



Memo

Aan
de heer A. Remmelzwaal

| | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Datum | Ons kenmerk | Aantal pagina's |
| 10 november 2019 | 11204657-002-ZWS-0001 | 46 |
| Contactpersoon | Doorkiesnummer | E-mail |
| Ruurd Noordhuis | +31(0)88 335 7768 | Ruurd.Noordhuis@deltares.nl |

Onderwerp
Survey draadvormige zwavelbacteriën Markermeer

Survey draadvormige zwavelbacteriën Markermeer 2019

Deze memo beschrijft de resultaten van een inventarisatie van het voorkomen en de effecten van draadvormige zwavelbacteriën van de genera *Thioploca* en *Beggiatoa* in het Markermeer. Dit onderzoek is uitgevoerd naar aanleiding van vermoedens van een mogelijk belangrijke rol van deze bacteriën in het voedselweb op basis van enkele veldwaarnemingen, en van een mogelijke betekenis voor de slibhuishouding in het meer. Het werk is uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat in het kader van de Werkgemeenschap Levend Markermeer, in samenwerking met de Universiteit van Amsterdam (H.G. van de Geest) en Hogeschool Zeeland (L. Kahl). Het is tevens gelieerd aan het "Helder Troebel Plan", een werkpakket binnen het Kennis en Innovatieprogramma Marker Wadden (KIMA) dat zich richt op de relatie tussen slib en biota.

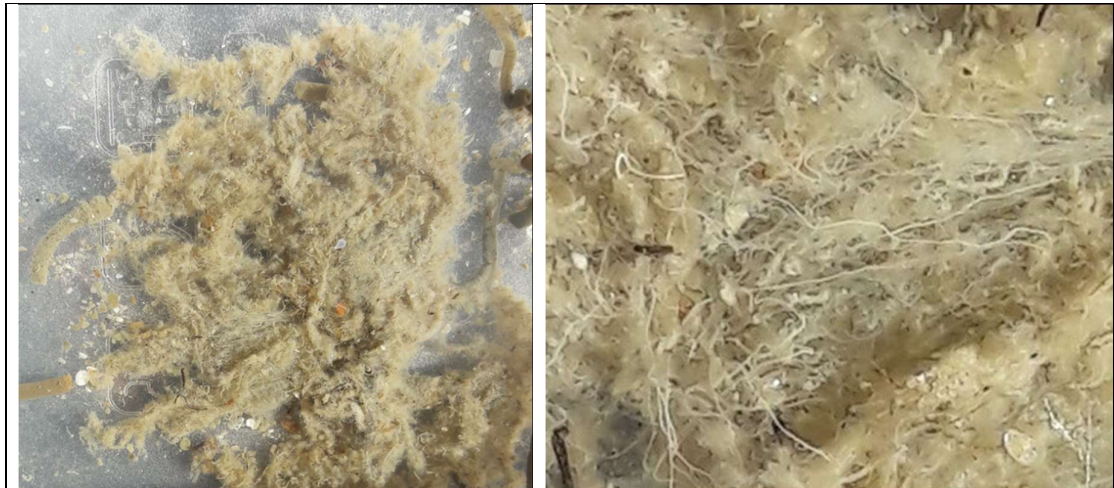
Binnen de werkgemeenschap wordt gewerkt aan het ontrafelen van het voedselweb van het Markermeer en de veranderingen daarin in de loop der jaren. Over enkele onderdelen van dit voedselweb bestaat nauwelijks informatie. Een van die onderdelen is de rol van fytoobenthos in het systeem. Hierover bestaat nagenoeg geen informatie, terwijl de sterke samenhang tussen de slibdynamiek en het gedrag en de samenstelling van het fytoplankton een aanwijzing is dat fytoobenthos van belang zou kunnen zijn. Een andere aanwijzing daarvoor is de verminderde opwerveling van sediment (bij dezelfde windsnelheid) in de zomer.

Benthische primaire productie kan behalve van benthische algen ook van bacteriën komen. Zo lijkt de vermindering van de opwerveling van sediment in de zomer het sterkst te zijn in het oosten van het Markermeer, waar in principe weinig of geen licht op de bodem valt en waar ook geen filterende mosselen voorkomen. Enkele incidentele waarnemingen van draadvormige zwavelbacteriën in maart 2008 (Bij de Vaate & Jansen 2008), oktober 2016 (P. Verdonschot, opgeslagen monsters, notities), december 2015 en mei 2019 (Roskam 2019, rond Marker Wadden) deden vermoeden dat deze voor productie en voedselweb in het Markermeer wel eens een belangrijke rol zou kunnen spelen.

