uitstroom van het genormaliseerde traject gedurende de meetperioden. De figuren in Bijlage 1 tonen bovendien de neerslag en de gemeten waterhoogtes op het in- en uitstroompunt.

De gemeten afvoer bij het instroompunt (stuw Oudemolen) vertoont een redelijk constant verloop in de tijd. Af en toe is de reactie op een neerslaggebeurtenis zichtbaar, zoals in meetperiode 3 rond 26 oktober. De afvoer in meetperiode 1 is het grootst. In meetperiode 2 is de afvoer het laagst. Het afvoerniveau tijdens deze periode van zomerdroogte geeft een indicatie van de baseflow. Het in het veld afgelezen waterpeil (peilschaal) komt goed overeen met het door de diver geregistreerde peil (Tabel 6). De resulterende afvoer komt tevens goed overeen met de controlemetingen (door het laten vollopen van een cementkuip).

Tabel 6

Vershil tussen gemeten waterstand en aflezing peilschaal bij stuw Oudemolen.

Datum	Tijd	Waterstand (cm boven NAP)		Vershil (cm)
		diver	peilschaal	
28 jul	14:20	466,6	467,0	-0,4
4 aug	9:30	466,8	466,5	0,3
15 sep	9:00	466,2	466,5	-0,3
24 sep	9:00	465,3	466,0	-0,7
20 okt	8:30	465,2	466,2	-1,0
29 okt	11:05	465,9	466,2	-0,3

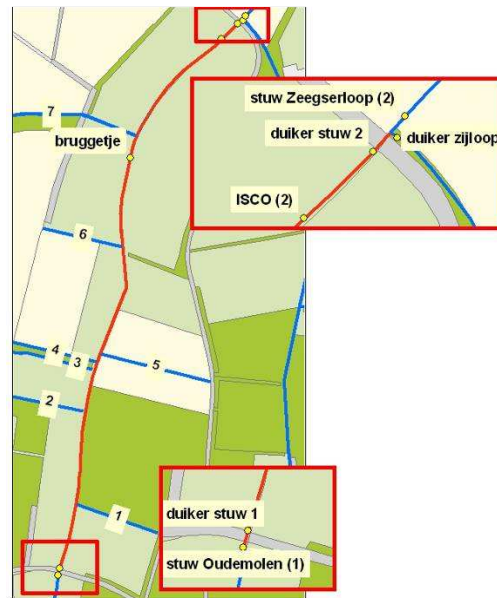
**Figuur 17**

Gemeten waterafvoeren in het genormaliseerde traject per meetperiode, verefend met een 1-uur moving average. De datumlabels zijn geplaatst bij het middaguur. De open vierkantjes geven de handmetingen weer.

Zijloopjes

Afgezien van de grote zijloop is de bijdrage van de zijloopjes aan de totale afvoer in het traject klein (zie Figuur 18 en Bijlage 4). De afvoerbijdrage bedraagt in meetperiode 1 12% van de gemiddelde instroom. In meetperiode 2 is dit 23% en in meetperiode 3 is de waterbijdrage 15%. Het vanggebied van de zijloopjes omvat 17% van het totale vanggebied van het traject. De meetperioden vielen in overwegend droge perioden. Onder natte omstandigheden is de afvoer van de zijloopjes groter. De water- en nutriëntentoevoer via oppervlakkige afstroom van neerslag en buisdrainage (maïspancelen) speelt dan een grotere rol van betekenis.

Locatie	Gemeten waterafvoer (l/s)					
	27 jul	4 aug	15 sep	24 sep	20 okt	29 okt
stuw 1		14,2	14,3	9,9	16,1	17,8
duiker stuw 1			27	14,2	15,6	20,9
zijloopjes		2,1	2,7		2,6	
bruggetje	23,1	8,8		11,2	22,1	26,4
duiker stuw 2	19,7		16,8	7,9	14,5	19,1
duiker zijloop	11,5		15,8	0,6	6,2	4,7
stuw 2		28,3	22,9	14,5	26,4	26,9



Figuur 18

Overzicht van handmatige afvoermetingen in het genormaliseerde traject. Bij de stuwen is de afvoer gemeten met een cementkuip (groen). Op de overige locaties is een elektromagnetische stroomsnelheidsmeter gebruikt.

Uitstroom

De afvoermetingen bij het uitstroompunt (stuw Zeegserloop) lijken minder betrouwbaar. Het in het veld afgelezen waterpeil (peilschaal) komt niet goed overeen met het door de diver gemeten peil (Tabel 7). De diver registreert een hoger peil dan waargenomen. In de laatste meetperiode bedraagt het verschil bijna 10 cm. Dit resulteert in te grote overstorthoogtes en een overschatting van de stuwaafvoer. In Figuur 17 en in de figuren in bijlage 1 is aan de hand van de veldaflezings gecorrigeerd voor de foutieve waterpeilregistratie door de diver. De gecorrigeerde afvoeren komen goed overeen met de controlemetingen (met cementkuip).

Tabel 7*Verskil tussen gemeten waterstand en aflezing peilschaal bij stuw Zeegserloopje.*

Datum	Tijd	Waterstand (cm boven NAP)		Verskil (cm)
		diver	peilschaal	
28 jul	12:40	396,1	394	2,1
4 aug	13:30	394,9	391	3,9
15 sep	10:10	398,6	393	5,6
24 sep	11:30	397,1	391,5	5,6
20 okt	9:30	393,2	383,5	9,7
29 okt	11:40	391,5	383,7	7,8

Het valt op dat de gemeten afvoer bij de uitstroom (stuw Zeegserloop) varieert binnen de dag in meetperiode 1 en 2, in tegenstelling tot de afvoeren bij het instroompunt. In meetperiode 1 gaat het om een extra afvoer bij het uitstroompunt van 0 l/s in de avond tot bijna 40 l/s in de ochtend. Dit is een toename van 200% t.o.v. de afvoer bij de instroom die ongeveer 20 l/s bedraagt. Deze grote dynamiek is onverklaarbaar t.o.v. de nagenoeg constante instroom. De grote zijloop die vlak voor het uitstroompunt op het traject uitmondt lijkt de veroorzaker, gezien de gemeten kleine afvoerbijdrage van de kleine zijloopjes (Figuur 18). In periode 1 gaat het om een lozing van water, terwijl het in meetperiode 2 lijkt te gaan om afwisselend lozingen en onttrekkingen.

Gebruikte afvoeren voor het berekenen van de nutriëntenvrachten

Bij het instroompunt is de nutriëntenvracht berekend op basis van de gemeten instroom. Bij het uitstroompunt moet voor de juiste afvoer bij het waterkwaliteitsbemonsterpunt (ISCO) de afvoer van de grote zijloop worden afgetrokken van de gemeten afvoer bij stuw Zeegserloopje. Dit is nodig omdat de grote zijloop geen invloed heeft op de gemeten nutriëntenconcentraties (ISCO) die zijn gemeten voor de uitmonding van de zijloop. De afvoer bij de ISCO is moeilijk te herleiden vanwege:

- de vermeende afvoerdynamiek van de grote zijloop. Deze is niet te herleiden op basis van enkele handmatig gemeten afvoeren (Figuur 18);
- de beperkte betrouwbaarheid van de gemeten afvoer bij stuw Zeegserloopje door het mankement aan de diver.

Daarom zijn voor het berekenen van de nutriëntenvracht bij het uitstroompunt de gemeten concentraties vermenigvuldigd met de gemeten afvoer bij het instroompunt. Hierbij is rekening gehouden met de hydraulische verblijftijd. De waterbijdrage van de zijloopjes is niet bij de instroom opgeteld omdat deze bijdrage niet continu is gemeten. De bijdrage van de openwaterverdamping/neerslag is niet meegenomen vanwege de kleine invloed op het debiet (minder dan 1%). Verder is er van uitgegaan dat er geen sprake is van kwel/infiltratie.

3.1.1.2 Meanderende traject

Neerslag

De openwaterneerslag is berekend met neerslagdata van de KNMI stations Eelde en Assen in combinatie met het openwateroppervlak (Tabel 11). De openwaterneerslag bedraagt gemiddeld 0.07 l/s in meetperiode 1, 0.01 l/s in periode 2 en 0.04 l/s in meetperiode 3. Dit komt neer op een bijdrage aan de afvoer van minder dan 0.5%. Op dagbasis kan de bijdrage oplopen tot maximaal 1%.

Verdamping

De openwaterverdamping is op dezelfde manier berekend als voor het genormaliseerde traject en bedraagt gemiddeld 0.07 l/s in meetperiode 1, 0.01 l/s in periode 2 en 0.02 l/s in de laatste meetperiode. Dit is voor alle perioden minder dan 0.5% van de gemiddelde waterafvoer.

Kwel

Volgens de kwelkaart van het Waterschap Hunze en Aa's is er lichte kwel in het traject. De kaart geeft geen hoeveelheden. De kwelmetingen bevestigen de aanwezigheid van kwel (Tabel 8) al suggereren de handmatige afvoermetingen een lichte wegzijging tot geen kwel/wegzijging in het traject. De kwel/infiltratie kan lokaal sterk verschillen waardoor het moeilijk is met de metingen een representatief beeld van de totale kwel in het traject geven. Daarom is aangenomen dat de afvoer over het gehele traject bij benadering constant is, vertouwend op de handmatige afvoermetingen.

Tabel 8

Metingen van de kwel en stijghoogte op een drietal locaties in het meanderende traject (Figuur 9)

Datum	Stijghoogte (cm)			Kwel (mm/uur)		
	loc 1	loc 2	loc 3	loc 1	loc 2	loc 3
28 jul				0,5	1,6	
4 aug	1,5*	4,2				
15 sep	0,6			1,9		1,4
20 okt	5,3		11,2	2,5		3,9

* Niet volledig gestabiliseerd.

Instroom

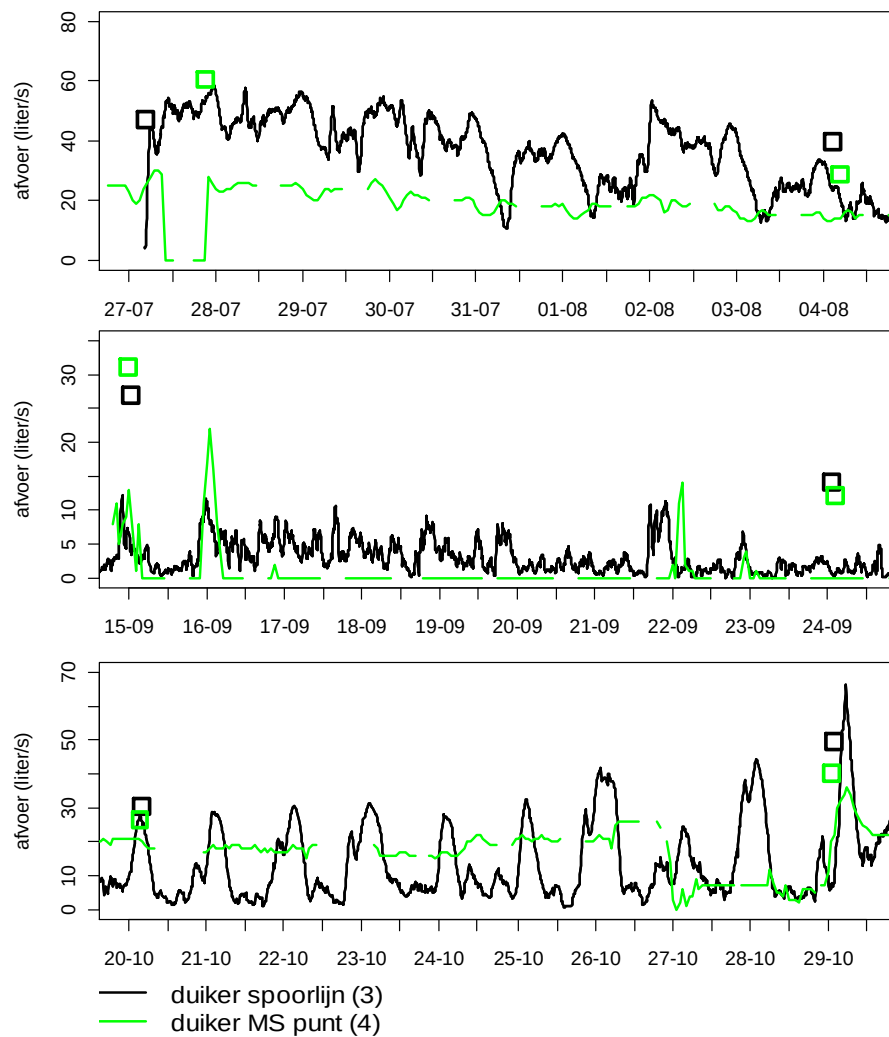
Figuur 19 geeft een overzicht van de gemeten in- en uitstroom van het meanderende traject gedurende de drie meetperioden. De figuren in bijlage 1 tonen bovendien de neerslag en de gemeten waterhoogtes op het in- en uitstroompunt.

De gemeten stroomsnelheden bij het instroompunt, de duiker onder de spoorlijn, zijn grillig en resulteren in een grillige afvoerreeks. Zelfs opeenvolgende metingen (elke vijf minuten) vertonen grote verschillen. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door turbulentie bij de duikeruitstroom. De sensor is ongeveer 15 cm in de duiker geplaatst.

Het percentage nulmetingen loopt op tot bijna 40% in meetperiode 2 (Tabel 9). De gemeten stroomsnelheden zijn aan de lage kant vergeleken met de controlemetingen (Tabel 10), vooral in de meetperioden 2 en 3. Daarbij is het de vraag in hoeverre de gemeten stroomsnelheid met de sensor de gemiddelde stroomsnelheid van het doorstroomde dwarsprofiel representeren. Tabel 10 laat zien dat het verschil tussen de gemiddelde snelheid over het profiel en de snelheden gemeten op het midden van het profiel (plaats sensor) niet groot is, namelijk in de orde van enkele procenten.

De afvoerdynamiek vertoont een variatie binnen de dag, net zoals bij stuw Zeegserloop, met name in meetperiode 1. Dit is goed te zien in de gemeten waterpeilen (Figuur 20). Het signaal loopt ongeveer twaalf uur achter. Dit geeft een idee van de gemiddelde hydraulische verblijftijd in het traject vanaf de stuw tot aan het spoor, met een lengte van ongeveer 1.300 meter. De waterstands- en afvoerpiek op 29 oktober wordt mogelijk veroorzaakt door de maaiactiviteiten in het traject tussen de stuw en het spoor. Door het weghalen

van de waterplanten vermindert de stromingsweerstand. Dit zorgt voor een (tijdelijke) stijging van de waterstand en de afvoer.



Figuur 19

Gemeten waterafvoeren in het meanderende traject per meetperiode, vereffend met een 1-uur moving average. De datumlabeis zijn geplaatst bij het middaguur. De open vierkantjes geven de handmetingen weer.

Tabel 9

Aantal nulmetingen van de meetopstelling bij de duiker onder het spoor, per meetperiode

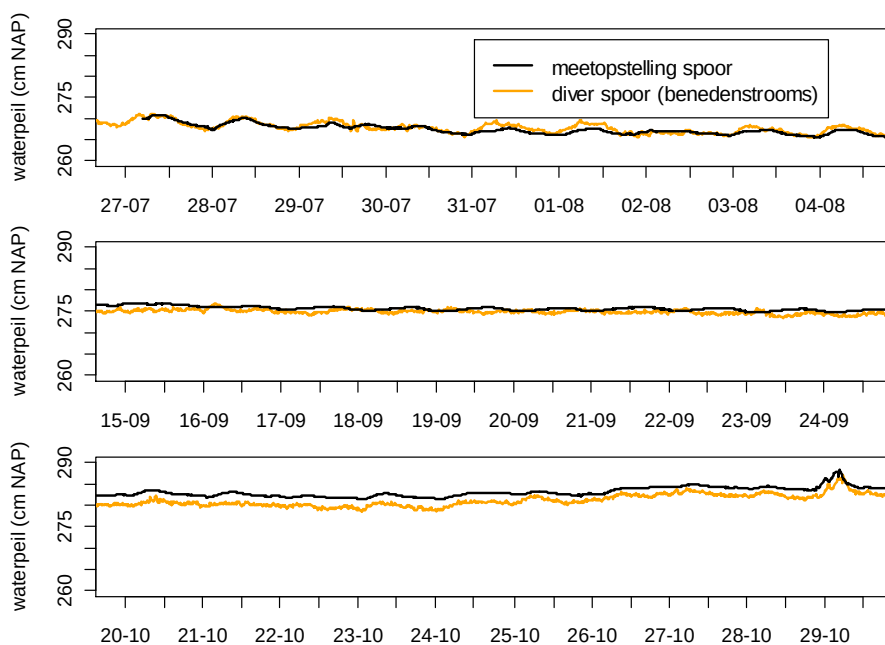
	Aantal metingen	Meetfrequentie	Nulmetingen	% nulmetingen
1	2.402	5 min	0	0
2	2.880	5 min	854	37,5
3	1.440	10 min	146	10,1

Tabel 10

Vergelijking van stroomsnelheden en resulterende afvoeren gemeten met de elektromagnetische stroomsnelheidsmeter en door de meetopstelling bij de duiker onder de spoorlijn (uurgemiddelden). v_{mid} = stroomsnelheid in het midden van dwarsprofiel, v_{gem} = stroomsnelheid gemiddeld over het dwarsprofiel.

Tijdstip		EM-stroomsnelheidsmeter				Meetopstelling		
		h(cm)	v_{mid} (m/s)	v_{gem} (m/s)	Q (l/s)	h(cm)	v_{mid} (m/s)	Q (l/s)
27 jul	16:30	16,0	0,28	0,24	47,1	16,3	0,09	16,6
4 aug	14:45	13,0	0,29	0,25	39,6	12,8	0,17	23,8
15 sep	12:35	22,6	0,09	0,10	26,9	23,1	0,01	3,3
24 sep	13:05	21,9	0,06	0,06	14,1	21,2	0,002*	0,6*
20 okt	15:50	28,9	0,09	0,09	30,4	29,0	0,08	28,0
29 okt	13:45	32,1	0,14	0,12	49,5	32,2	0,03*	10,3*

* Bevat nulmetingen.

**Figuur 20**

Gemeten waterpeil bij het spoor door de meetopstelling en de diver net benedenstrooms van de duiker.

Zijloopjes

Het enige zijloopje in het meanderende traject (Figuur 8) stond gedurende de meetmomenten droog en levert dus een te verwaarlozen bijdrage aan de afvoer.

Uitstroom

De reeks afvoermetingen bij het uitstroompunt, waar de meetopstelling van het project 'Monitoring Stroomgebieden' is gebruikt, heeft opmerkelijke kenmerken:

- 's nachts ontbreken er vaak data;
- er lijkt een meetdrempel te zijn. Door het brede doorstroomde profiel kunnen de stroomsnelheden laag zijn, soms zelfs te laag om te kunnen meten wat resulteert in nulmetingen. Vooral tijdens de lage afvoeren in meetperiode 2 en aan het begin van meetperiode 1 is dit het geval.
- aan het einde van meetperiode 3 (van 27 oktober tot 29 oktober) kent het afvoerproces een onverklaarbare sterke afname.

Door het brede doorstroomde profiel (2.47 meter breed) en de ongelijke bodem is het de vraag in hoeverre de gemeten stroomsnelheid in het midden van het profiel de gemiddelde stroomsnelheid van het doorstroomde dwarsprofiel representeert. Uit de handmatige metingen blijkt dat het verschil tussen de gemiddelde snelheid en de snelheid in het midden van het profiel klein is, namelijk in de orde van enkele procenten. De aangeleverde data van de meetopstelling bevatten alleen afvoeren en niet de daaraan ten grondslag liggende stroomsnelheden. Daarom is er geen vergelijk mogelijk met de handmatig gemeten stroomsnelheden.

Gebruikte afvoeren voor het berekenen van de nutriëntenvrachten

Op het instroompunt is uitgegaan van de gemeten afvoeren op het uitstroompunt omdat de afvoermetingen bij het instroompunt niet betrouwbaar zijn. Hierbij is rekening gehouden met de hydraulische verblijftijd. Er is niet gecorrigeerd voor de bijdrage van openwaterverdamping en -neerslag vanwege de kleine invloed op de afvoer (minder dan 0.5%). Ook kwel/infiltratie is niet meegenomen vanwege beperkte data. Er is geen rekening gehouden met de zijloopjes omdat het enige zijloopje droog stond gedurende de meetperioden.

Op het uitstroompunt zijn de gemeten afvoeren bij het uitstroompunt gebruikt om de nutriëntenvrachten te berekenen. In meetperiode 2 is een constante afvoer aangenomen van 13,2 liter/s (volgend uit de handmatige afvoermetingen) omdat de afvoermetingen door de lage afvoeren onbetrouwbaar zijn.

3.1.2 Nutriëntenconcentraties

Genormaliseerde traject

Figuur 21 toont de N- en P-concentraties van het inkomende en uitgaande water in het genormaliseerde traject. Het gaat om 8-uur-gemiddelden. Figuur 42 en Figuur 43 in bijlage 3 tonen de verschillende vormen waarin stikstof en fosfor voorkomen in het beekwater. Bij het interpreteren van deze figuren is het belangrijk om de hydraulische verblijftijd van het traject (zie paragraaf 3.2 en Tabel 5) in het achterhoofd te houden. In Figuur 21 is voor meetperiode 1 te zien dat de bij het instroompunt gemeten totaal-N concentraties met vertraging aankomen bij het uitstroompunt.

De totaal-N concentratie in de meetperioden 1 en 3 ligt hoger dan in periode 2. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de herkomst van het water. De lage afvoeren in periode 2 geven een indicatie van de baseflow afkomstig van bovenstrooms gelegen gebieden. Dit water heeft zeer waarschijnlijk een andere samenstelling dan water dat in nattere perioden (zoals periode 1 en 3) via ondiepere routes in het oppervlaktewater belandt. Daarbij is de hydraulische verblijftijd groot ten tijde van lage afvoeren. Dit bevordert de N-retentie en werkt concentratieverlagend.

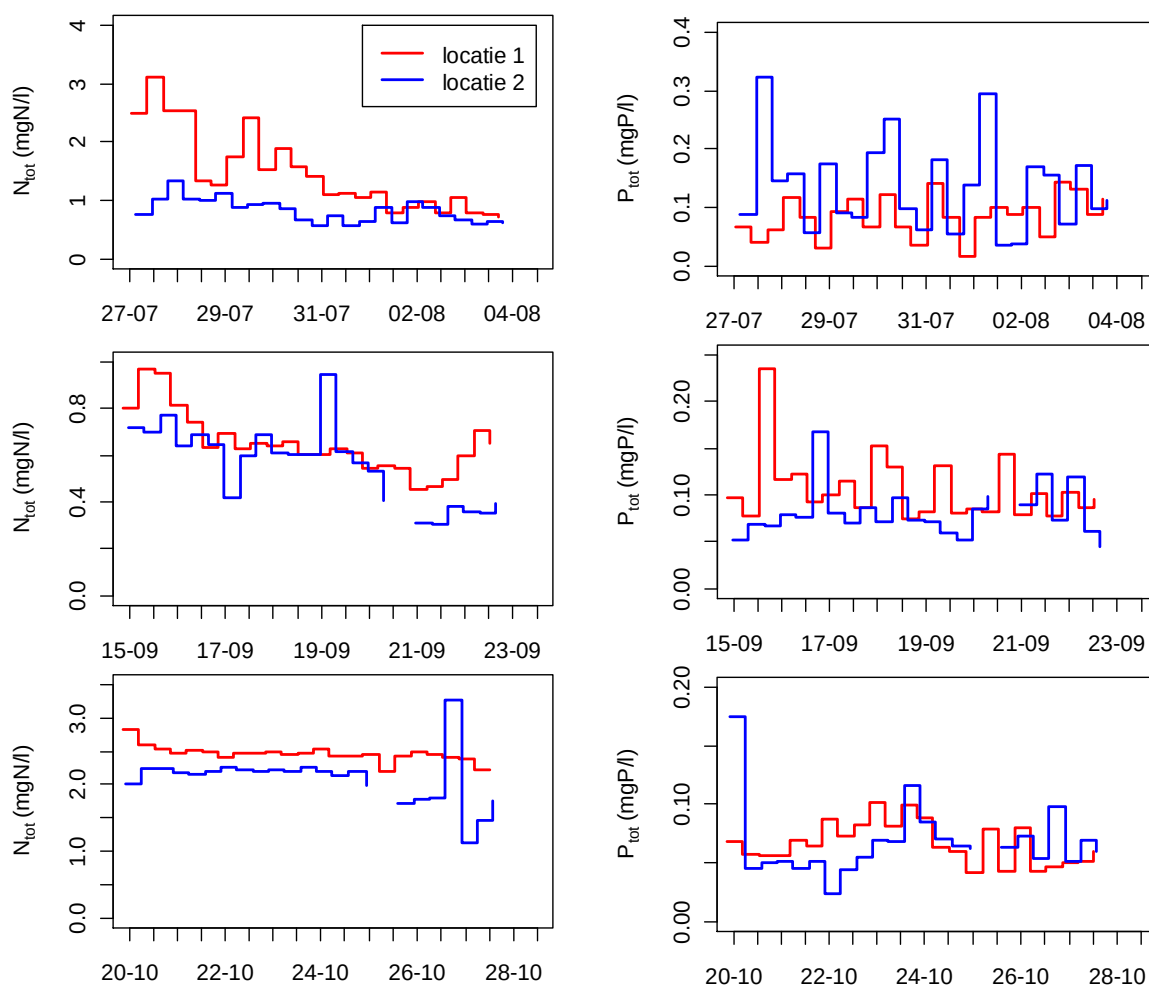
In meetperiode 2 is er geen verband tussen de inkomende en uitgaande concentraties zichtbaar. In meetperiodes 1 en 3 zijn de concentraties bij de uitstroom lager dan bij de instroom. Het overgrote deel van de totale N-fractie bestaat uit opgelost anorganisch N. In periode 3 en in periode 2 (instroompunt) is er vrijwel geen organisch¹ N aanwezig. Het ammoniumgehalte van het uitstroomwater varieert van gemiddeld 10% tot 20%. Het instroomwater bevat meer ammonium, zeker in meetperiode 2 waar concentraties van gemiddeld 60% van de totale fractie N worden aangetroffen. Het resterende anorganische N-deel bestaat uit nitraat. Er zit meer nitraat dan ammonium in het water, afgezien van het instroomwater in periode 2. Op 27 oktober (meetperiode 3) is een N-piek in het uitstroomwater zichtbaar. Dit komt mogelijk door het oogsten van de maïspancelen grenzend aan het genormaliseerde traject en de in het water gevallen resten van de oogst.

Voor de totaal-P-concentraties is er geen duidelijk verband tussen de in- en uitstroom. Periode 2 heeft de hoogste P-concentraties en de laagste N-concentraties. In meetperiode 1 komt P voornamelijk in organische vorm voor. In de periode 3 is het aandeel organisch P zeer klein, in periode 2 afwezig of te klein om te detecteren.

Zijlopen

De nutriëntenconcentraties van de zijloopjes zijn weergegeven in in bijlage 3 (Figuur 46). De concentraties totaal-N en totaal-P zijn vergelijkbaar met de concentraties in de hoofdloop op een paar uitschieters na. In meetperiode 2 zijn de N-concentraties hoger in de zijlopen. De concentratie en verschijningsvorm van de nutriënten van bepaalde zijloopjes verschillen behoorlijk per meetperiode.

¹ Met de organische fractie wordt in dit rapport het verschil tussen de totale fractie en de opgeloste anorganische fractie bedoeld. Gebonden anorganisch N of P kan echter ook bijdragen aan dit verschil.

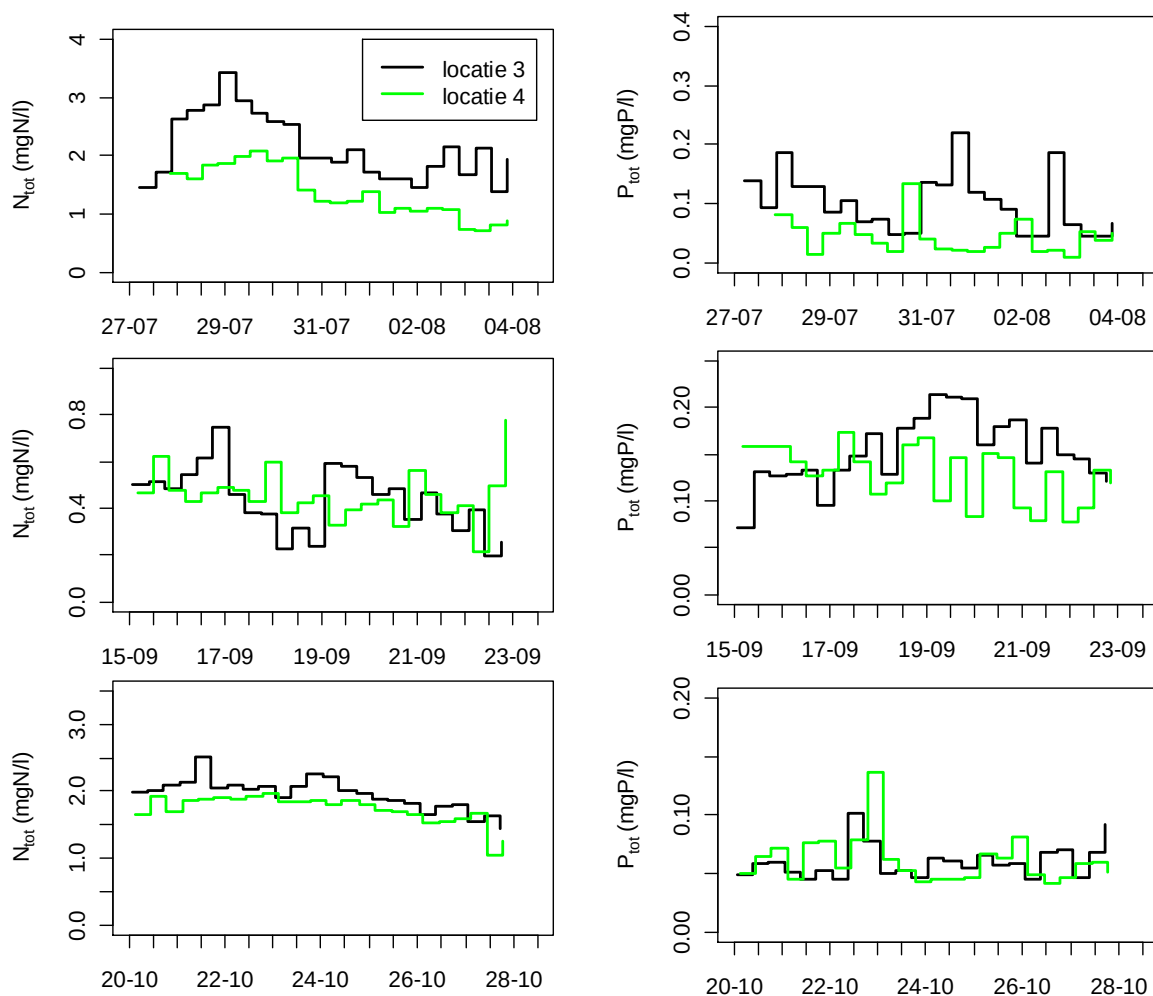


Figuur 21

Inkomende (rood) en uitgaande (blauw) nutriëntenconcentraties in het rechte beektraject. Per meetperiode zijn de N_{totaal} (links) en P_{totaal} (rechts) concentraties weergegeven. De datumlabels zijn geplaatst bij het middaguur.

Meanderende traject

Figuur 22 toont de N- en P-concentraties van de in- en uitstroom in het meanderende traject. Het gaat om 8-uur-gemiddelden. Figuur 42 en Figuur 43 in bijlage 3 tonen de verschillende vormen waarin stikstof en fosfor voorkomen in het beekwater. De gemeten concentraties vertonen een zelfde gedrag als in het genormaliseerde traject, wat betreft totaal-N, totaal-P en de P-speciatie (het voorkomen van P in de verschillende vormen). Alleen de N-verdeling wijkt af. N-totaal bestaat voor het overgrote deel uit nitraat. Het restant van gemiddeld 10% bestaat uit ammonium. In meetperiode 2 komt circa 40% van N-totaal voor in de organische vorm. Het aandeel ammonium in meetperiode 2 is 20% tot 40%. Dit is groter dan in de andere perioden.



Figuur 22

Inkomende (zwart) en uitgaande (groen) nutriëntenconcentraties in het meanderende beektraject. Per meetperiode zijn de N_{totaal} (links) en P_{totaal} (rechts) concentraties weergegeven. De datumlabels zijn geplaatst bij het middaguur

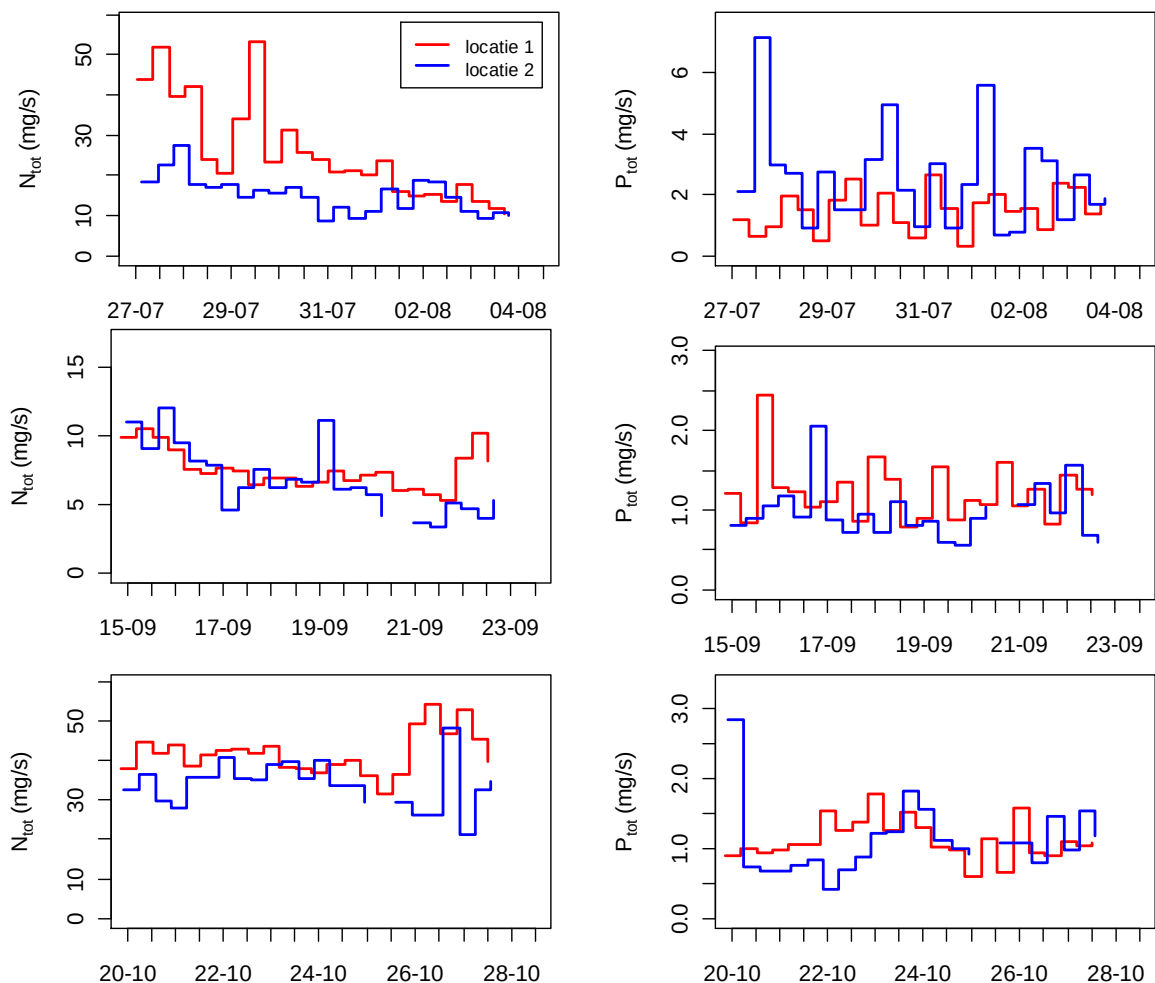
Dag-nacht dynamiek

De gemeten nutriëntenconcentraties zijn onderworpen aan de Kruskal-Wallis test (Kruskal en Wallis, 1952) om te kijken of er een verschil is tussen de concentraties overdag en 's nachts. Een verschil is te verwachten omdat de zuurstofconcentraties, de watertemperatuur en het licht een duidelijke dag-nacht dynamiek hebben (zie paragraaf 3.2) en het verloop van biochemische nutriëntenprocessen zoals denitrificatie en mineralisatie beïnvloeden. Ook afvoerdynamiek over de dag en nacht, zoals waargenomen in de meetperiodes 1 en 2, kan zorgen voor dynamiek in de nutriëntenconcentraties. De nutriëntenconcentraties vertonen echter geen significante dag-nacht dynamiek volgens de Kruskal-Wallis test (zie Bijlage 7). Mogelijk is de meetfrequentie (driemaal daags) te grof om een eventuele dag-nacht dynamiek waar te nemen.

3.1.3 Nutriëntenvrachten

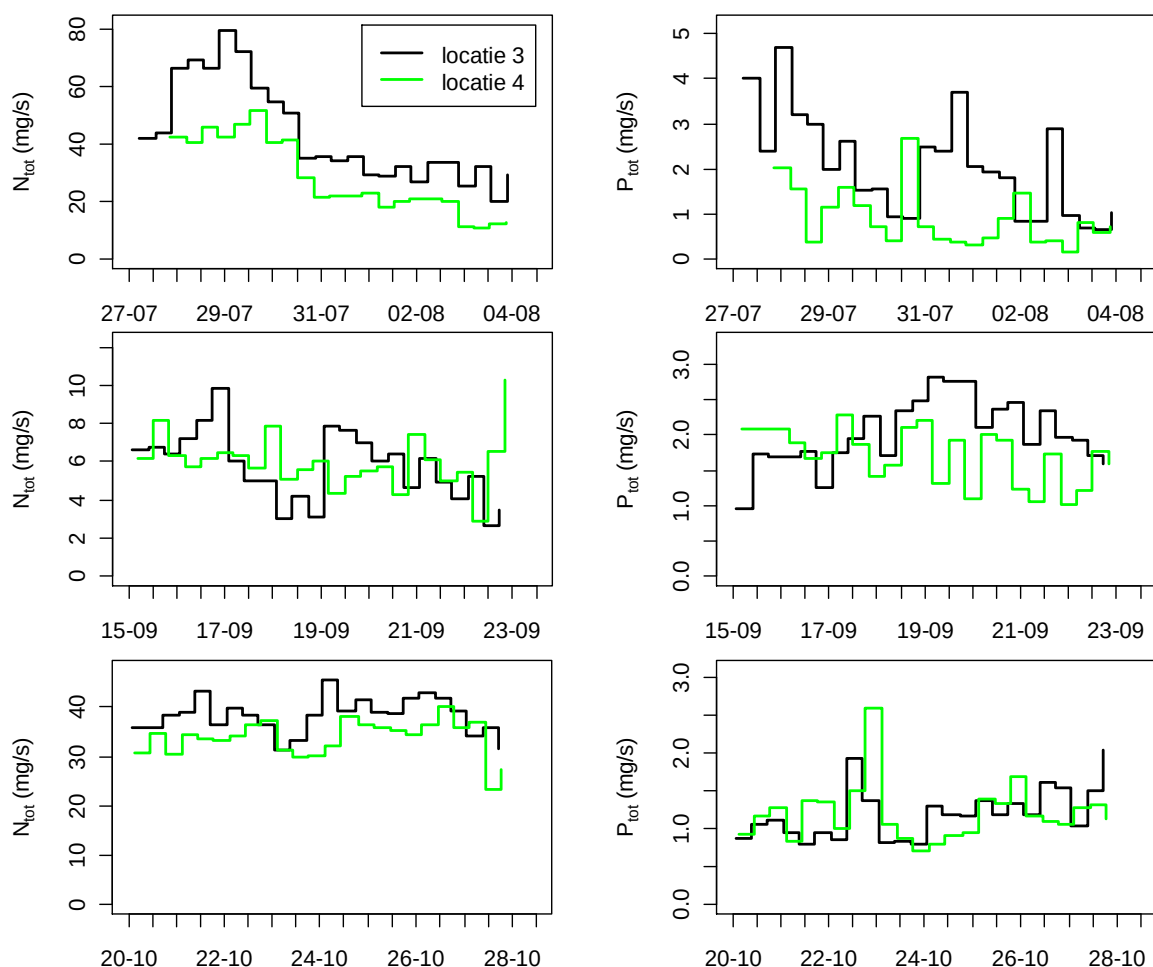
De nutriëntenvrachten zijn berekend door de gemeten nutriëntenconcentraties te vermenigvuldigen met de gemeten afvoeren. Zoals beschreven in paragraaf 3.1.1 is voor het genormaliseerde traject de afvoer gebruikt die is gemeten bij het instroompunt. In het meanderende traject is eveneens een gelijke aan- en afvoer verondersteld waarbij is uitgegaan van de gemeten afvoer bij het uitstroompunt (3.1.1).

De restpost in de per traject opgestelde nutriëntenbalans is de retentie. Het effect van kwel/wegzijing en de zijloopjes op de nutriëntenbalans is niet meegenomen vanwege beperkte data. De nutriëntenvrachten voor het genormaliseerde en het meanderende traject zijn te zien in Figuur 23 en Figuur 24. De afvoeren zijn hiervoor gemiddeld over acht uur overeenkomend met de 8-uurgemiddelde nutriëntenconcentraties. De afvoeren zijn gecorrigeerd voor de hydraulische verblijftijd in het traject.



Figuur 23

Inkomende (rood) en uitgaande (blauw) nutriëntenvrachten in het genormaliseerde traject. Per meetperiode zijn de N_{totaal} (links) en P_{totaal} (rechts) vrachten weergegeven. De datumlabels zijn geplaatst bij het middaguur.



Figuur 24

Inkomende (zwart) en uitgaande (groen) nutriëntenvrachten in het meanderende traject. Per meetperiode zijn de N_{totaal} (links) en P_{totaal} (rechts) vrachten weergegeven. De datumlabels zijn geplaatst bij het middaguur.

De inkomende stikstofvrachten zijn meestal groter dan de uitgaande vrachten. Het valt op dat de vrachten in meetperiode 2 lager zijn dan in de andere perioden. Dit komt door de lage afvoeren in combinatie met de lage concentraties periode 2. Voor fosfor is het gedrag van de inkomende en uitgaande vrachten niet eenduidig. Soms zijn de inkomende vrachten groter dan de uitgaande vrachten, dan weer zijn de uitgaande vrachten het grootst. Binnen de meetperioden zijn er grote fluctuaties. In bijlage 3 zijn de nutriëntenvrachten uitgesplitst naar organische en anorganische verschijningsvormen (Figuur 44 en Figuur 45).