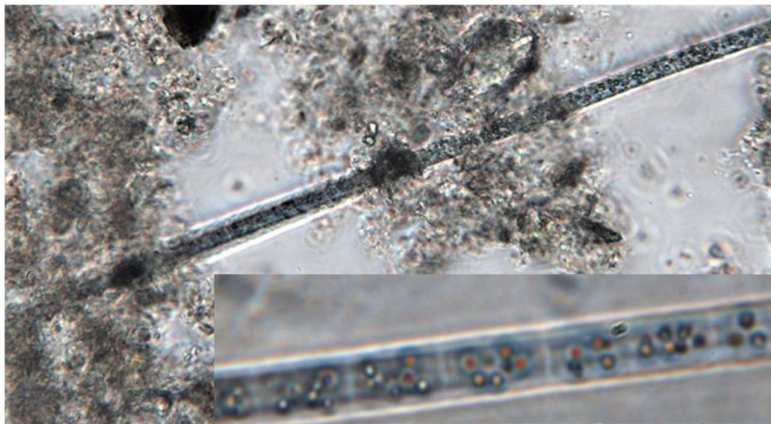
Het materiaal van 2008 werd gedetermineerd als behorend tot het genus *Thioploca* (Bij de Vaate & Jansen 2008). In het materiaal van mei 2019 werden de genera *Thioploca* en *Beggiatoa* herkend (Roskam 2019). DNA analyse gericht op bacteriën in het Markermeer in opdracht van de UvA bracht de aanwezigheid van een groot aantal genera van bacteriën aan het licht, waaronder deze twee (Theirlynck et al. 2019). Dergelijke bacteriën kunnen in mariene systemen uitgestrekte matten vormen met een biomassa tot bijna een kilo versgewicht per m² (*Thioploca*; Schullz et al. 1996). In de Grevelingen vormt *Beggiatoa* in de zomer soms

uitgestrekte matten op de bodem van diepere, gestratificeerde delen van het meer, waarbij zuurstoftekort voorkomt en sterfte onder de bodemfauna plaatsvindt (Lengkeek et al. 2007, 2010 Nolte & Lagendijk 2016). Bacteriën uit deze genera zijn ook bekend uit andere grote zoetwatermeren zoals de Great Lakes in Noord Amerika (Dermott & Legner 2002) en de Bodensee in Duitsland (Maier & Preissner 1979; Kojima et al. 2003). In Denemarken komt *Thioploca* ook voor in brakke wateren, hier in combinatie met bioturbatie (Hogslund et al. 2010).

Afbeeldingen 1-3 laten de draadvormige zwavelbacteriën *Beggiatoa* en *Thioploca* zien die in mei 2019 in het sediment rond de Marker Wadden werden aangetroffen (Roskam 2019). Het zijn bacteriën die sulfide oxideren met behulp van nitraat, en daartoe op en neer bewegen tussen de anoxische sedimentlagen (sulfide) en de oxische toplaag (nitraat). Hun voorkomen en abundantie zal samenhangen met de bodemchemie en de beschikbaarheid van nutriënten en zuurstof. Op enkele locaties werden hoge dichtheden van met name *Thioploca* aangetroffen, en leek er sprake te zijn van een samenhangende structuur in de toplaag van het sediment.



Afbeelding 1. Uitgespoeld monster van de omgeving van Marker Wadden, juni 2019, met witte draden van *Thioploca* (Roskam 2019). De foto's zijn gemaakt met een telefoon; de draden zijn min of meer zichtbaar met het blote oog.



Afbeelding 2. *Beggiatoa*; enkelvoudige draden met oranje lichaampjes van elementaire zwavel. Omgeving Marker Wadden, juni 2019.



Afbeelding 3. *Thioploca*; bundels draden in een schede. De draden bewegen langs elkaar heen en weer in de schede. Omgeving Marker Wadden, juni 2019.