3.1.4 Nutriëntenretentie

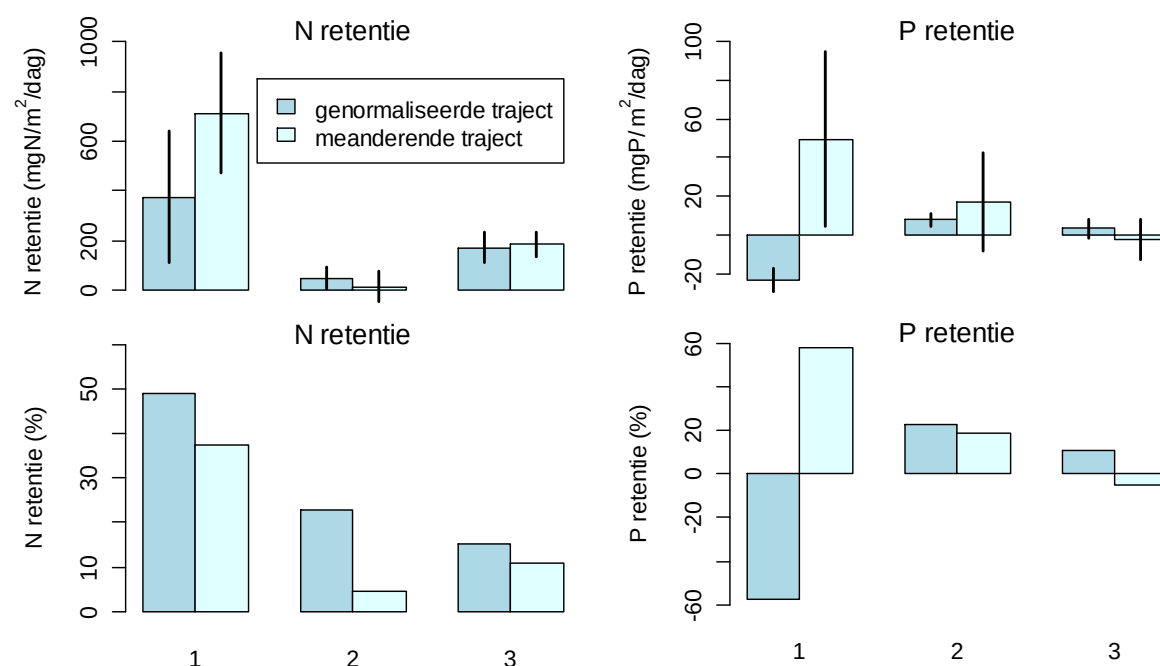
De retentie is gelijk aan het verschil tussen de inkomende en uitgaande nutriëntenvrachten. De retentie is berekend als een gemiddelde hoeveelheid per dag (absolute retentie R_a , formule 4) en als een percentage ten opzichte van de inkomende vrachten (relatieve retentie R_r , formule 5):

$$R_a = L_{in} - L_{uit} \quad (4)$$

$$R_r = \frac{L_{in} - L_{uit}}{L_{in}} * 100\% \quad (5)$$

waarin L_{in} en L_{uit} staan voor de inkomende en de uitgaande vrachten. Voor het berekenen van de retentie is rekening gehouden met de hydraulische verblijftijd. Dit is de tijd die inkomende vrachten (op het instroompunt) gemiddeld nodig hebben om het uitstroompunt te bereiken. Voor een juist vergelijk van inkomende en uitgaande vrachten met het oog op retentie is het noodzakelijk om rekening te houden met deze 'verschuiving in de tijd' en ervoor te corrigeren. De resulterende retentie is te zien in Figuur 25. Tabel 19 in bijlage 5 bevat de achterliggende data.

De standaarddeviatie in de dagelijkse absolute retentie geeft een idee van de natuurlijke variatie per dag, al is het lastig op grond van de data nauwkeurige uitspraken te doen over de dagelijkse variaties. Het gaat om drie (8-uur gemiddelde) metingen per dag bij de in- en uitstroom die in de tijd niet samenvallen. Daarbij is er gewerkt met een gemiddelde verblijftijd terwijl deze per dag kan verschillen. De absolute retentie is uitgedrukt per eenheid waterbodoppervlak. Dit is gedaan om de retentie in de beide trajecten goed met elkaar te kunnen vergelijken. Ook hier gaat het om een gemiddelde; de retentie kan ruimtelijk sterk verschillen.



Figuur 25

Retentie van N en P per traject voor elke meetperiode. Zowel de absolute retentie (per eenheid waterbodoppervlak) (boven) als de relatieve retentie (onder) is weergegeven. De lijnen representeren de standaarddeviatie.

De stikstofretentie is positief in alle meetperioden. In meetperiode 1 is de absolute stikstofretentie het grootst en is het retentiepercentage het hoogst. De variatie in de dagelijkse retentie is in deze periode tevens het grootst zoals blijkt uit de grote standaarddeviatie. De retentiepercentages in de andere perioden zijn beduidend lager. De absolute N-retentie is het kleinste in meetperiode 2 vanwege het geringe nutriëntentransport (lage afvoeren met lage concentraties). In het genormaliseerde traject is het N-retentiepercentage meestal hoger dan in het meanderende traject. Dit heeft onder andere te maken met de grotere lengte van het genormaliseerde traject. Per m² is de stikstofretentie in het meanderende traject groter, voor de meetperioden 1 en 3.

De P-retentie geeft een minder eenduidig beeld. De variatie in de P-retentie in het meanderende traject is groter dan in het genormaliseerde traject. Qua amplitude springt meetperiode 1 eruit waarbij er in het meanderende traject bijna 60% van de inkomende P vrachten wordt vastgelegd. Het is frappant dat in deze periode in het genormaliseerde traject (netto) bijna 60% P wordt nageleverd.

De zijloopjes, die niet zijn meegenomen in de retentieberekening vanwege de beperkte data over hun water- en nutriëntenbijdrage, hebben in het genormaliseerde traject een niet te verwaarlozen invloed op de retentie. Wanneer wordt aangenomen dat de per meetperiode eenmalig gemeten water- en nutriëntenbijdrage representatief is voor de gehele meetperiode zorgen de zijloopjes in het algemeen voor een toename van zowel de relatieve retentie als de absolute retentie (zie Bijlage 4). De relatieve stikstofretentie kent een absolute toename van $6.9 \pm 10.6\%$ gemiddeld over de meetperioden. Voor de relatieve fosforretentie bedraagt de absolute toename $10.5 \pm 9.6\%$. De absolute retentie neemt gemiddeld over de meetperioden toe met $74 \pm 80 \text{ mg/m}^2/\text{dag}$ voor stikstof en $3.8 \pm 0.7 \text{ mg/m}^2/\text{dag}$ voor fosfor. Verdere details zijn te vinden in bijlage 4.

3.2 Conditie in de waterloop

3.2.1 Hydraulische verblijftijd

De hydraulische verblijftijd is van grote invloed op de retentie. Aan de hand van het bodem- en waterspiegelverhang en de geometrie van de trajecten (Tabel 1) is per meetperiode het totale watervolume van de trajecten geschat. Gecombineerd met de gemiddelde afvoer per periode levert dit de hydraulische verblijftijd.

De verblijftijd in het meanderende traject is 3 à 4 keer kleiner dan in het genormaliseerde traject, ondanks de vergelijkbare afvoeren in beide trajecten. Dit komt doordat het meanderende traject korter is en omdat het water in het meanderende traject ruim twee keer sneller stroomt doordat het ondieper en smaller is. Het genormaliseerde traject is door de opstuwing in het algemeen dieper en breder wat resulteert in lagere stroomsnelheden en grotere verblijftijden. De opstuwing zorgt voor een kleiner verhang van de waterspiegel vergeleken met het meanderende traject.

In periode 2 is de verblijftijd ongeveer twee maal zo groot als in de overige perioden als gevolg van de lage afvoeren. In het genormaliseerde traject varieert de verblijftijd in de meetperioden tussen de 27 uur en de 43 uur. In het meanderende traject doet het water er gemiddeld 6 tot 14 uur over vanaf de instroom tot aan het uitstroompunt. De verblijftijd varieert gedurende de meetperiode als gevolg van de variatie in waterstanden en afvoeren (zie standaarddeviatie in Tabel 11).

Tabel 11

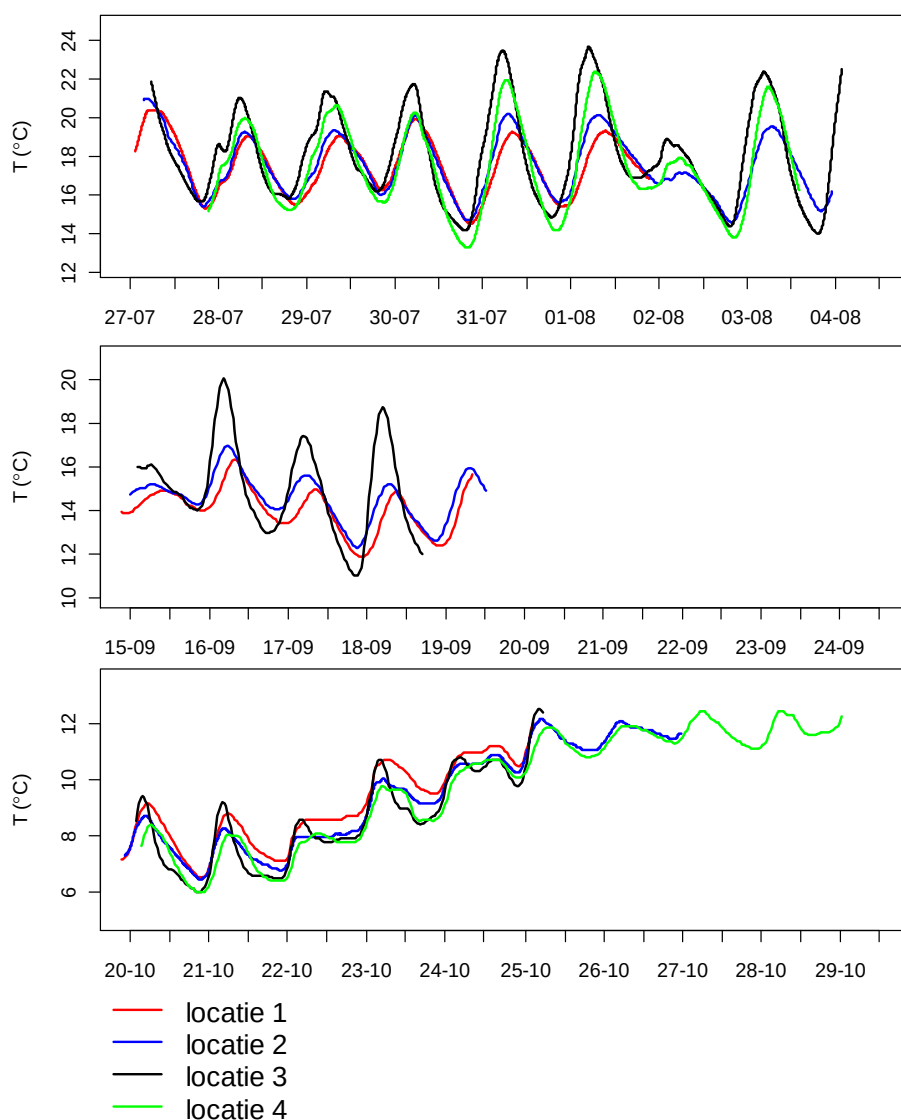
Bodemverhang, waterspiegelverhang en bijbehorend totale watervolume & openwateroppervlak in het genormaliseerde traject (recht) en het meanderende traject (meander), afgeleid uit metingen. Op basis van gemiddelde afvoeren en het totale watervolume is voor elke periode de hydraulische verblijftijd en de stroomsnelheid berekend.

		Bodemligging (cm NAP)	Waterstand (cm NAP)		
			periode 1	periode 2	periode 3
Recht	begin traject (na stuw)	360	396	402	404
	einde traject (voor stuw)	300	386	391	384
	verhang (cm/km)	43	7	8	14
	openwateroppervlak (m²)		4.280	4.390	4.310
	watervolume (m³)		1.640	1.760	1.630
	gemiddelde afvoer (l/s)		17,5	11,6	16,9
	gemiddelde verblijftijd (uren)		27	43	28
	standaarddeviatie verblijftijd (uren)		5	7	5
	gemiddelde stroomsnelheid (cm/s)		1,5	0,9	1,5
Meander	begin traject	254	267,5	275.6	283.1
	einde traject	211	222,5	237.6	218.4
	verhang (cm/km)	51	51	43	74
	openwateroppervlak (m²)		2.185	2.280	2.240
	watervolume (m³)		425	680	560
	gemiddelde afvoer (l/s)		18,5	13,2	21,2
	gemiddelde verblijftijd (uren)		6,3	14,2	7,5
	standaarddeviatie verblijftijd (uren)		1,4	0,4	0,8
	gemiddelde stroomsnelheid (cm/s)		3,8	1,8	3,3

3.2.2 Watertemperatuur

Figuur 26 toont de gemeten watertemperatuur bij het in- en uitstroompunt van elk traject. De meetreeksen zijn bewerkt met een moving average filter waardoor elke waarde het gemiddelde van de omliggende metingen (binnen een uur) representeert.

De watertemperatuur heeft een duidelijk dag-nacht patroon. De amplitude van dit patroon is in het meanderende traject groter dan in het genormaliseerde traject, met name in de warme zomerperioden 1 en 2. De waterdiepte draagt hieraan bij. In het ondiepere meanderende traject heeft de warmte-uitwisseling tussen de lucht en het water meer effect dan in het diepere genormaliseerde traject. Hierdoor wordt de luchttemperatuur beter gevolgd.



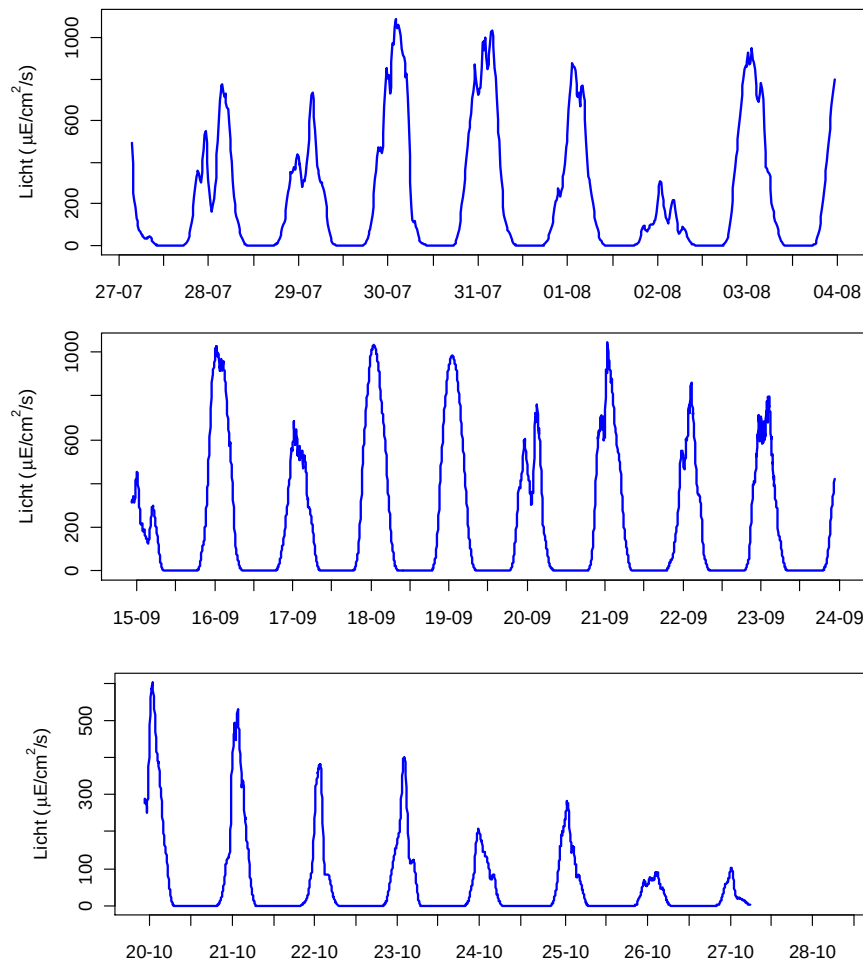
Figuur 26

Gemeten watertemperatuur in de drie meetperioden (periode 1: boven, periode 2: midden, periode 3: onder). De datumlabels zijn geplaatst bij het middaguur.

3.2.3 Lichtintensiteit

Figuur 27 laat de gemeten lichtsterkte aan het wateroppervlak zien op het uitstroompunt van het genormaliseerde traject (open veld). De meetreeksen zijn bewerkt met een moving average filter waardoor elke waarde het gemiddelde van de omliggende metingen (binnen een uur) representeert.

Uit de metingen blijkt dat periode 2 het zonnigst was. In meetperiode 1 is het zonlicht het meest intens. In meetperiode 3 is de kracht van het zonlicht bijna gehalveerd (zie lichtintensiteit op het onbewolkte 30 juli en het onbewolkte 20 oktober). Ook is te zien dat de dagen in periode 3 het kortst zijn.



Figuur 27

Gemeten lichtsterkte aan het wateroppervlak op locatie 2 (uitstroompunt rechte traject) per meetperiode (periode 1: boven, periode 2: midden, periode 3: onder). De datumlabels zijn geplaatst bij het middaguur.

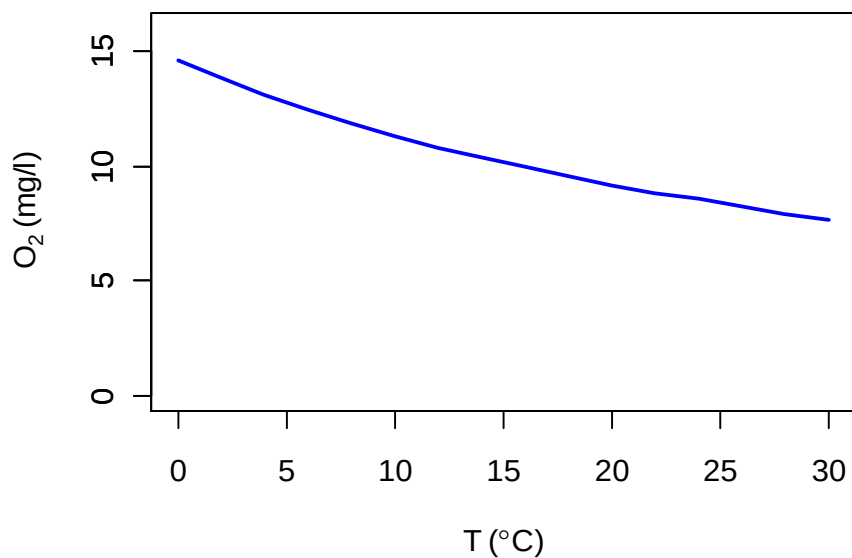
3.2.4 Zuurstof in de waterkolom

Het zuurstofgehalte in de waterkolom is afhankelijk van vele factoren waarvan de belangrijkste:

- re-aeratie; uitwisseling met de lucht die afhankelijk is van concentratieverschillen en de waterdiepte;
- watertemperatuur; koud water kan meer zuurstof bevatten dan warm water (Figuur 28);
- waterafvoer in relatie tot zuurstoftransport en menging;
- aanwezigheid van autotrofe organismen (zoals waterplanten en algen); zuurstofproductie door fotosynthese, zuurstofconsumptie door respiratie;
- hoeveelheid afbreekbaar organisch materiaal in het sediment en in de waterkolom; voor de (bacteriële) afbraak is zuurstof nodig (=BZV);
- lichtcondities in de waterkolom, afvang van licht (bijvoorbeeld door bomen of drijvende waterplanten) verhindert fotosynthese en dus zuurstofproductie.

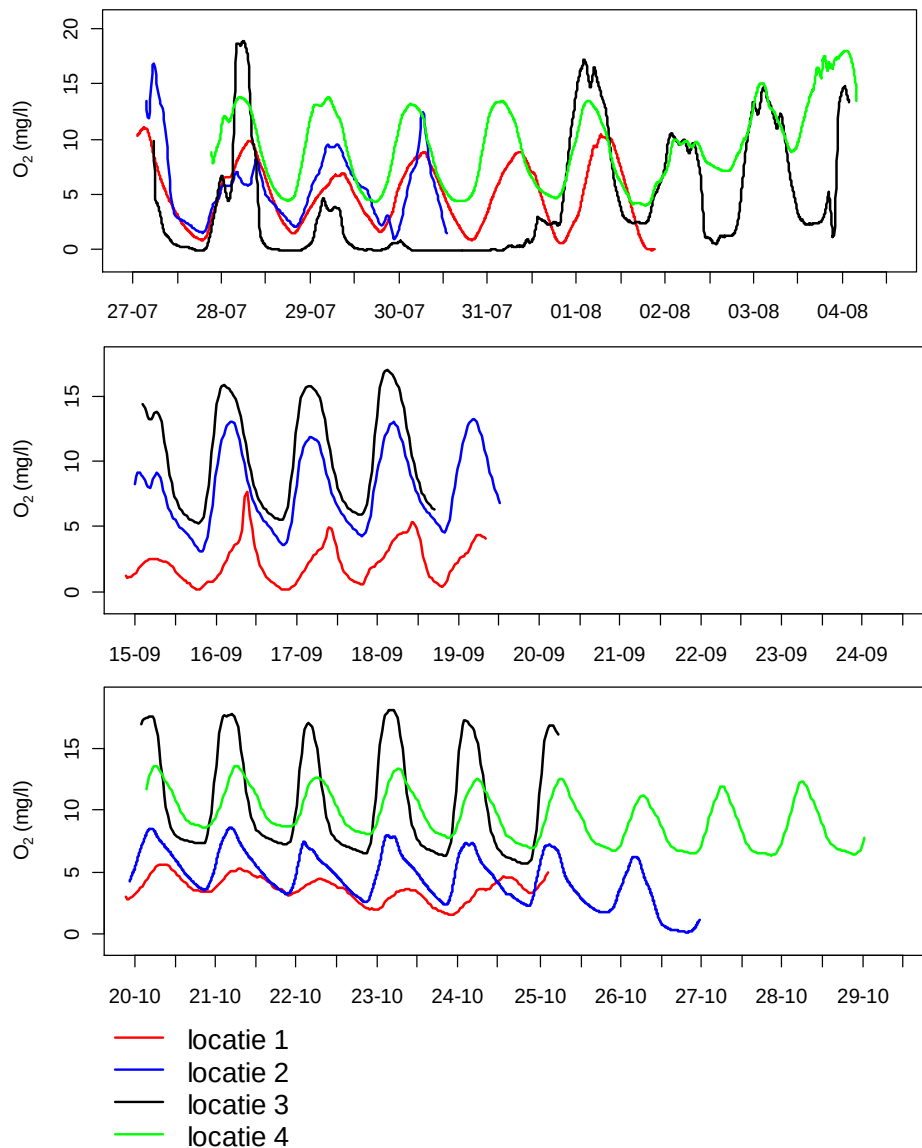
De zuurstofmetingen (Figuur 29) vertonen een duidelijk dag-nacht ritme waar waterplanten een belangrijk aandeel in hebben. De zuurstofproductie (door fotosynthese) zorgt overdag voor hogere concentraties en de nacht kent lagere concentraties door zuurstofverbruik (respiratie). De zuurstofconcentraties in het meanderende traject zijn een stuk hoger, duidelijk te zien in meetperiode 3. Er is soms zelfs sprake van een over-

verzadiging met zuurstof, door een grote productie van zuurstof in het water. De lagere concentraties in het genormaliseerde traject kunnen deels worden verklaard door een grotere zuurstofvraag door het sediment. Het sediment bevat in het algemeen meer organische stof (zie Tabel 13) waardoor de zuurstofvraag voor de afbraak van organische stof groter is. Grote delen van het meanderende traject bestaat uit 'kaal' sediment, vooral op plekken met beschaduwing. Op locatie 1 (stuw Oudemolenseweg) worden de laagste zuurstofconcentraties gemeten. Dit komt waarschijnlijk door het kroosdek op de plaats van meten (vlak voor de stuw): de lichtafvang remt de fotosynthese met verminderde zuurstofproductie tot gevolg.



Figuur 28

Zuurstofverzadiging als functie van de watertemperatuur, bij druk = 1 atm. & chloride = 0 mg/l.



Figuur 29

Gemeten zuurstofconcentraties in de waterkolom per meetperiode (periode 1: boven, periode 2: midden, periode 3: onder). Datumlabels zijn geplaatst bij het middaguur.

3.2.5 Waterplanten

Tabel 12 geeft een overzicht van de gemeten bedekkingsgraad en soortensamenstelling van de waterplanten. Het genormaliseerde traject wordt gedomineerd door waterpest. Bovenstrooms (comp. I) groeit meer sterrekroos (Figuur 30) en in periode 3 zijn er meer emergente waterplanten. Het meanderende traject kent een grotere soortenrijkdom (Figuur 31). Er is geen duidelijke dominantie van een waterplantensoort.



Figuur 30
Sterrekroos in compartiment I.



Figuur 31
Soortenrijkdom in compartiment V.

Tabel 12
Bedekkingsgraad en soortensamenstelling van waterplanten in de onderzoekstrajecten, ingedeeld in elk vier compartimenten (zie Figuur 2 en Figuur 3).

	Compartiment	Periode	Totaal (%)	Ondergedoken			Emergent	Drijvend
				waterpest	sterrekroos	overig		
Recht	I	1	5	a	a			
		2	30	b (172)	b (112)			a
		3	30	b (100)	b		b	a
	II	1	5	a				
		2	65	d (73)	a			a
		3	50	c (216)	a		a	a
	III	1	15	c				
		2	80	d (133)				a
		3	60	d (274)			a	a
Meander	IV	1	5	a (96)				a
		2	70	d (187)				b*
		3	55	c (426)			b	a
	V	1	50	c (275)		b (275)	a	a
		3	75	c (399)		b	b	a
	VI	1	30	b		b	a	a
		3	40	b		c	b	a
	VII	1	10	a		a		
		3	10	a		a	a	
	VIII	1	<5			a		
		3	<5			a		

a = < 5% , b = 5 - 20% , c = 20 - 50% , d = 50 - 80% , e = 80 - 100%.

* Ophoping voor duiker.

Tussen haakjes staat het gemeten drooggewicht (in g/m²) van dichtstbegroeide compartimentsdeel.

De bedekkingsgraad in het genormaliseerde traject wordt beïnvloed door het maaibeheer (Figuur 12).

Zo zijn er in de eerste meetperiode, ruim een maand na het intensief schonen van het traject, nauwelijks waterplanten (gemiddelde bedekkingsgraad is ongeveer 10%). In meetperiode 2, anderhalve maand later, is de hoeveelheid waterplanten behoorlijk toegenomen (Figuur 32) met een bedekkingsgraad die varieert tussen de 30% en 80%. In meetperiode 3, waaraan een paar weken voorafgaand één kant van het traject is geschoond, bedraagt de bedekkingsgraad 30% tot 55%. Verder valt op dat er bovenstrooms (compartiment I) minder waterplanten zijn dan de overige compartimenten van het genormaliseerde traject.



Figuur 32

Waterplanten in periode 2 (compartiment IV).



Figuur 33

Nauwelijks begroeiing in compartiment VII.

In het meanderende traject waren geen maaiactiviteiten gedurende de meetcampagne. De bedekkingsgraad in periode 3 is iets groter dan in periode 1, althans in de compartimenten V en VI met een bedekkingsgraad van 50% en 30% in periode 1 en 75% en 40% in periode 3. In de compartimenten VII en VIII zijn er nauwelijks waterplanten (Figuur 33). Met name in compartiment VIII is de bedekkingsgraad laag (kleiner dan 5%) als gevolg van de beschaduwing door bomen in het gehele compartiment.

3.2.6 Sedimentsamenstelling

De samenstelling van de bovenste 4 cm van het sediment is weergegeven in Tabel 13. De sedimentmonsters zijn in het laboratorium geanalyseerd. Totaalgehalten aan fosfor en ijzer zijn verkregen door destructie met aqua regia (koningswater). De zwavelzuurdestructie resulteert ook in de totale hoeveelheid P in het sediment en daarnaast in de totale hoeveelheid N. De extractie met ammoniumoxalaat (oxaalzuur) geeft een idee van het reversibel bindbare fosfaat en de hoeveelheid ijzer, aluminium en mangaan waaraan het fosfaat zich kan binden. Het organisch stofgehalte van het sediment is bepaald met het gloeiverlies.

Er is een lineair verband (R^2 van 0.76 tot 0.98) tussen het organisch stofgehalte en het voorkomen van de verschillende stoffen (zie de figuren in Bijlage 6). In sediment zonder organische stof komen de gemeten stoffen nauwelijks voor, althans niet in de bovenste 4 cm van het sediment. Dit duidt erop dat het ijzer in een zodanige vorm voorkomt dat fosfaat er reversibel aan kan binden (pers. med. Oscar Schoumans).

De hoeveelheid ijzer bepaalt de sorptiecapaciteit in onze monsters. De totale hoeveelheid ijzer bedraagt gemiddeld 25.9 ± 26.4 g/kg met een uitschieter van 97.2 g/kg (in sediment rijk aan organisch materiaal). Ter vergelijking worden in sedimentmonsters van het Veluwemeer ijzergehalten van 7.2 tot 28.7 g/kg gevonden (Brinkman en Van Raaphorst, 1986). In het Plons project (www.plons.wur.nl) is een groot aantal sloten in West-Nederland geanalyseerd op sedimentsamenstelling. In 102 bodemonsters genomen in verschillende sloten wordt een gemiddeld ijzergehalte gevonden van 22.6 ± 12.4 g/kg. Het geanalyseerde sediment in het Zeegserloopje zit qua ijzer dus boven dit gemiddelde maar vertoont wel een grotere variatie, afhankelijk van het organisch stofgehalte van de waterbodem.

Het aantal mol extraheerbaar aluminium en ijzer in het sediment geeft een indicatie van het fosfaat dat kan worden gebonden. In het genormaliseerde deel bedraagt de fosfaatverzadiging gemiddeld 15%, in het meanderende deel 9%. De fosfaatverzadiging geeft aan welk deel van de maximale sorptiecapaciteit ($= P_{ox}/(Fe + Al)_{ox} = 0.5$) wordt benut.

Tabel 13 laat zien dat de samenstelling van de sedimentmonsters genomen op dezelfde locatie (maar op andere tijdstippen) sterk kan verschillen. Een verklaring hiervoor is dat de sedimentmonsters niet exact op dezelfde locatie zijn genomen in elke meetperiode. Daarbij is het genormaliseerde traject voorafgaand aan meetperiode 3 deels gebaggerd waardoor het sediment is verstoord.

De grotere fosfaatverzadiging en de grotere totale hoeveelheid fosfaat in het sediment geven aan dat de chemische nalevering van fosfaat (desorptie) een grotere rol kan spelen in het genormaliseerde traject dan in het meanderende stuk dat armer is aan organisch materiaal. Er wordt ook wel aangenomen dat de waterbodem fosfaat chemisch nalevert bij een Fe/P massaverhouding kleiner dan 15 (Sondergaard et al., 2003), in het bovenste aerobe sedimentlaagje (enkele mm dik). Voor de bovenste 4 cm van het sediment is deze verhouding gemiddeld 13.4 in het genormaliseerde traject en 24.5 in het meanderende traject. Het is de vraag in hoeverre deze empirische regel iets zegt over het plaatsvinden van nalevering. De werkelijkheid ligt complexer. Met name de redoxcondities in het sediment zijn bepalend voor het plaatsvinden van nalevering.

Tabel 13

Samenstelling van de bovenste vier centimeter van het sediment. Voor locaties zie Figuur 13 en Figuur 14.

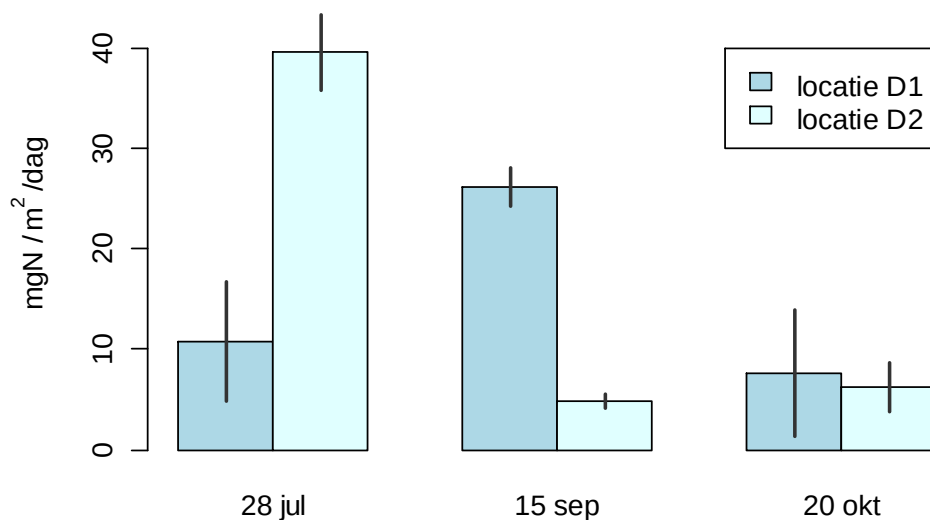
	Locatie	Periode	Destuctie aqua regia		Destructie zwavelzuur		Extractie oxaalzuur				Gloeiverlies
			Fe [mg/kg]	P [mg/kg]	Nt [g/kg]	Pt [mg/kg]	Al [mg/kg]	Fe [mg/kg]	Mn [mg/kg]	P [mg/kg]	organische stof [%]
Recht	1	1	3.648	368	0,47	253	369	2.607	10,0	299	1,44
	1	3	13.485	1.263	2,50	1.465	950	10.560	26,0	1.068	5,57
	2	1	31.921	1.951	4,72	1.912	2.167	28.270	43,5	1.615	12,7
	2	3	30.838	2.252	3,51	1.926	1.752	24.018	57,9	1.788	10,4
	3	1	97.243	4.599	7,71	4.446	3.653	68.072	155	2.723	22,0
	3	3	8.883	516	1,60	446	994	5.788	30,0	426	4,26
	4	1	46.761	4.574	4,99	3.708	3.598	38.334	59,4	4.070	14,4
	4	3	39.626	3.980	4,67	3.155	3.219	33.004	63,8	3.574	14,4
Meander	D1	1	5.993	532	0,84	425	668	4.625	9,99	440	2,59
	5	3	8.918	438	1,32	452	645	5.747	38,1	319	3,01
	6	1	5.161	198	0,37	174	446	3.899	13,9	173	1,21
	6	3	6.407	251	0,33	216	355	3.810	14,0	199	0,83
	D2	1	38.328	1.462	2,70	1.289	1.766	25.472	94,1	951	9,32

3.3 Nutriëntenprocessen in de waterloop

Denitrificatie

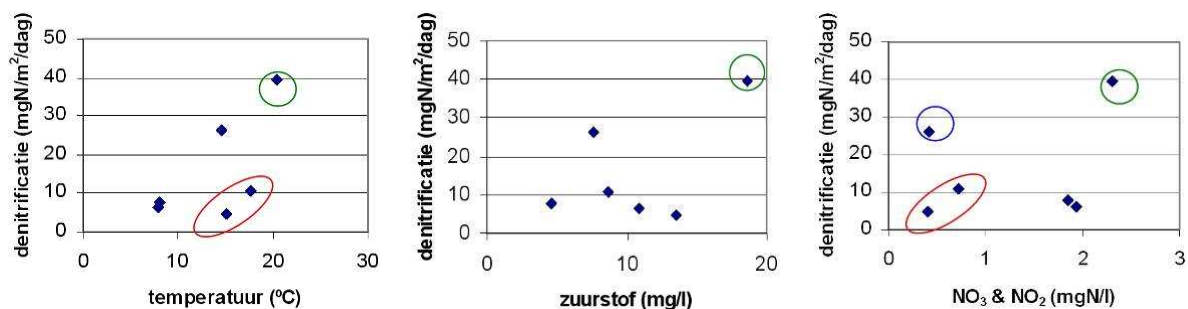
De gemeten denitrificatiesnelheden zijn weergegeven in Figuur 34. Tabel 20 in bijlage 5 geeft de achterliggende data. De standaarddeviatie per meting volgt uit de verschillen tussen de drie bakken. De verschillen tussen de bakken is kleiner dan de verschillen tussen de locaties en tussen de meetperioden.

Aan het begin en einde van de metingen is het zuurstofgehalte en de watertemperatuur in de bakken gemeten. De gemeten denitrificatiesnelheden zijn uitgezet tegen de gemiddelden hiervan en tegen de gemeten nitraatconcentraties (Figuur 35). Uit de metingen volgt dat de denitrificatie toeneemt met de watertemperatuur, afgezien van de met rood omcirkelde situaties. In deze situaties wordt de denitrificatie geremd door de lage nitraatconcentraties (zie rode omcirkeling in de nitraatplot). De denitrificatiesnelheid neemt af met toenemend zuurstofgehalte. Een uitzondering is de met groen omcirkelde meting waar ondanks de oververzadiging met zuurstof de denitrificatie groot is. In deze situatie zorgen de hoge temperatuur en de hoge nitraatconcentraties voor de hoge denitrificatiesnelheid.



Figuur 34

Gemeten denitrificatiesnelheden met hun standaarddeviatie (lijn) in de beide trajecten (voor locaties zie Figuur 14).



Figuur 35

Relatie van de denitrificatie met temperatuur, zuurstofgehalte en nitraatgehalte in de waterkolom. Temperatuur en zuurstof geven een gemiddelde van de gemeten waarden in de denitrificatiebakken. De nitraatconcentraties zijn afgeleid uit de continue metingen in de trajecten.

De blauw-omcirkelde meting heeft ondanks de lage nitraatconcentraties een hoge denitrificatiesnelheid. De meting vond plaats in meetperiode 2 in het dichtbegroeide genormaliseerde traject. De overvloed aan waterplanten stimuleert de denitrificatie omdat waterplanten vaak omgeven zijn door biofilms met denitrificerende bacteriën (Eriksson en Weisner, 1997). Daarbij kan lichtafvang door de dichte begroeiing leiden tot anaërobie op de waterbodem met een stimulerend effect op de denitrificatie.

De denitrificatiemetingen vonden plaats tussen 11:00 en 16:00 en duurden maximaal vier uur. Het is de vraag hoe representatief deze metingen zijn voor de gehele dag. Het verschil in denitrificatiesnelheden tussen dag en nacht kan oplopen tot 50% (De Klein, 2008). Wanneer het zuurstofgehalte bepalend is verwacht je 's nachts meer denitrificatie dan overdag: 's nachts dalen de zuurstofconcentraties door respiratie terwijl er overdag zuurstofproductie is door fotosynthese. Wanneer er weinig nitraat aanwezig is kan de denitrificatie overdag het grootst zijn. Bij een tekort aan nitraat wordt namelijk de omzetting van ammonium naar nitraat sturend. Deze omzetting (nitrificatie) verloopt overdag beter dan 's nachts vanwege de hogere zuurstofconcentraties overdag.

Het gemeten zuurstofgehalte in het Zeegserloopje is het laagst rond 7:00 in de ochtend om vervolgens op te lopen en te pieken rond 16:30. De denitrificatiemetingen vonden plaats tussen 11:00 en 16:00 en duurden maximaal vier uur. Als het zuurstofgehalte bepalend is impliceert dit dat de gemeten denitrificatie lager is dan het daggemiddelde. De meetresultaten geven aan dat het zuurstofgehalte niet in alle gevallen bepalend is. Daardoor is het moeilijk om te zeggen in hoeverre de metingen een daggemiddelde representeren.

Sedimentatie

De gemeten sedimentatie is weergegeven in Tabel 14. Het betreft gesedimenteerde zwevende deeltjes in het water. De resuspensie is niet gemeten waardoor de 'netto sedimentatie' (sedimentatie minus resuspensie) niet bekend is. De gemeten sedimentatie in meetperiode 2 is lager dan in de andere meetperiodes. Door de lagere stroomsnelheden zijn er in deze periode minder zwevende deeltjes in het water waardoor er minder kan sedimenteren. Dit wordt bevestigd door de zwevende stofbepaling van een aantal watermonsters die in meetperiode 2 minder zwevende stof bevatten (Tabel 15).

Tabel 14

Gemeten sedimentatie op de locaties weergegeven in Figuur 15.

Locatie	Sedimentatie (g/m ² /dag)		
	meetperiode 1	meetperiode 2	meetperiode 3
loc 1		4,4	20,4
loc 2	37,4	8,4	15,6
loc 3	10,2	1,4	15,8*
loc 4		**	95,7
loc 5	16,4		

* Bovenstrooms gebaggerd aan het einde van de meetperiode.

** Sedimentval omgestoten bij werkzaamheden aan brug.

De hoeveelheid stikstof en fosfor die sedimenteert is afhankelijk van het aandeel organisch materiaal in de zwevende deeltjes. In een aantal Amerikaanse studies bedraagt het organische aandeel 35.6% in een natuurlijk stroomgebied in New Hampshire (Bormann et al., 1974) en 30.6%, 17.2% en 14.8% in waterlopen in respectievelijk een agrarisch gebied, een bebouwd gebied en een stedelijk gebied, allen gelegen in Florida (Burton et al., 1977). Tijdens het groeiseizoen in de zomer en nazomer is het organisch aandeel substantieel groter en worden waarden gevonden tot bijna 70% (Pierce en Dulong, 1977). Onderzoek naar de Wilton Creek in Canada bevestigt het seizoenspatroon in het organisch aandeel. Ook de andere korrelgrootte en andere samenstelling van de zwevende deeltjes (afhankelijk van de stroomsnelheden) dragen hieraan bij (Ongley en Bynoe, 1982).

Het organische stofgehalte van de zwevende stof in de Drentse Aa is voor zover bekend niet eerder gemeten. Sedimentatiemetingen in de overstromingsvlakte 'Kappersbult' (Sival et al., 2010), in het benedenstroomse deel van de Drentse Aa, geven een indicatie. Het gesedimenteerde materiaal in de vlakte bevatte gemiddeld 1.2% N en 0.2% P en had een gemiddeld organisch stofgehalte van 40%. Dit is vergelijkbaar met gevonden waarden in een inundatievlakte langs de Beerze (2004 - 2006). In de zomerperiode zal het nutriëntengehalte van het gesedimenteerde materiaal groter zijn dan deze in de winter gevonden waarden.

Tabel 15*Gemeten hoeveelheid zwevende stof in watermonsters.*

Locatie	Zwevende stof (mg/l)		
	meetperiode 1	meetperiode 2	meetperiode 3
	28 jul	15 sep	20 okt
Bovenstrooms rechte traject		4,6	29,5
Benedenstrooms rechte traject	13,0	2,8	3,2
Bovenstrooms meanderende traject	12,7	3,5	6,6
Benedenstrooms meanderende traject		3,1	6,8

3.4 Bijdrage van nutriëntenprocessen aan de retentie

Deze paragraaf gaat in op de bijdrage van de volgende nutriëntenprocessen aan de gemeten retentie:

- Sedimentatie (N en P);
- Nutriëntenopname door waterplanten (N en P);
- Denitrificatie (N).

Het aandeel van de processen is gebaseerd op metingen en een aantal aannames, die in het vervolg van deze paragraaf aan de orde komen.