Naar aanleiding van deze vondst is op 10 en 12 september 2019 in samenwerking met de UvA (Harm van der Geest) een survey uitgevoerd waarbij op 29 locaties verspreid over het Markermeer monsters zijn genomen. Op 5 november werden 10 van deze locaties opnieuw bezocht en bemonsterd. Deze monsters zijn onderzocht op aanwezigheid van *Beggiatoa* en *Thioploca*. Van de gevonden bacteriën werd de abundantie bepaald en er zijn een aantal chemische analyses in sediment, poriewater en oppervlaktewater uitgevoerd. Tevens werd het effect van de bacteriën op de resuspensie onderzocht. Het grootste deel van de werkzaamheden werd uitgevoerd door Luc Kahl (Hogeschool Zeeland; Kahl 2020). Deze notitie presenteert in bijlagen de dataset van deze surveys en een eerste interpretatie van de resultaten.

Korte beschrijving van Beggiatoa en Thioploca

In het sediment van het Markermeer komt een grote diversiteit aan bacteriën voor, waaronder een aantal waarbij zwavel een rol speelt in het metabolisme. Enkele daarvan, waaronder *Beggiatoa* en *Thioploca*, zijn draadvormig, d.w.z. bestaan uit meercellige draden. De cellen van de soorten van deze twee genera zijn groot voor bacteriën, die van enkele soorten behoren tot de grootste bacteriecellen. *Beggiatoa* komt voor als losse draden, met een dikte van één cel. Die breedte van een draad verschilt per soort en is het meest gebruikte determinatiekenmerk. In deze studie zijn binnen de twee genera geen soorten onderscheiden, hoewel op basis van de dikteverdeling de aanwezigheid van meerdere soorten wordt vermoed. De cellen bevatten een zeer grote centrale vacuole, waarin nitraat wordt opgeslagen. Daaromheen zijn vaak gele en oranje bolletjes met pure zwavel herkenbaar (Afb. 2). De draden glijden langzaam maar actief door het sediment met behulp van een grotendeels onbegrepen voortbewegingstechniek die “gliding motility” wordt genoemd. Op die manier wordt het opgeslagen nitraat uit de bovenste bodemlaag naar onderliggende lagen vervoerd, waar sulfide wordt geoxideerd. Daarbij wordt elementaire zwavel gevormd, dat later kan worden omgezet in sulfaat. De chemische routes en details van het metabolisme kunnen variëren tussen watertypen of soorten (zie Kahl 2020), dit is in het Markermeer nog niet onderzocht.

Thioploca bestaat uit een bundel van (zelden) één tot enkele tientallen van zulke draden met een omhullende schede (Afb. 3). Deze draden kunnen zo dik worden dat ze met het blote oog als witte draden in een sedimentmonster herkenbaar zijn (Afb. 1). De schede bestaat uit polysaccharide en de dikkere draden zijn vaak bezet met allerlei organisch materiaal. De schedes worden tot enkele centimeters lang en slingeren door het sediment, maar zijn zelf niet mobiel. De celdraden bewegen binnen de schede heen en weer of op en neer, afhankelijk van de oriëntatie. Afzonderlijke draden binnen de bundel bewegen vaak tegen elkaar in. De chemie is vergelijkbaar met die van *Beggiatoa*. Mogelijk is *Thioploca* iets meer zuurstofmijdend dan *Beggiatoa*.

Vraagstelling

Vragen betreffende het voedselweb vanuit de werkgemeenschap:

- Wat is de biomassaverdeling van (draadvormige) zwavelbacteriën op de bodem van het Markermeer in ruimte en tijd?
- Hoe is deze biomassa gerelateerd aan het voorkomen van andere benthische organismen en aan water- en bodemkwaliteit?

Vraag vanuit het KIMA Helder Troebel Plan:

- Wat is het effect van matten van draadvormige zwavelbacteriën op de resuspensie van sediment?

Opzet van het onderzoek

De basis van het hier gerapporteerde onderzoek bestaat uit twee bemonsteringscampagnes in het Markermeer, uitgevoerd in september en november 2019.

Veldcampagne september

Op dinsdag 10 en donderdag 12 september is een survey uitgevoerd vanaf het onderzoeksvaartuig "Dreissena" van de UvA. De bemonstering is uitgevoerd door Luc Kauh (Hogeschool Zeeland / Deltares), Gerlinde Roskam (Deltares) en Harm van der Geest (UvA).

Gedurende elk van deze twee veldrondes zijn monsters genomen op in totaal 29 locaties op vier oost-west raaien, de meest noordelijke met een bocht rond Marker Wadden (figuur 1; bijlage 1). Deze locaties zijn ontleend aan het grid van de mosselbemonsteringen (o.a. Bij de Vaate & Jansen 2016).