Sedimentatie

De hoeveelheid nutriënten die sedimenteert (Sed_n) is als volgt berekend:

$$Sed_n = Sed \cdot f_n \quad (6)$$

waarin:

Sed_n	nutriënten in bezonken deeltjes	[g m ⁻² dag ⁻¹]
Sed	sedimentatie (gemeten)	[g m ⁻² dag ⁻¹]
f_n	nutriëntenfractie in gesedimenteerd materiaal	[-]

Voor de berekening zijn de volgende aannames gemaakt:

- het gesedimenteerd materiaal bevat 1.2% N en 0.2% P (zie paragraaf 3.3);
- de gemeten sedimentatie (Tabel 14) is per meetperiode en per traject gemiddeld (ook wanneer er maar 1 meting is) en er wordt verondersteld dat dit gemiddelde representatief is voor het gehele traject;
- resuspensie is niet meegenomen.

Nutriëntenopname door waterplanten

De nutriëntenopname door waterplanten is bepaald op basis van de netto groei van de waterplanten:

$$Opname_n = W_{groei} \cdot W_n \quad (7)$$

waarin:

$Opname_n$	nutriëntenopname door waterplanten	[g m ⁻² dag ⁻¹]
W_{groei}	netto groei van de waterplanten (drooggewicht)	[g m ⁻² dag ⁻¹]
W_n	nutriëntenfractie in waterplanten (drooggewicht)	[-]

De netto groei is afgeleid uit de geschatte hoeveelheid waterplanten per meetperiode en het verloop hiervan over de perioden (Tabel 16). Het volgende is aangenomen:

- de waterplanten nemen alle benodigde nutriënten op uit het water (en niet uit het sediment);
- de droge biomassa van de waterplant plant bevat 2% N en 0.3% P (Garbey et al., 2004, De Klein, 2008) ongeacht het type waterplant;
- tussen meetperiode 2 en 3 is 50% van de waterplanten gemaaid in het genormaliseerde traject. Hiermee is rekening gehouden bij het berekenen van de groeisnelheid.

De hoeveelheid waterplanten is als volgt berekend:

$$W_{hvh} = W_{dichtheid, steekproef} \cdot bedekkingsgraad \cdot bodem_{opp} \quad (8)$$

waarin:

W_{hvh}	hoeveelheid waterplanten (drooggewicht) in traject	[g]
$W_{dichtheid, steekproef}$	hoeveelheid waterplanten (drooggewicht) die volgt uit steekproef	[g m ⁻²]
$bedekkingsgraad$	de geobserveerde bedekkingsgraad van traject (als fractie)	[-]
$bodem_{opp}$	waterbodempoppervlak van traject	[m ²]

Deze berekening is uitgevoerd per compartiment (zie paragraaf 2.1 en Tabel 12). Sommatie over de compartimenten levert de totale hoeveelheid waterplanten in het traject. Het volgende is aangenomen:

- de steekproeflocaties waar het drooggewicht is gemeten zijn voor 100% bedekt door waterplanten (de locaties zijn hierop geselecteerd);
- in de compartimenten waar geen drooggewicht is bepaald is het gemiddelde drooggewicht van de andere compartimenten in het traject aangehouden;
- in het meanderende traject waarin gedurende periode 2 geen drooggewichten zijn gemeten is de hoeveelheid waterplanten afgeleid uit de groeisnelheid die het verschil tussen de hoeveelheid in periode 1 en periode 3 verklaart.

Tabel 16

Berekende netto groei van de waterplanten (drooggewicht) die de toename aan waterplanten over de meetperioden verklaart.

Meetperiode		Waterplanten		
		hoeveelheid (kg)	dichtheid (g/m ²)	netto groei (% per dag)
Recht	1	20	6	5,3
	2	261	84	4,2
	3	430	138	3,2
Meander	1	132	67	0,9
	2	201	101	0,8
	3	266	134	0,8

Denitrificatie

Het aandeel van de denitrificatie is afgeleid uit de denitrificatiemetingen. Hierbij is aangenomen dat:

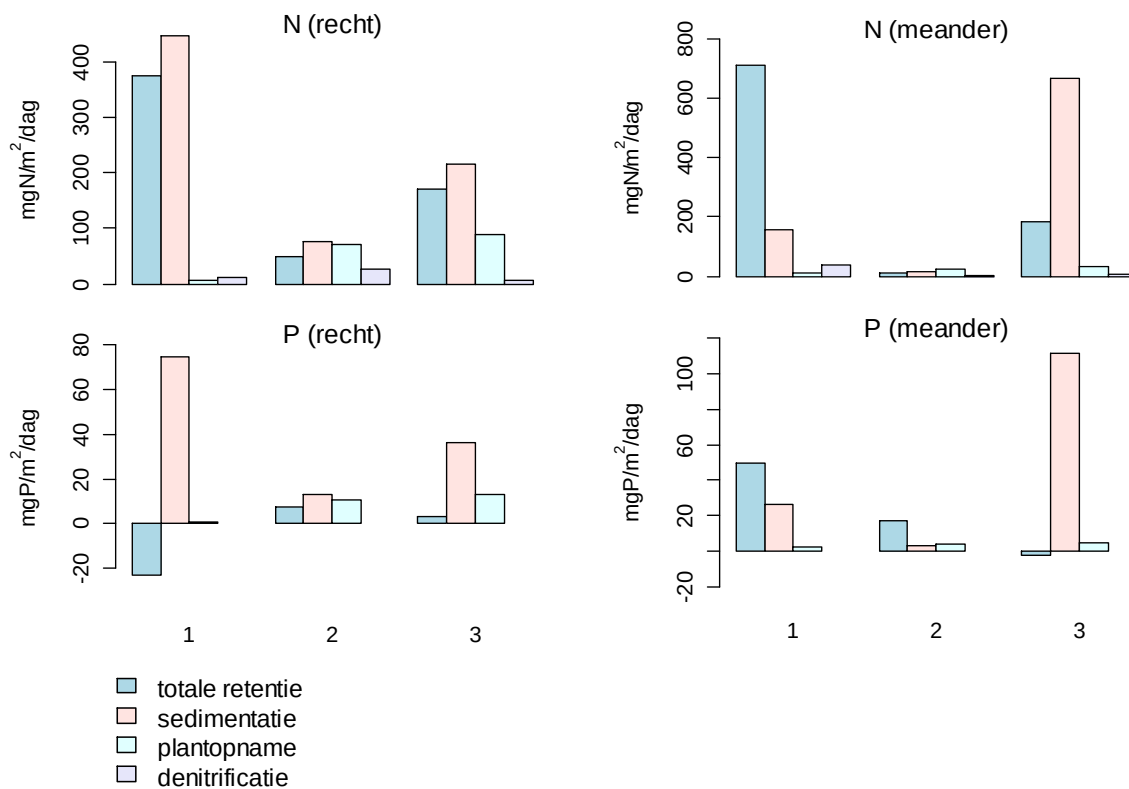
- de denitrificatiemetingen de daggemiddelde denitrificatie representeren (zie paragraaf 3.3);
- de gemeten denitrificatie representatief is voor de denitrificatie in het gehele traject.

Resultaten

De bijdrage van de processen aan de retentie is te zien in Figuur 36. Voor zowel N en P kan het verschil tussen de gemeten in- en uitstroom van nutriënten niet goed worden verklaard met de gemeten processen.

Verklaringen hiervoor zijn:

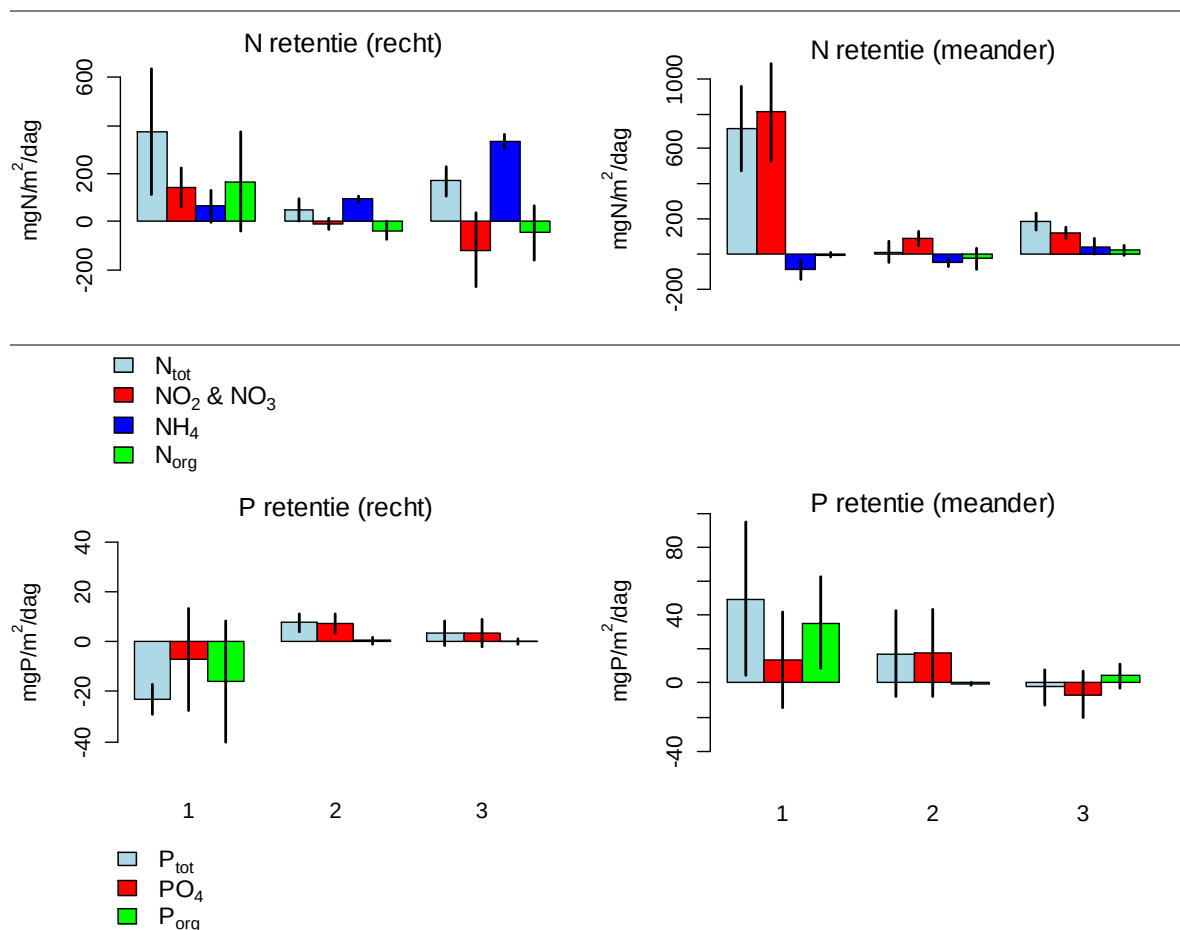
- niet alle retentieprocessen zijn gemeten zoals de nutriëntenbinding aan de waterbodem en resuspensie;
- de procesmetingen (puntmetingen en/of momentmetingen) zijn niet representatief voor het gehele traject of meetperiode;
- de water- en nutriëntenbalans is niet sluitend; de bijdrage van zijloopjes en kwel is niet meegenomen vanwege beperkte data en de afvoermetingen zijn niet op alle locaties betrouwbaar.



Figuur 36

Geschatte procesaandeel t.o.v. de berekende absolute retentie voor het genormaliseerde traject (links) en het meanderende traject (rechts), per meetperiode.

Let op: de sedimentatie representeert niet de vastlegging, aangezien de resuspensie niet is beschouwd.



Figuur 37

Dagelijkse absolute retentie van N en P onderverdeeld over verschillende fracties voor het genormaliseerde traject (links) en het meanderende traject (rechts), per meetperiode. De zwarte lijnen geven de standaarddeviatie.

Op basis van de retentie van de verschillende nutriëntenvormen (Figuur 37) kun je inschatten welke processen er spelen. Plantopname zorgt voor een afname van de concentraties van mineraal-N en mineraal-P. In het geval van N hebben de planten een voorkeur voor ammonium (NH_4). De denitrificatie grijpt aan op nitraat (NO_3). De vastlegging of nalevering van (particulair) organisch-N en organisch-P heeft te maken met sedimentatie en resuspensie. Daarnaast is waterplantensterfte een bron voor organisch-N en organisch-P. Het koppelen van de processen aan de retentie van de verschijningsvormen wordt bemoeilijkt door nutriëntenomzettingen, zoals door mineralisatie (van organisch naar mineraal) en nitrificatie (van ammonium naar nitraat). Het vrachtverloop van de verschillende nutriëntenvormen gedurende de meetperioden is te zien in Figuur 44 en Figuur 45 in Bijlage 3.

Daarnaast geeft een eventuele dag-nacht dynamiek van de nutriëntenconcentraties informatie over het plaatsvinden van retentieprocessen. Nutriëntenopname door waterplantengroei vindt overdag plaats onder invloed van het zonlicht. Denitrificatie is afhankelijk van de zuurstofconcentratie, met een duidelijke dag-nacht dynamiek. Omdat de nutriëntenconcentraties geen significante dag-nacht dynamiek hebben (zie paragraaf 3.1.2 en Bijlage 7), ofwel omdat er geen dynamiek is ofwel omdat de meetfrequentie (driemaal daags) te grof is om een dynamiek te detecteren, geeft deze analyse geen verdere aanknopingspunten over het plaatsvinden van de processen.

Op grond van de bovenstaande analysemethode valt voor de N-retentie op dat:

- er alleen in meetperiode 1 (rechte traject) sprake is van vastlegging van organisch N wat duidt op (netto) sedimentatie. Een verklaring hiervoor is de afnemende waterafvoer in periode 1;
- de gemeten denitrificatie te klein is om de vastlegging van nitraat en ammonium (dat kan worden omgezet in nitraat) te verklaren. Dit geldt met name voor periode 1 en 3 waarin de gemeten denitrificatie verantwoordelijk is voor 2.8% tot 5.5% van de totale N-retentie terwijl de nitraat- en ammoniumvastlegging het leeuwendeel van de retentie verklaart. In periode 2 bedraagt de denitrificatie 39% (meander) en 54% (genormaliseerd) van de retentie;
- de nutriëntenopname door waterplanten ook niet toereikend is om de nitraat- en ammoniumvastlegging in periode 1 en 3 te verklaren. In periode 2 is dit wel het geval en lijkt de plantopname het belangrijkste retentieproces.

Voor de P-retentie valt het volgende op:

- alleen in meetperiode 1 is er sprake van substantiële retentie van organisch P: de nalevering in het rechte traject duidt op (netto) resuspensie terwijl de vastlegging in het meanderende traject duidt op (netto) sedimentatie. Op grond van de retentie van organisch-N verwacht je juist (netto) sedimentatie in het rechte traject in meetperiode 1;
- de plantopname verklaart de fosfaatretentie goed, alleen niet in het rechte traject in meetperiode 1 en in het meanderende traject in meetperiode 3. In meetperiode 2 lijkt de plantopname het belangrijkste retentieproces. Dit strookt met de bevindingen op grond van N.

De resultaten geven aan dat sedimentatie een belangrijk retentieproces is, voor zowel N als P. Met name in meetperiode 1 en 3 is de bijdrage aan de retentie groot. De continu lage afvoeren zijn een mogelijke verklaring voor de kleine sedimentatie in periode 2. Hierdoor bevat het water weinig zwevende deeltjes en kan er weinig sedimenteren. De afvoeren in de meetperioden 2 en 3 hebben een grotere dynamiek. Bij afvoerpieken komen er meer zwevende deeltjes in het water die bij lagere afvoeren kunnen sedimenteren. Deze hypothese kan niet worden getoetst met de metingen omdat de sedimentatie in de gehele periode is gemeten die geen informatie geeft over de sedimentatiedynamiek gedurende de periode.

4 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

- In beide trajecten wordt gedurende alle meetperioden stikstof (N) vastgelegd met retentiepercentages van 5% tot 50% per meetperiode.
- In beide trajecten wordt in bijna alle meetperioden fosfor vastgelegd met retentiepercentages (R_p) oplopend tot bijna 60%. Uitzondering is de grote P nalevering in het genormaliseerde traject in de eerste meetperiode ($R_p = -60\%$).
- De retentie vertoont veel dynamiek zowel in als tussen de meetperioden.
- De P-retentie is dynamischer dan de N-retentie.
- Uit de metingen blijkt niet dat de retentie in het meanderende traject structureel groter is dan in het genormaliseerde traject.
- De kleinere verblijftijd van het water in het meanderende traject draagt mogelijk bij aan de kleinere retentie.
- De gemeten retentie wordt niet volledig verklaard door de gemeten procesbijdrages (denitrificatie, sedimentatie, plantopname). De metingen dekken de ruimtelijke en temporele variatie van de processen waarschijnlijk onvoldoende en niet alle processen kunnen worden gemeten, zoals de resuspensie. Ook onzekerheden bij het opstellen van de nutriëntenbalans dragen bij aan de mismatch, zoals de beperkte betrouwbaarheid van de afvoermetingen.
- De gemeten nutriëntenconcentraties (8-uurgemiddelden) hebben geen significante dag-nacht dynamiek. Mogelijk is de driemaaldaagse meetfrequentie te grof om een eventuele dynamiek te detecteren. Deze analyse geeft dus geen verdere aanknopingspunten over het plaatsvinden van biochemische processen waarvan je een dag-nacht dynamiek verwacht, zoals denitrificatie en plantopname.
- De bijdrage van nutriëntenopname door waterplanten aan de retentie is het grootst in meetperiode 2 met veel waterplanten en grote verblijftijden.
- De totale invloed van waterplanten op de retentie, die meer omvat dan alleen nutriëntenopname, kon niet worden bepaald. Omdat je deze totale invloed niet kan meten moet deze worden afgeleid uit de gemeten totale retentie. Dit was niet mogelijk omdat de bijdrage van de andere retentieprocessen niet goed kon worden vastgesteld en varieerde per periode. Dit laatste zorgt ervoor dat de retentieverschillen per periode niet alleen zijn toe te schrijven aan andere hoeveelheden waterplanten (maai-beheer).
- In het verlengde van bovenste punt kon het effect van het waterplantentype op de retentie ook niet worden bepaald. De retentieverschillen tussen het genormaliseerde en het meanderende traject konden namelijk niet alleen worden toegeschreven aan de andere waterplantensamenstelling van de trajecten.

Aanbevelingen

- Het effect van hermeanderen op de waterkwaliteit (nutriënten) zou nader moeten worden onderzocht. Anders dan vaak gedacht geven de meetresultaten aan dat hermeandering niet altijd leidt tot grotere verblijftijden en mogelijk dus ook niet tot een betere waterkwaliteit. Het vergroten van de verblijftijd door het verlengen van het stroompad weegt niet altijd op tegen de verblijftijdsverlaging door het weghalen van stuwen, zeker bij lage afvoeren zoals in de zomer. Het zuiverend vermogen is in de zomer in potentie het grootst maar wordt door de kortere verblijftijden mogelijk niet goed benut. De grote variaties in de verblijftijd in een meanderende waterloop (binnenbocht versus buitenbocht, ongelijker profiel dan recht beektraject) bemoeilijken de doorvertaling naar de waterkwaliteit.
- Het effect van hermeanderen op de waterkwaliteit kan nader worden onderzocht door de nutriëntenretentie van eenzelfde beektraject voor en na hermeandering (langdurig) te meten.

- De totale invloed van waterplanten op de retentie kun je niet direct meten maar moet worden afgeleid uit de nutriëntenbalans van de waterloop. Het vergelijken van vergelijkbare trajecten met dezelfde condities maar met verschillende waterplantenhoeveelheden of -types biedt het meeste perspectief. Verschillen in de retentie kunnen dan worden toegeschreven aan de waterplanten. Denk bijvoorbeeld aan proefsloten of aan poldersloten in eenzelfde gebied.
- Dit onderzoek geeft aan dat sedimentatie en resuspensie een belangrijke bijdrage leveren aan de retentie. Het verdient een aanbeveling om een methode te ontwikkelen waarmee resuspensie kan worden gemeten. In combinatie met hoogfrequente sedimentatiemetingen geeft dit meer inzicht in het plaatsvinden van beide processen en kan een mogelijk verband met de stroomsnelheid worden onderzocht.

Literatuur

Boiten, W., A. Dommerholt en M. Soet, 1995. Handboek debietmeten in open waterlopen. Vakgroep Waterhuishouding, rapport 51, Wageningen Universiteit.

Bormann, F.H., G.E. Likens, T.G. Siccama, R.S. Pierce, R. S. en J.S. Eaton, 1974. The export of nutrients and recovery of stable conditions following deforestation at Hubbard Brook. *Ecol. Monogr.* 44: 255-277.

Brenner, M., D.A. Hodell, J.H. Curtis, W.F. Kenney, B. Gu, J.M. Newman en B.W. Leyden, 2006. Mechanisms for organic matter and phosphorus burial in sediments of a shallow, subtropical, macrophyte-dominated lake. *Journal of Paleolimnology*, vol 35: 129-148.

Brinkman, A.C. en W. van Raaphorst, 1986. De fosfaathuishouding van het Veluwemeer. Ph.D. thesis, Technical University of Twente.

Burton, T.M., R.R. Turner en R.C. Harriss, 1977. Suspended and dissolved solids exports from three north Florida watersheds in contrasting land use. In: Correll, D.L. (eds.) *Watershed research in Eastern North America*, Vol. 2, pp. 471-485. Chesapeake Bay Center for Environmental Studies, M. D.

CTV, Werkgroep herziening cultuurtechnisch vademecum, 1988 en 2000. *Cultuur Technisch Vademecum*. Cultuurtechnische Vereniging, Utrecht.

Dalsgaard, T., L.P. Nielsen, V. Brotas, P. Viaroli, G.J.C. Underwood, D.B. Nedwell, K. Sundbäck, S. Rysgaard, A. Miles, M. Bartoli, L.F. Dong, D.C.O. Thornton, O.L.D.M. G. Castaldelli en N. Risgaard-Petersen, 2000. Final Scientific report for NICE Nitrogen Cycling in Estuaries Commision of the European Communities DC XII, Brussels.

Eriksson, P.G., S.E.B. Weisner, 1997. Nitrogen removal in a wastewater reservoir: The importance of denitrification by epiphytic biofilms on submersed vegetation. *Journal of Environmental Quality*, vol. 26, pp. 905-910.

Gerven, L.P.A. van, A.A.M.F.R. Smit, P. Groenendijk, F.J.E. van der Bolt en J.J.M. de Klein, 2009. Retentieschatting van N en P in het oppervlaktewater op verschillende schaalniveaus. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1848.

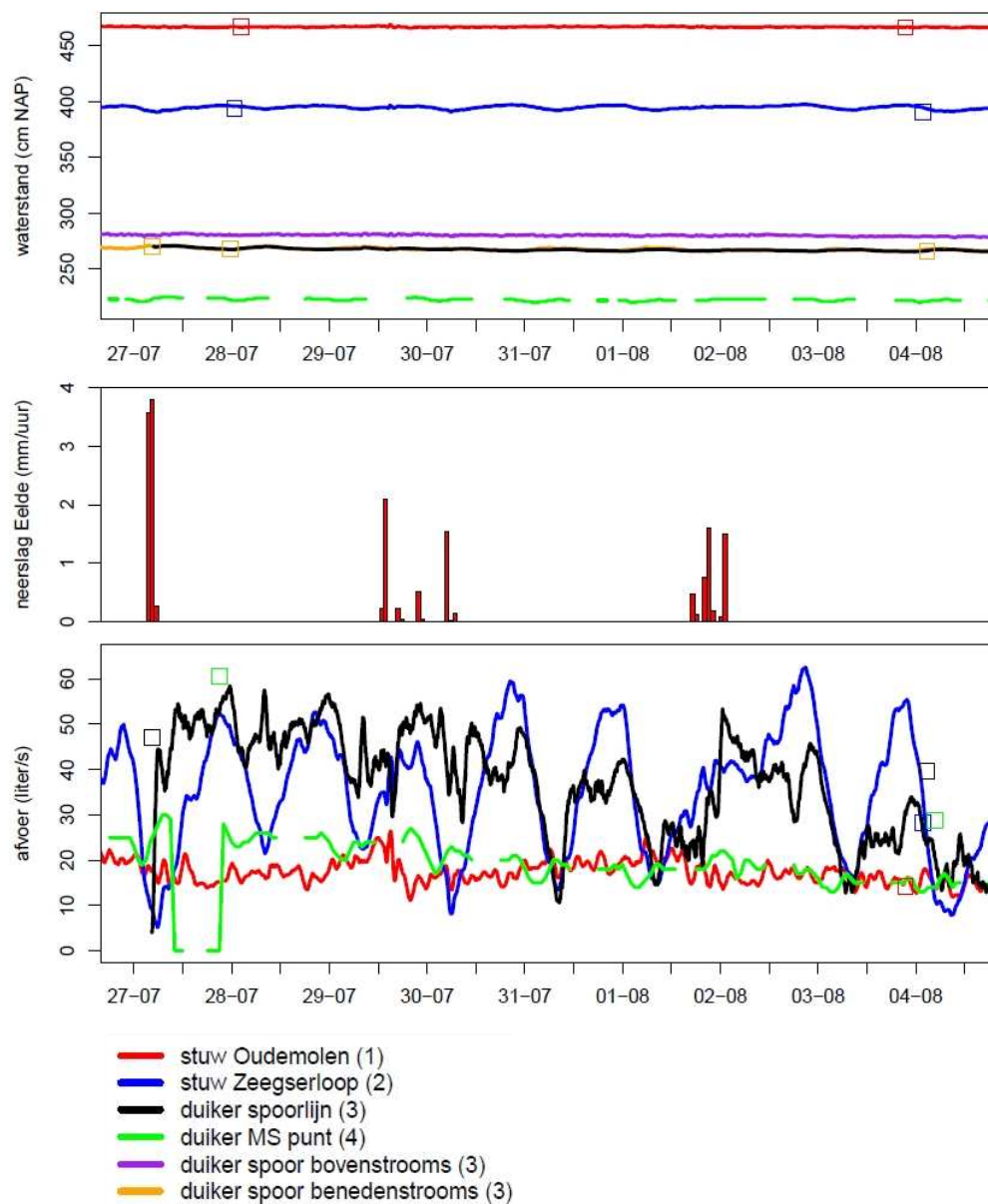
Gumbricht, T., 1993. Nutrient removal processes in freshwater submersed macrophytes systems. *Ecol. Eng.*, Vol. 2, pp. 1-30.

Janse, J.H., 2005. Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches. PhD thesis Wageningen University, Wageningen. ISBN 90-8504-214-3.

Kana, T.M., M.B. Sullivan, J.C. Cornwell en K. Groszkowski, 1998. Denitrification in estuarine sediments determined by membrane inlet mass spectrometry. *Limnology and Oceanography* Vol. 43, pp. 334-339.

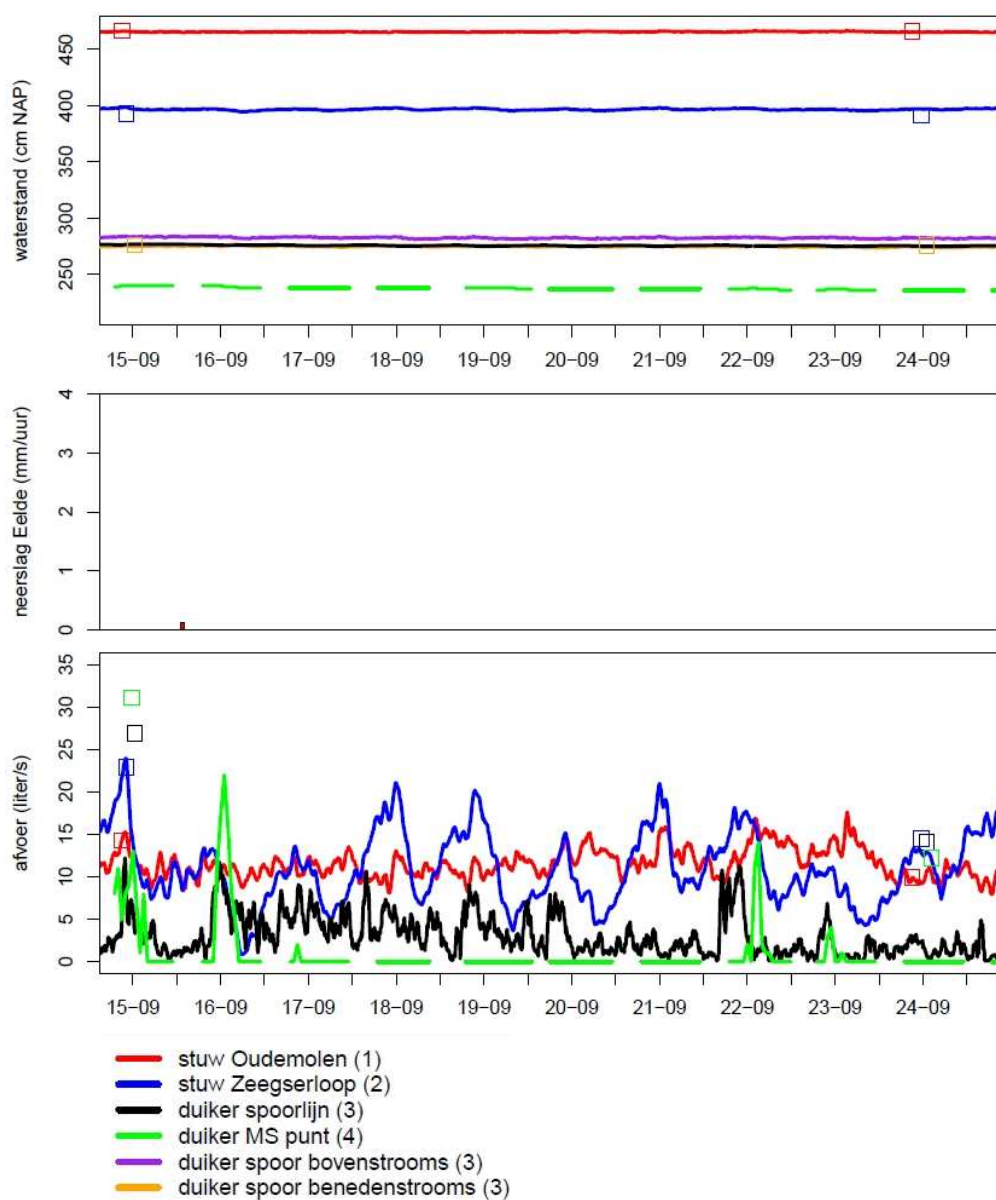
- Klein, J. de, 2008. From ditch to delta, nutrient retention in running waters. Thesis, Wageningen University.
- Kruskal, W.H. en W.A. Wallis, 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47 (260): pp. 583-621.
- Ongley, E.D. en M.C. Bynoe. 1982. Physical and geochemical characteristics of suspended solids, Wilton Creek, Ontario. *Hydrobiologia* 91, no. 1: 41-57.
- Pierce, J. W. en F.T. Dulong, 1977. Discharge of suspended particulates from Rhode River subwatersheds. In: Correll, D. L. (ed.) *Watershed Research in Eastern North America*, Vol. 2, pp. 531-553. Chesapeake Bay Center for Environmental Studies, MD.
- Roelsma, J., T.P. van Tol-Leenders, F.J.E. van der Bolt, R.J. Löschner-Wolleswinkel, L.V. Renaud, J.D. Schaap, O.F. Schoumans, C. Siderius, H. van der Heide en K. van der Molen, 2008. *Systeemanalyse voor het stroomgebied van de Drentse Aa Fase 3*. Wageningen, Alterra-rapport 1764.
- Sival, F.P., H. ten Beest en R. Engelbertink, 2010. *Sedimentatie en nutriëntenaanvoer in kleine rivier- en beekdalgraslanden*. Alterra rapport 1064.
- Sondergaard, M., P.J. Jensen en E. Jeppesen, 2003. Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia* 506-509, 135-145.

Bijlage 1 Waterafvoeren



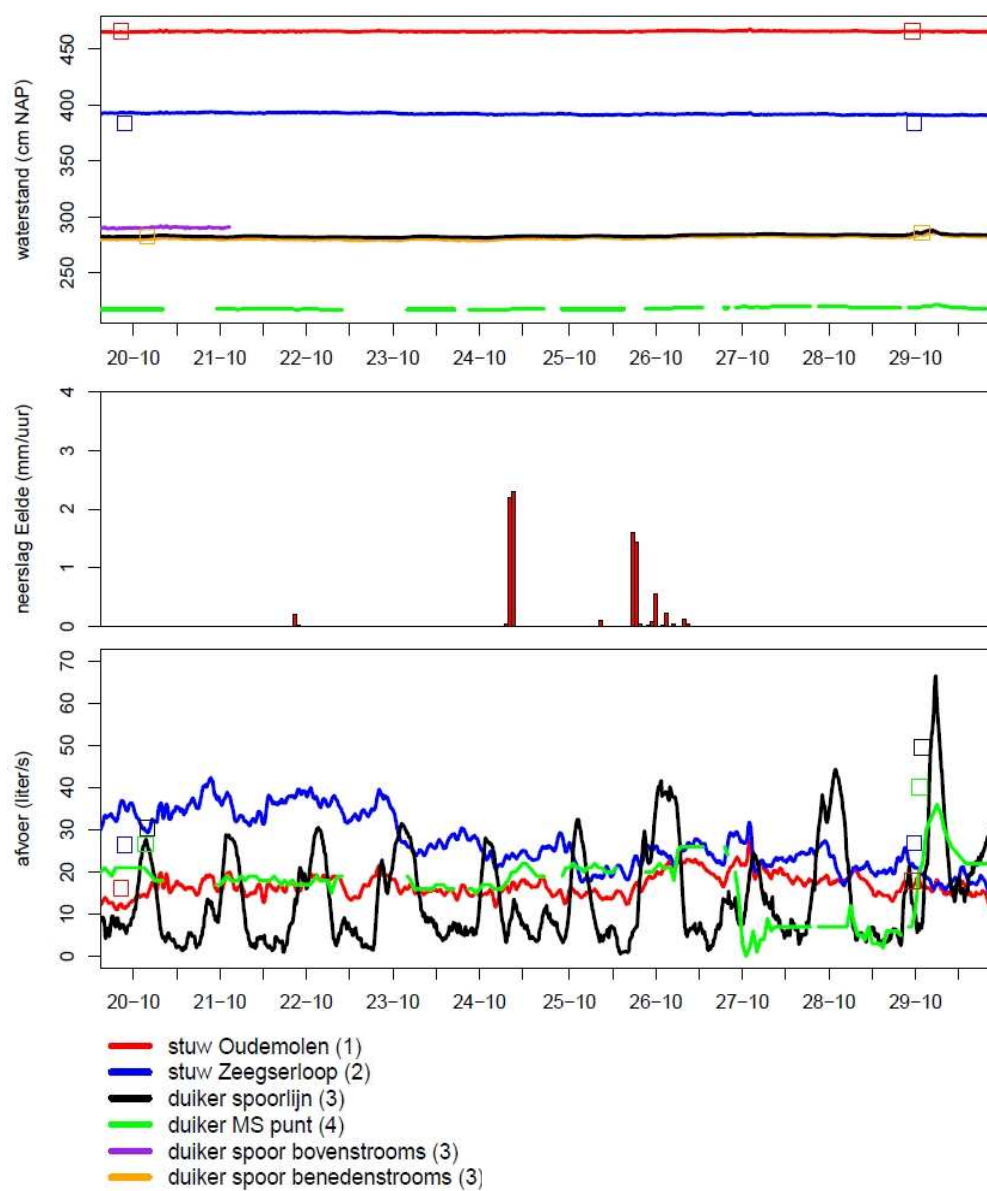
Figuur 38

Gemeten waterstanden (boven), neerslag op KNMI station Eelde (midden) en waterafvoeren in meetperiode 1. Vierkantjes representeren controlemetingen.



Figuur 39

Gemeten waterstanden (boven), neerslag op KNMI station Eelde (midden) en waterafvoeren in meetperiode 2. Vierkantjes representeren controlemetingen.



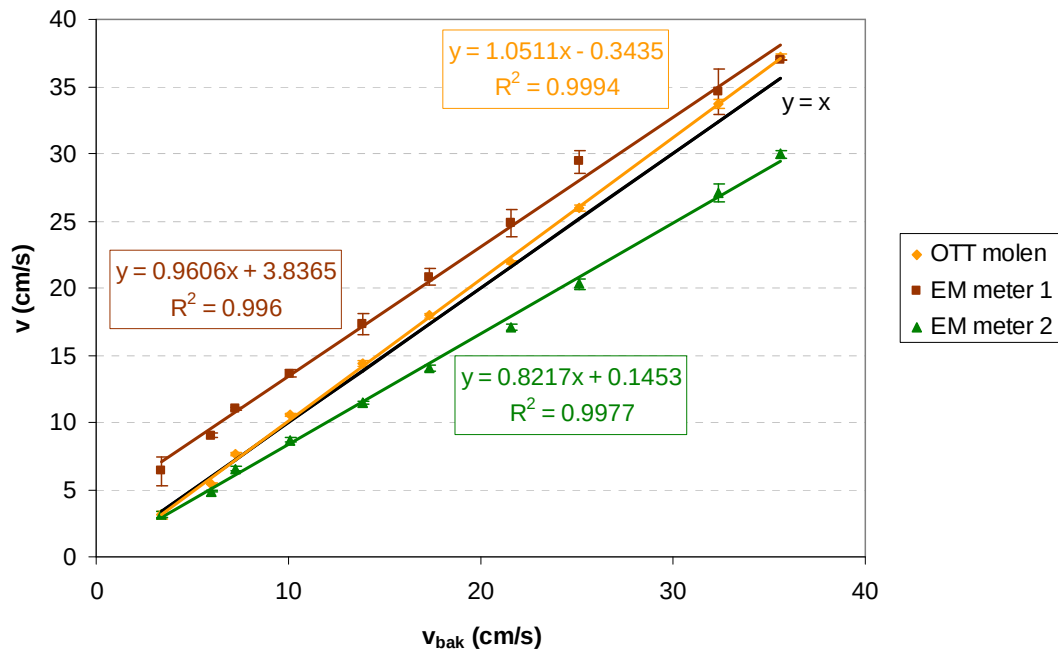
Figuur 40

Gemeten waterstanden (boven), neerslag op KNMI station Eelde (midden) en waterafvoeren in meetperiode 3. Vierkantjes representeren controlemetingen.

Bijlage 2 Nauwkeurigheid stroomsnelheidsmeters

Gedurende de meetcampagne zijn twee elektromagnetische stroomsnelheidsmeters gebruikt o.a. om de door de meetopstellingen gemeten afvoeren (meanderende traject) handmatig te controleren. De ene meter (EM_meter 1) is gebruikt in meetperiode 1 en aan het begin van meetperiode 2. De andere meter (EM_meter 2) is gebruikt aan het einde van meetperiode 2 en in meetperiode 3. In het hydraulica laboratorium (leerstoolgroep Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer, Wageningen Universiteit, Wageningen UR) is in een stroombak onder gecontroleerde omstandigheden de stroomsnelheid gemeten met deze meters, alsmede met een OTT molen. De metingen zijn uitgevoerd op een hoogte van 40% van de waterkolomhoogte, boven de bodem van de bak. Deze hoogte representeert bij benadering de gemiddelde stroomsnelheid van het dwarsprofiel (Boiten et al., 1995).

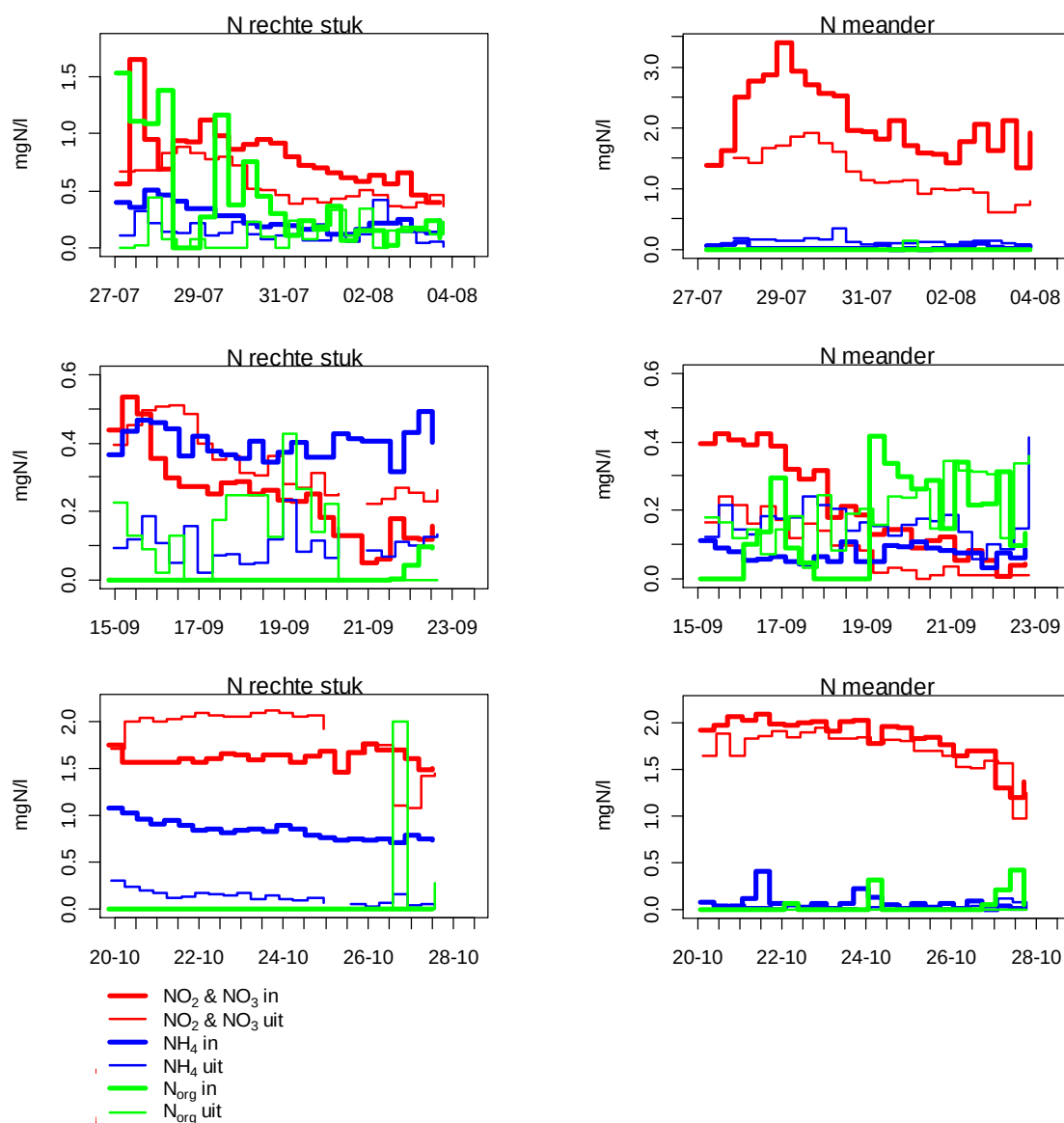
Figuur 41 geeft de resultaten in vergelijking met de berekende gemiddelde stroomsnelheid in de stroombak. EM_meter 1 meet continu te hoge stroomsnelheden, al neemt het verschil af naarmate de stroomsnelheid toeneemt. De gemeten stroomsnelheden van deze meter hebben de grootste standaarddeviatie. EM_meter 2 meet te lage stroomsnelheden en heeft bij alle stroomsnelheden ongeveer dezelfde relatieve afwijking. De OTT molen wijkt het minste af van de berekende stroomsnelheden. De vergelijkingen die volgen uit de lineaire regressie (Figuur 41) zijn gebruikt om de gemeten stroomsnelheden in het veld te corrigeren.