Van de 29 locaties konden er 26 worden bezocht op dinsdag 10 september. De overige drie (locaties 33, 48 en 49; zie figuur 1)) werden bezocht op donderdag 12 september. Het weer op beide dagen was kalm, droog en zonnig (tabel 1). De watertemperatuur lag tussen 16,1 en 17,0°C.

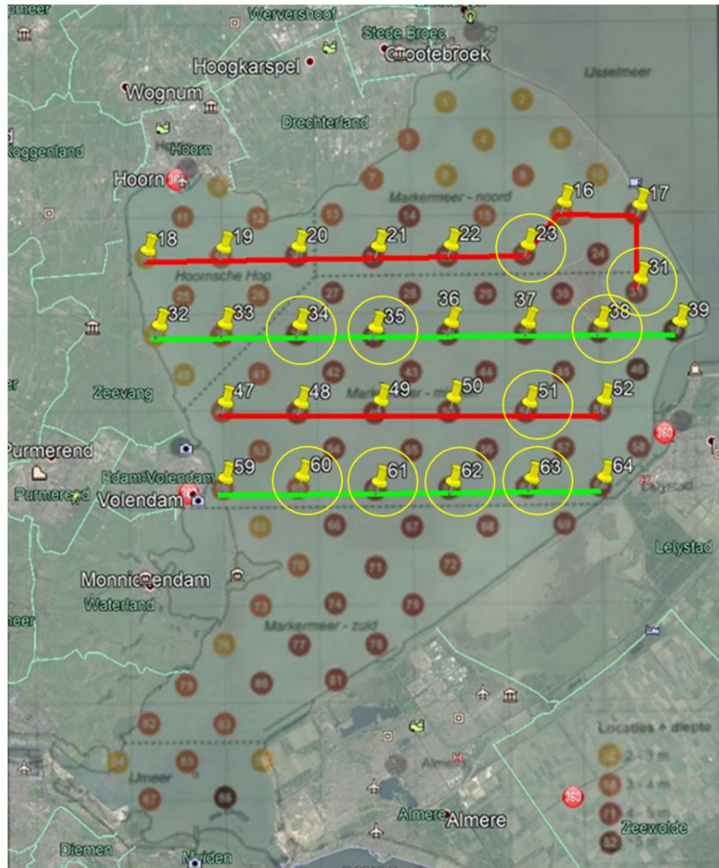
Veldcampagne november

Op dinsdag 5 november werd een tweede bemonsteringscampagne uitgevoerd. Bij deze gelegenheid werden 10 van de 29 locaties uit de eerste campagne opnieuw bemonsterd (figuur 1).

De weersomstandigheden op 5 november waren vergelijkbaar met die tijdens de eerste bemonsteringsronde. Sinds de bemonstering in september is in Berkhout geen sprake geweest van krachtige wind of meer (>10,8 m/s). Op de Houtribdijk wel, daar waait het altijd aanzienlijk harder dan in Berkhout, maar ook daar is geen sprake geweest van harde wind of meer (>13,9 m/s). De watertemperatuur lag tussen de 9,5 en 10,3°C.

| | 4 sept | 5 sept | 6 sept | 7 sept | 8 sept | 9 sept | 10 sept | 11 sept | 12 sept |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|---------|-------------|
| Windsnelheid (m/s) | 5,1 | 6,3 | 5,2 | 3,6 | 3,2 | 2,4 | 2,4 | 5,3 | 4,8 |
| Windrichting (graden) | 216 | 298 | 222 | 333 | 325 | 234 | 240 | 225 | 232 |
| Temp gemiddeld | 15,1 | 13,4 | 14,2 | 13,5 | 12,8 | 12,6 | 14,2 | 15,6 | 17,5 |
| Temp max | 18,4 | 16,7 | 17,8 | 17,9 | 17,9 | 17,9 | 19,1 | 18,1 | 21,1 |
| <i>Houtribdijk</i> | | | | | | | | | |
| Windsnelheid (m/s) | 10,3 | 9,8 | 10,9 | 6,9 | 5,6 | 3,9 | 3,5 | 9,5 | 6,4 |
| Windrichting (graden) | 220 | 289 | 223 | 328 | 347 | 247 | 234 | 216 | 232 |
| | 30 okt | 31 okt | 1 nov | 2 nov | 3 nov | 4 nov | 5 nov | | |
| Windsnelheid (m/s) | 4,3 | 4,4 | 4,4 | 7,8 | 3,5 | 3,2 | 2,3 | | |
| Windrichting (graden) | 84 | 102 | 164 | 202 | 170 | 171 | 229 | | |
| Temp gemiddeld | 5,2 | 4,8 | 7,7 | 12,6 | 10,1 | 9,9 | 9,7 | | |
| Temp max | 9,6 | 8,3 | 13,0 | 14,4 | 12,0 | 11,6 | 11,8 | | |
| <i>Houtribdijk</i> | | | | | | | | | |
| Windsnelheid (m/s) | 7,1 | 7,1 | 7,2 | 10,3 | 5,5 | 5,2 | 4,3 | | |
| Windrichting | 84 | 99 | 161 | 196 | 171 | 179 | 225 | | |