Figuur 41

Gemeten stroomsnelheden in een stroombak onder gecontroleerde omstandigheden. De metingen zijn uitgezet tegen de berekende stroomsnelheid (gemiddeld over profiel) in de bak. De standaarddeviatie is weergegeven alsmede de trendlijn (lineaire regressie).

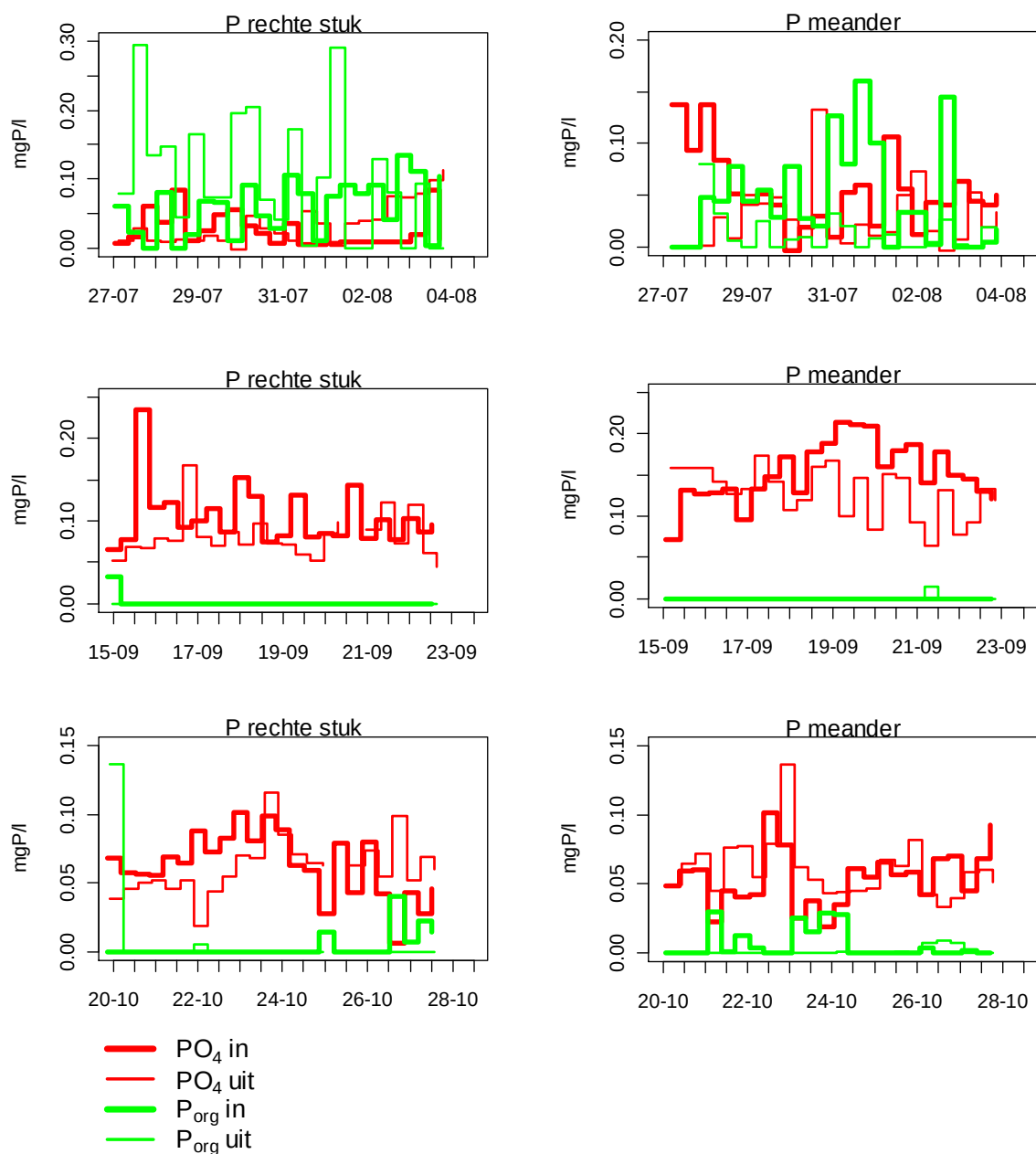
Bijlage 3 Nutriëntenspeciëatie (concentraties en vrachten)



Figuur 42

Het voorkomen van stikstof (concentratie) in verschillende vormen (anorganisch en organisch²) voor het genormaliseerde traject (links) en het meanderende traject (rechts) voor de drie meetperioden. Het betreft de concentraties op het instroompunt en het uitstroompunt. Datumlabels zijn geplaatst bij het middaguur.

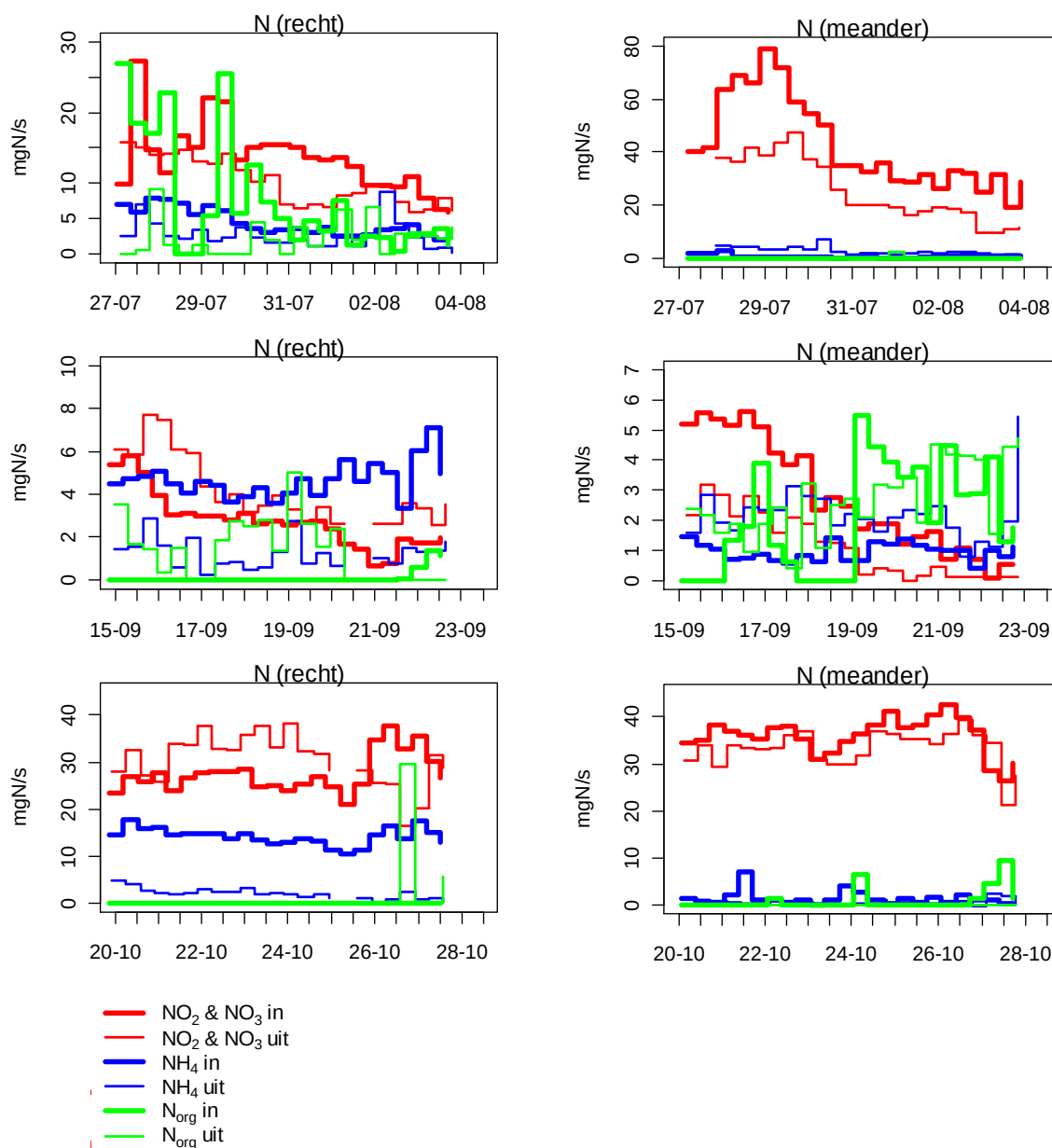
² Met de organische fractie wordt in dit rapport het verschil tussen de totale fractie en de opgeloste anorganische fractie bedoeld. Gebonden anorganisch N of P kan echter ook bijdragen aan dit verschil.



Figuur 43

Het voorkomen van fosfor (concentratie) in verschillende vormen (anorganisch en organisch³) voor het genormaliseerde traject (links) en het meanderende traject (rechts) voor de drie meetperioden. Het betreft de concentraties op het instroompunt en het uitstroompunt. Datumlabels zijn geplaatst bij het middaguur.

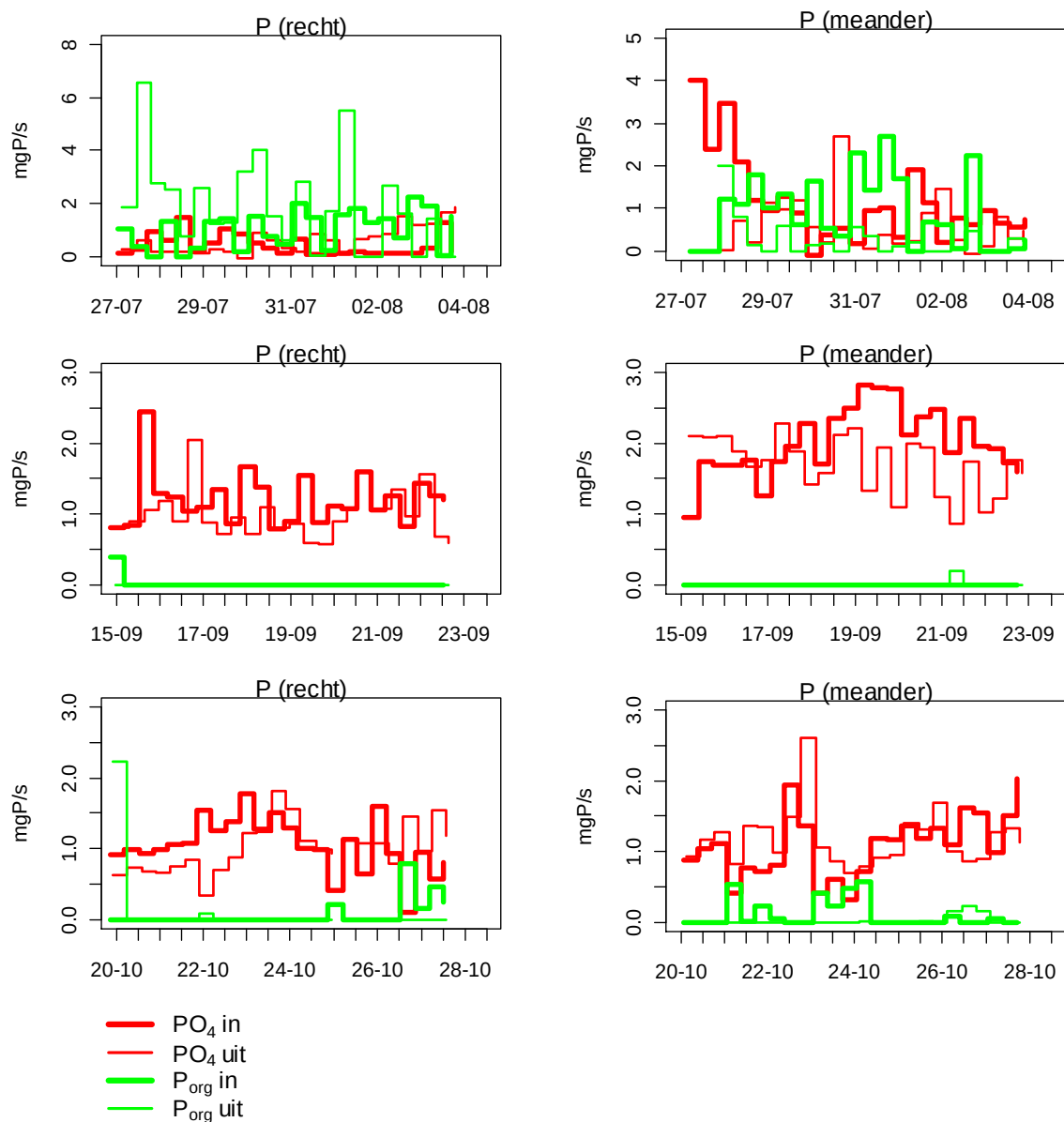
³ Met de organische fractie wordt in dit rapport het verschil tussen de totale fractie en de opgeloste anorganische fractie bedoeld. Gebonden anorganisch N of P kan echter ook bijdragen aan dit verschil.



Figuur 44

Het voorkomen van de stikstofvracht in verschillende vormen (anorganisch en organisch⁴) voor het genormaliseerde traject (links) en het meanderende traject (rechts) voor de drie meetperioden. Het betreft de inkomende vrachten en de uitgaande vrachten. Datums zijn geplaatst bij het middaguur

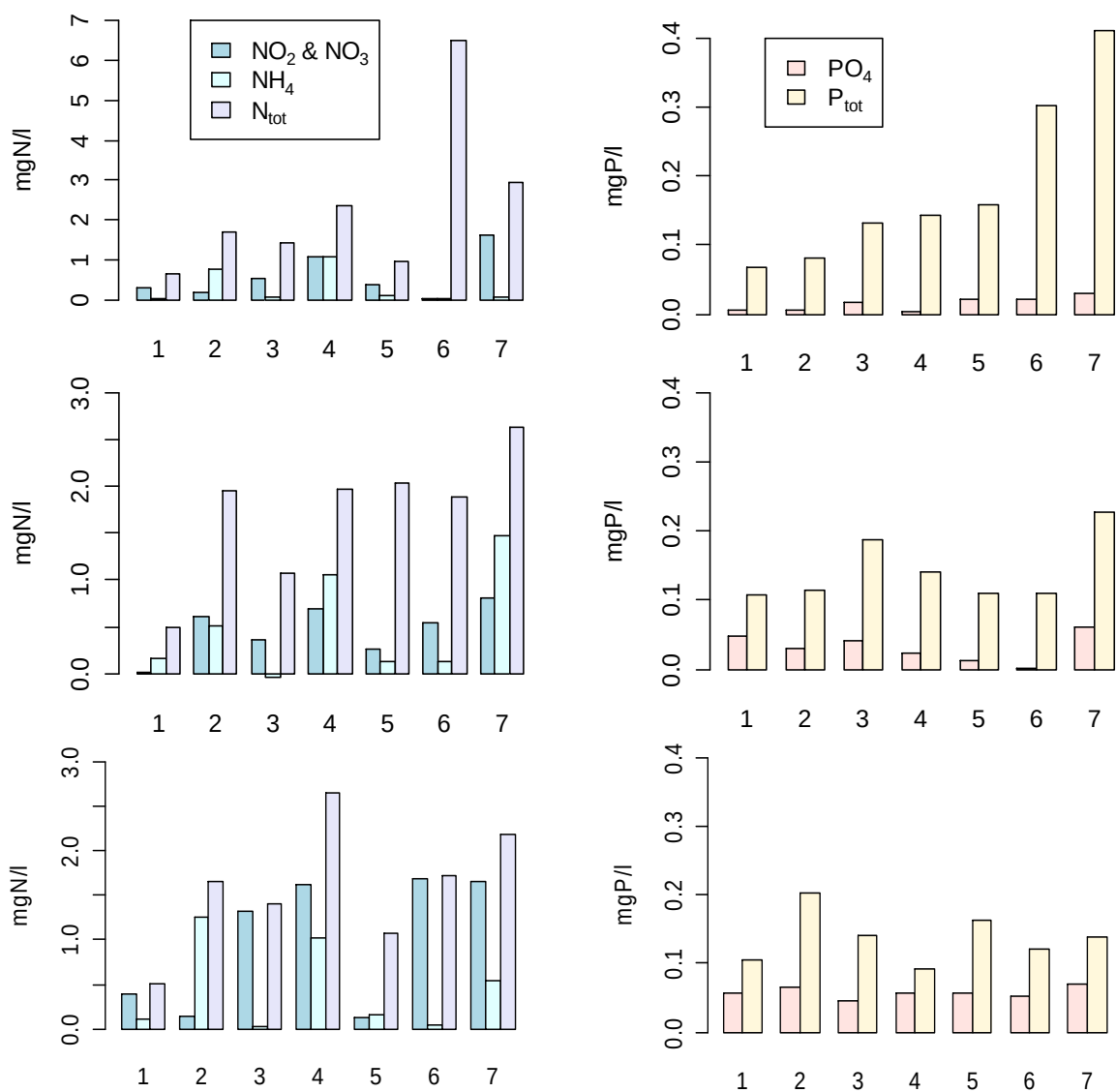
⁴ Met de organische fractie wordt in dit rapport het verschil tussen de totale fractie en de opgeloste anorganische fractie bedoeld. Gebonden anorganisch N of P kan echter ook bijdragen aan dit verschil.



Figuur 45

Het voorkomen van de fosforvrucht in verschillende vormen (anorganisch en organisch⁵) voor het genormaliseerde traject (links) en het meanderende traject (rechts) voor de drie meetperioden. Het betreft de inkomende vrachten en de uitgaande vrachten. Datumlabels zijn geplaatst bij het middaguur.

⁵ Met de organische fractie wordt in dit rapport het verschil tussen de totale fractie en de opgeloste anorganische fractie bedoeld. Gebonden anorganisch N of P kan echter ook bijdragen aan dit verschil.



Figuur 46

Nutriëntenconcentraties van de zijlopen (Figuur 8) in meetperiode 1 (boven; 4 aug), meetperiode 2 (midden; 15 sep) en meetperiode 3 (beneden; 20 okt), uitgesplitst naar de verschillende vormen.

Bijlage 4 Invloed van de zijloopjes op de retentie

Figuur 47 geeft schematisch weer hoe de bijdrage van de zijloopjes kan worden verwerkt in de water- en nutriëntenbalans van het genormaliseerde traject. De grote zijloop is niet meegenomen omdat deze uitmondt benedenstrooms van de automatische watermonsternemer (ISCO) op het uitstroompunt. De nutriëntenvracht vanuit de zijloopjes is gelijk aan de nutriëntenconcentratie maal het debiet van de zijloopjes. De totale nutriënteninput in het traject is de som van de inkomende vracht bij het instroompunt en de vracht van de zijloopjes.

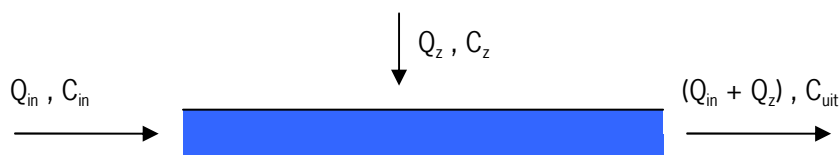
De afvoeren en nutriëntenconcentraties van de zijloopjes zijn gedurende elke meetperiode op één moment bepaald. Er is aangenomen dat deze gemeten bijdrage hetzelfde blijft gedurende de gehele meetperiode. Voor perioden met constante weersomstandigheden (zoals meetperiode 2) is deze aanname meer valide dan in perioden met wisselvallig weer. De eenmalig gemeten afvoer van de zijloopjes bedraagt in meetperiode 1 12% van de gemiddelde instroom. In meetperiode 2 is dit 23% en in meetperiode 3 is de waterbijdrage 15%. De gemeten afvoeren per zijloop zijn weergegeven in Tabel 18. De waterafvoeren in combinatie met de nutriëntenconcentraties van de zijlopen (die in het algemeen iets hoger zijn dan in de hoofdloop) bepalen de invloed van de zijlopen.

De absolute retentie (R_a) en de relatieve retentie (R_f) worden als volgt beïnvloed door de zijloopjes:

$$R_a = L_{in} - L_{uit} = (Q_{in} C_{in} + Q_z C_z) - (Q_{in} + Q_z) C_{uit} \quad (9)$$

$$R_f = \frac{L_{in} - L_{uit}}{L_{in}} * 100\% = \frac{(Q_{in} C_{in} + Q_z C_z) - (Q_{in} + Q_z) C_{uit}}{(Q_{in} C_{in} + Q_z C_z)} * 100\% \quad (10)$$

L_{in} en L_{uit} zijn de inkomende en uitgaande vrachten. Verder zijn de termen uit Figuur 47 gebruikt. Wanneer het water in de zijloopjes dezelfde concentratie heeft als het instroomwater ($C_z = C_{in}$) heeft het wel of niet meenemen van de zijloopjes geen effect op het retentiepercentage. De absolute retentie verandert in dit geval wel, omdat er via de zijloopjes (meer) nutriënten in het traject komen.



Figuur 47

Invloed van de zijlopen op de nutriënten- en waterbalans in het genormaliseerde traject.

C = nutriëntenconcentratie, Q = debiet, in = instroompunt, z = zijlopen, uit = uitstroompunt.

Tabel 17 geeft het effect van de zijlopen op de retentie weer. In alle gevallen neemt zowel de absolute als de relatieve retentie toe omdat de zijlopen gemiddeld hogere nutriëntenconcentraties hebben dan het instroomwater. Uitzondering is de afnemende N retentie in meetperiode 3. De zijlopen hebben in deze periode gemiddeld een lagere stikstofconcentratie dan de hoofdloop. De relatieve stikstofretentie kent een absolute toename van $6.9 \pm 10.6\%$ gemiddeld over de meetperioden. Voor de relatieve fosforretentie bedraagt de absolute toename $10.5 \pm 9.6\%$. De absolute retentie neemt gemiddeld over de meetperioden toe met $74 \pm 80 \text{ mg/m}^2/\text{dag}$ voor stikstof en $3.8 \pm 0.7 \text{ mg/m}^2/\text{dag}$ voor fosfor.

Tabel 17

Effect van het meenemen van de zijloopjes (op grond van de eenmalige metingen) op de retentie van stikstof en fosfor in het genormaliseerde traject.

Meetperiode	N-retentie				P-retentie			
	zonder zijlopen		met zijlopen		zonder zijlopen		met zijlopen	
	%	mg/m ² /dag (gem)	%	mg/m ² /dag (gem)	%	mg/m ² /dag (gem)	%	mg/m ² /dag (gem)
1	49,1	375	54,4	518	-57,6	-23,2	-36,5	-19,0
2	22,9	48	41,1	141	22,6	7,8	25,1	10,8
3	15,3	171	12,4	157	10,8	3,5	18,6	7,7

Tabel 18

Gemeten afvoeren van de zijloopjes in het genormaliseerde traject (voor locaties zie Figuur 8).

Zijloop	Gemeten waterafvoer (l/s)		
	4 aug (10:30 - 12:20)	15 sep (13:45 - 15:05)	20 okt (10:50 - 12:15)
1	0,1	0,3	0,3
2	0,1	0,3	0,3
3	0,2	0,2	0,1
4	0,2	0,8	1,2
5	0,7	0,5	0,4
6	0,8	0,6	0,3
7	nihil	nihil	nihil

Bijlage 5 Tabellen over retentie en denitrificatie

Tabel 19

Berekende retentie in beide trajecten, uitgedrukt als percentage van de inkomende vrachten en in absolute dagelijkse hoeveelheden (gem=gemiddelde, std=standaarddeviatie).

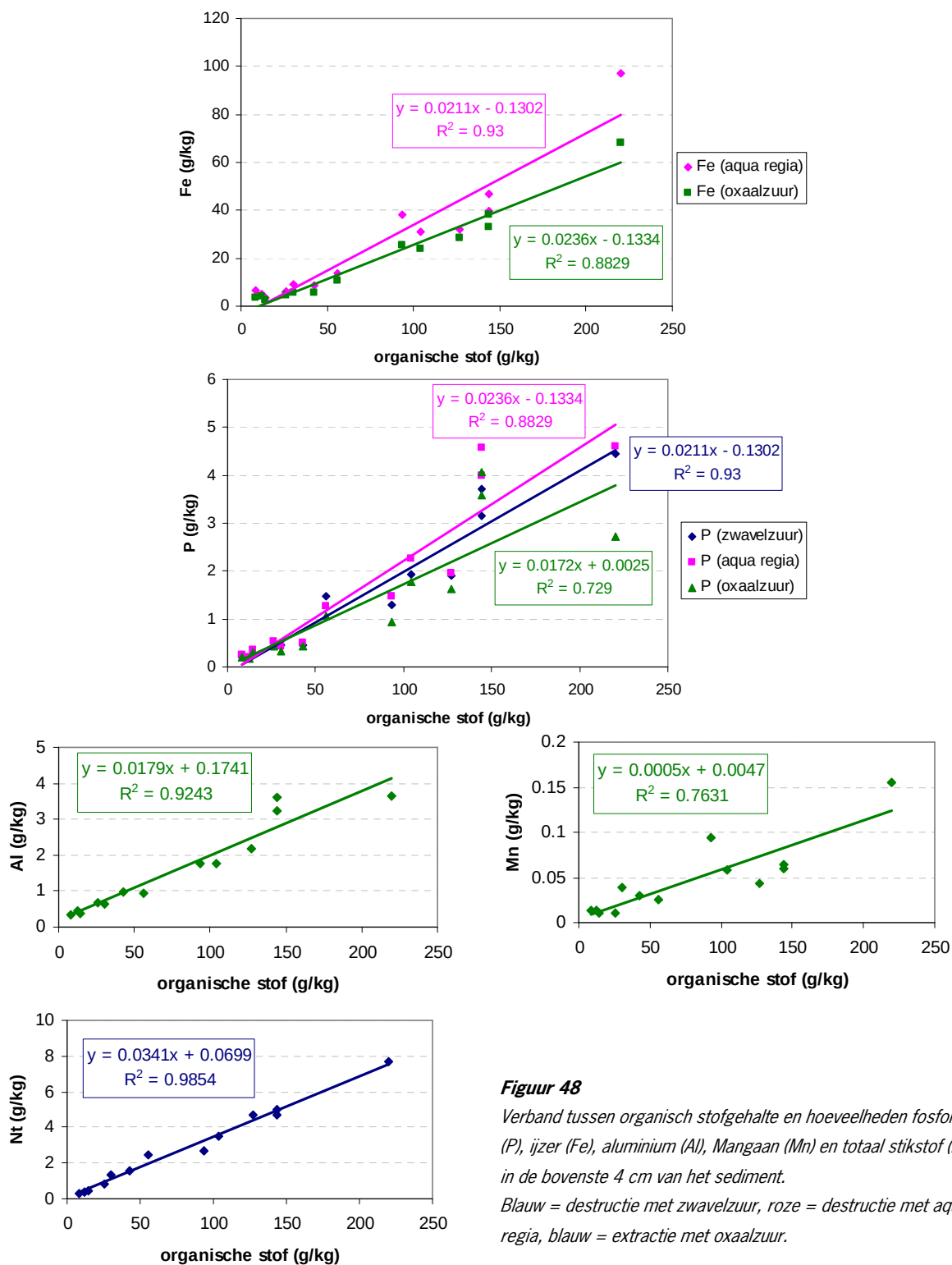
Meetperiode		N retentie			P retentie		
		%	mg/m ² /dag (gem)	mg/m ² /dag (std)	%	mg/m ² /dag (gem)	mg/m ² /dag (std)
Recht	1	49,1	375	263	-57,6	-23,2	6,0
	2	22,9	48	45	22,6	7,8	3,6
	3	15,3	171	62	10,8	3,5	5,0
Meander	1	37,4	712	241	58,0	49,6	45,2
	2	4,6	12	61	19,0	17,1	25,3
	3	10,9	185	50	-4,9	-2,5	10,3

Tabel 20

Gemeten denitrificatiesnelheden op de locaties weergegeven in Figuur 14 (gem = gemiddeld, std = standaarddeviatie).

Datum	Denitrificatie D1				Denitrificatie D2			
	$\mu\text{molN/m}^2/\text{uur}$		mgN/m ² /dag		mgN/m ² /dag		mgN/m ² /dag	
	gem	std	gem	std	gem	std	gem	std
28 jul	31,9	17,68	10,72	5,94	117,78	11,18	39,57	3,76
15 sep	77,89	5,58	26,17	1,87	14,17	2,01	4,76	0,68
20 okt	22,84	18,68	7,67	6,28	18,61	7,27	6,25	2,44

Bijlage 6 Sedimentmonsters



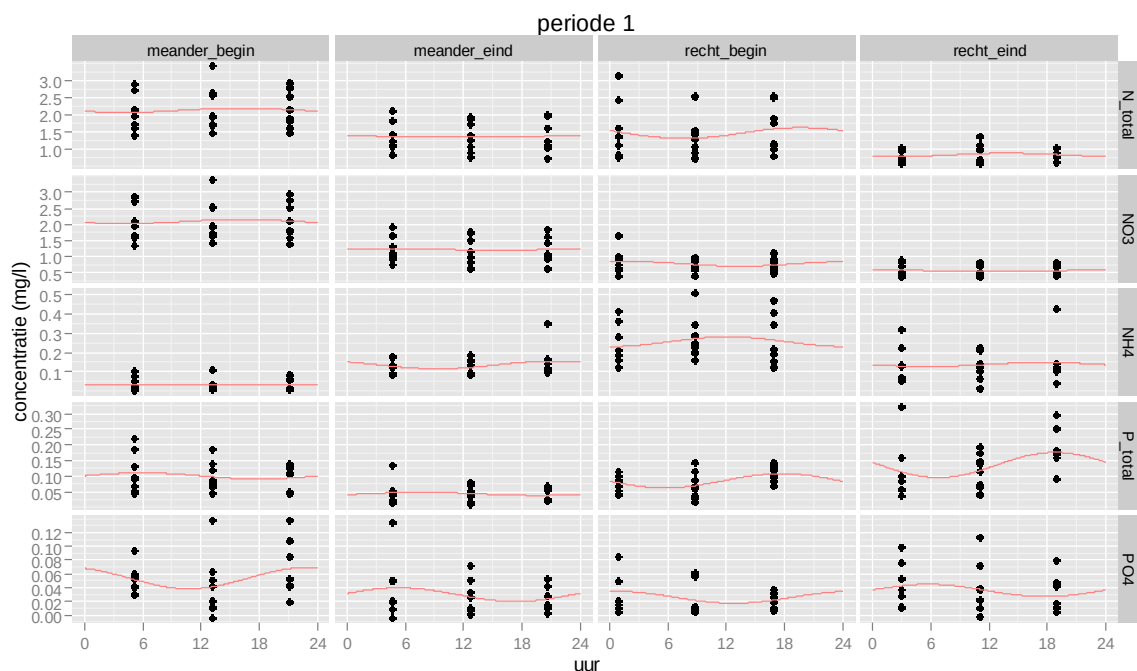
Figuur 48

Verband tussen organisch stofgehalte en hoeveelheden fosfor (P), ijzer (Fe), aluminium (Al), Mangaan (Mn) en totaal stikstof (Nt) in de bovenste 4 cm van het sediment.

Blauw = destructie met zwavelzuur, roze = destructie met aqua regia, blauw = extractie met oxaalzuur.

Bijlage 7 Dag-nacht dynamiek van nutriëntenconcentraties

De data zijn geanalyseerd op dag-nacht dynamiek door de 8-uurgemiddelde nutriëntenconcentraties te fitten met een sinusfunctie (Figuur 49 t/m Figuur 51). Tevens zijn de data onderworpen aan de Kruskal-Wallis test (Kruskal en Wallis, 1952). De bijbehorende p-waarden geven aan in hoeverre de verschillen binnen de dag significant zijn (Tabel 21 t/m Tabel 23). In de test worden verschillende groepen van metingen met elkaar vergeleken. In ons geval behoren de metingen die dezelfde periode van acht uur gedurende de dag representeren tot één groep. Hoe lager de p-waarde hoe kleiner de kans dat de groepen binnen de dag (in ons geval 3) tot dezelfde populatie behoren en des te signifikanter is de dag-nacht dynamiek. Bij p-waarden lager dan 0.05 wordt de nul-hypothese vaak verworpen wat wil zeggen dat de data een significante trend of dynamiek hebben. In Tabel 21 t/m Tabel 23 zijn p-waarden kleiner dan 0.25 uitgelicht. Er zijn geen p-waarden kleiner dan 0.05. Dit wil zeggen dat de nutriëntenconcentraties in geen enkele situatie een significante dag-nacht dynamiek hebben.



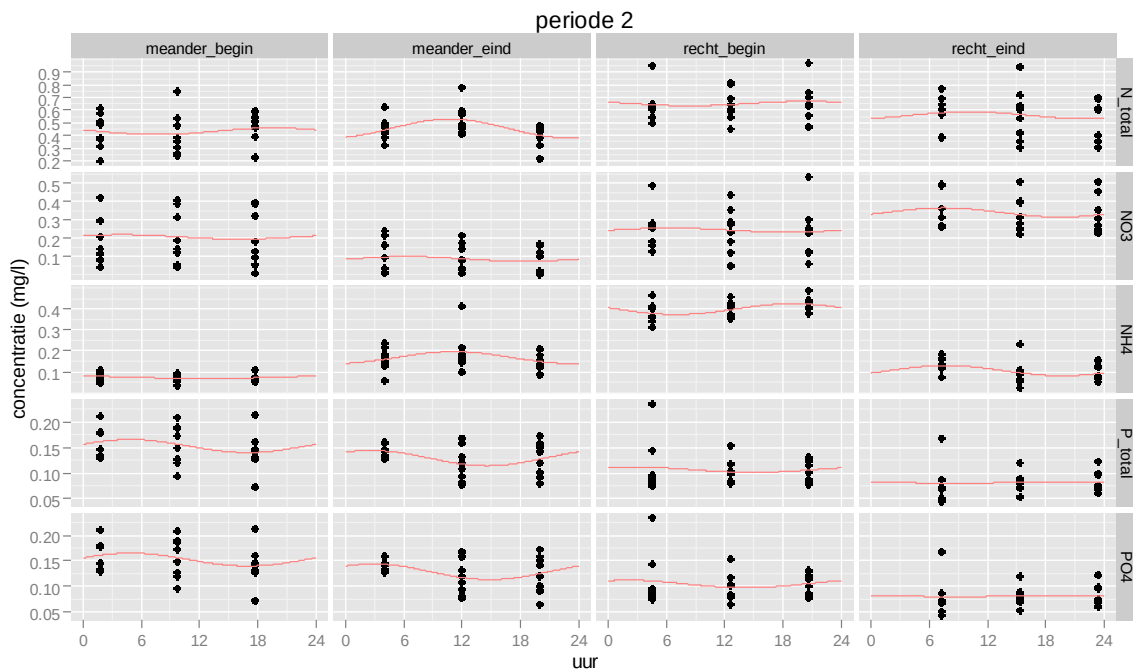
Figuur 49

Dag-nacht dynamiek in de gemeten 8-uurgemiddelde nutriëntenconcentraties in periode 1 geïllustreerd met een (gefite) sinusfunctie.

Tabel 21

P-waardes volgens uit de Kruskal-Wallis test voor de metingen in periode 1.

Stof	meander_begin	meander_eind	recht_begin	recht_eind
N_total	0,99	0,98	0,75	0,73
NO ₃	0,95	0,99	0,72	0,95
NH ₄	0,86	0,83	0,61	0,91
P_total	0,91	0,93	0,06	0,11
PO ₄	0,25	0,93	0,72	0,52

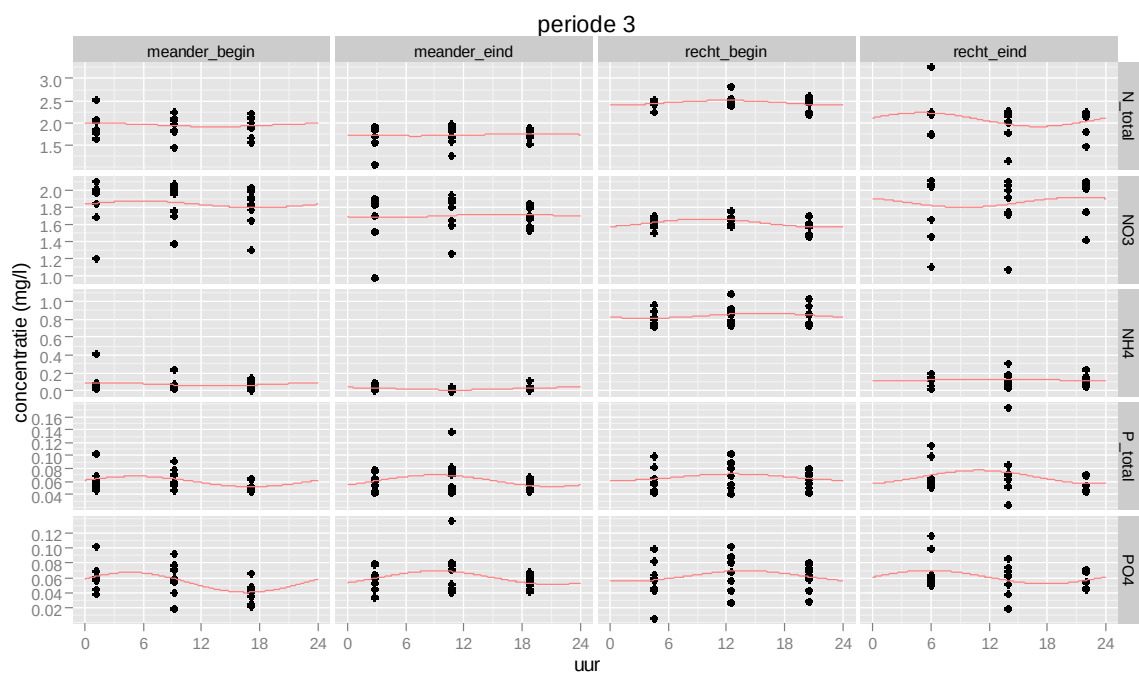
**Figuur 50**

Dag-nacht dynamiek in de gemeten 8-uurgemiddelde nutriëntenconcentraties in periode 1 geïllustreerd met een (gefitte) sinusfunctie.

Tabel 22

P-waardes volgens uit de Kruskal-Wallis test voor de metingen in periode 2.

Stof	meander_begin	meander_eind	recht_begin	recht_eind
N_total	0,67	0,15	0,78	0,81
NO ₃	0,91	0,79	0,86	0,59
NH ₄	0,76	0,46	0,11	0,11
P_total	0,52	0,33	0,73	0,69
PO ₄	0,52	0,34	0,73	0,69



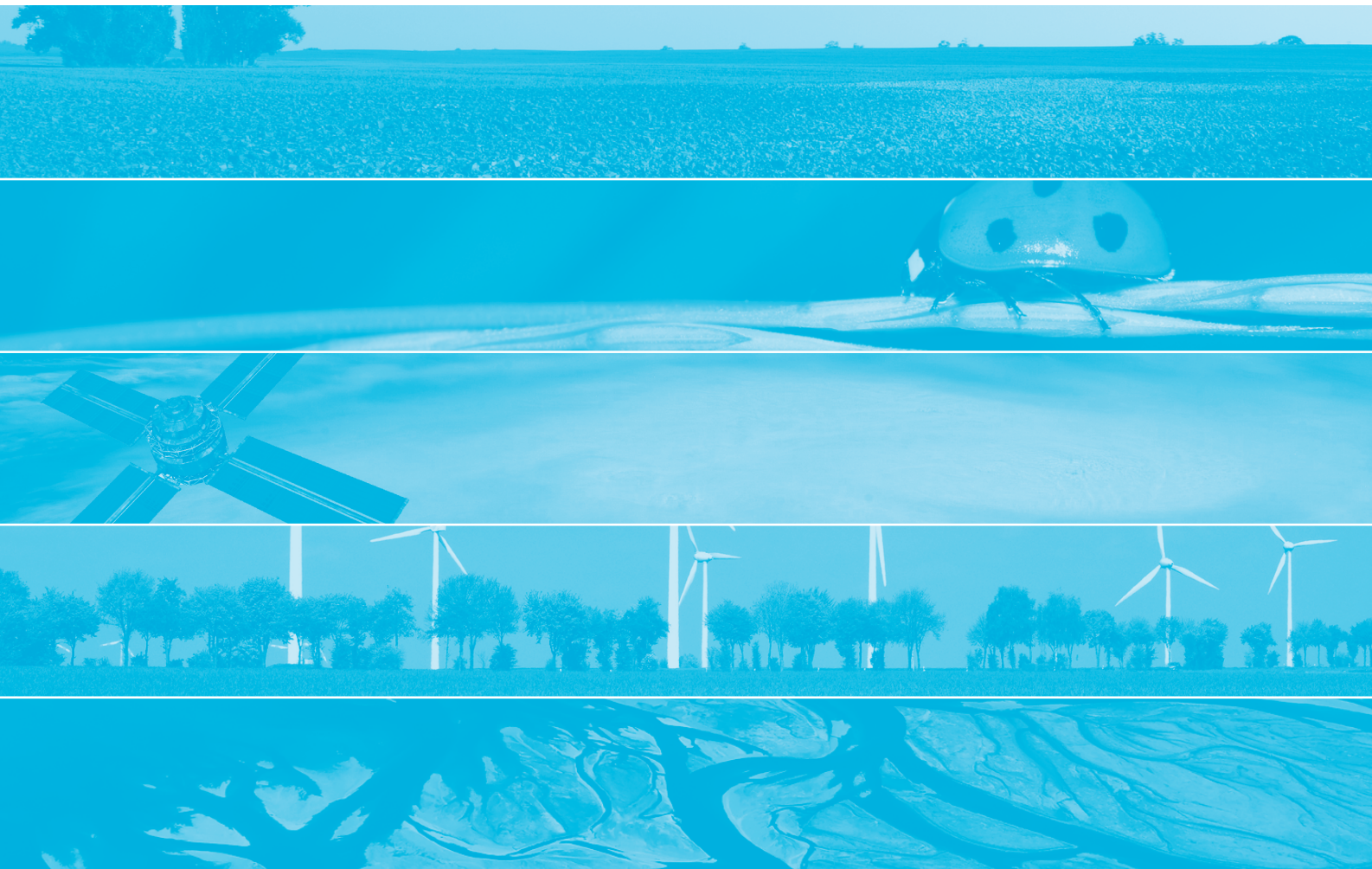
Figuur 51

Dag-nacht dynamiek in de gemeten 8-uurgemiddelde nutriëntenconcentraties in periode 3 geïllustreerd met een (gefitte) sinusfunctie.

Tabel 23

P-waardes volgens uit de Kruskal-Wallis test voor de metingen in periode 3.

Stof	meander_begin	meander_eind	recht_begin	recht_eind
N_total	1,00	0,80	0,58	0,62
NO ₃	0,62	0,88	0,11	0,93
NH ₄	0,97	0,13	0,61	0,89
P_total	0,09	0,59	0,76	0,52
PO ₄	0,07	0,54	0,68	0,64



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

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

Meer informatie: www.alterra.wur.nl