Tabel 1. Windkracht, windrichting en luchttemperatuur (gem. en max) op de dagen van bemonsteringen en de voorafgaande dagen; KNMI gegevens station Berkhout en Houtribdijk (alleen wind).



Figuur 1. Locaties van het grid van de mosselkartering (Bij de Vaate & Jansen 2016), met daarop aangegeven de locaties voor de bacterie surveys. De locaties met gele "prikkers" op de groene en de rode lijnen zijn bezocht op resp. 10 en 12 september, de geel omcirkelde locaties zijn opnieuw bemonsterd op 5 november 2019.

Op deze locaties zijn de volgende bemonsteringen en metingen verricht:

- Drie steekbuismonsters per locatie met de Uwitec
- Watermonsters voor waterkwaliteitsanalyses

Met de drie steekbuismonsters is in het lab het volgende bepaald:

- Karakteriseren van de zwavelbacteriën en eventuele overige benthische flora en fauna op basis van microscoopmonsters (alle locaties, zie bijlage 2)
- Biomassa bepaling zwavelbacteriën, opgedeeld in laagjes van een centimeter of meer (alle locaties, deel in duplo, zie bijlage 3)
- Productie schattingen van de bodemorganismen op basis van veranderingen in zuurstofconcentraties in licht en donker (deel van de locaties, zie bijlage 4)
- Bepaling van concentraties van een aantal chemische stoffen in het oppervlaktewater, na filtratie, op basis van IC (Ion Chromatography; o.a. nitraat, nitriet, ammonium, fosfaat, sulfaat, monsters uit september en november) en ICP-OES (Inductive Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry; o.a. fosfor, zwavel, calcium, silicium, alleen monsters uit september, zie bijlage 5)



Datum

10 november 2019

Ons kenmerk

11204657-002-ZWS-0001

Pagina

7 van 46

- Bepaling van concentraties van een aantal chemische stoffen in het poriewater op verschillende dieptes in het sediment, na filtratie, op basis van IC en ICP-OES (deel van de locaties, zie bijlage 6)
- Organisch stof gehalte en kalkgehalte van het sediment in laagjes van een centimeter of meer op basis van TGA (ThermoGravimetric Analysis)

Daarnaast werd met een deel van de steekbuismonsters opwervingsproeven uitgevoerd.

Resultaten

De dataset met gegevens van de survey met informatie over de bacteriën, een aantal chemische parameters in oppervlaktewater, poriewater en het sediment is in bijlagen aan deze notitie toegevoegd. Hieronder volgt een beschrijving van methoden en globale interpretatie van de resultaten.

Verspreiding en abundantie van draadvormige zwavelbacteriën

In de monsters zijn twee geslachten draadvormige zwavelbacteriën aangetroffen; *Beggiatoa* en *Thioploca*. Deze determinatie is bevestigd door Gerard Muyzer, professor Microbial Systems Ecology, UvA. Er werd geen onderscheid gemaakt tussen verschillende soorten binnen deze geslachten. Op basis van de variatie in dikte van de *Beggiatoa*-draden bestaat het vermoeden dat van dit geslacht ten minste twee soorten in het Markermeer voorkomen. Bij *Thioploca* zijn onder celdraden in de bundels in de schedes nooit verschillen in dikte opgevallen. Dit is elders wel waargenomen, geïnterpreteerd als meerdere soorten binnen dezelfde schede).

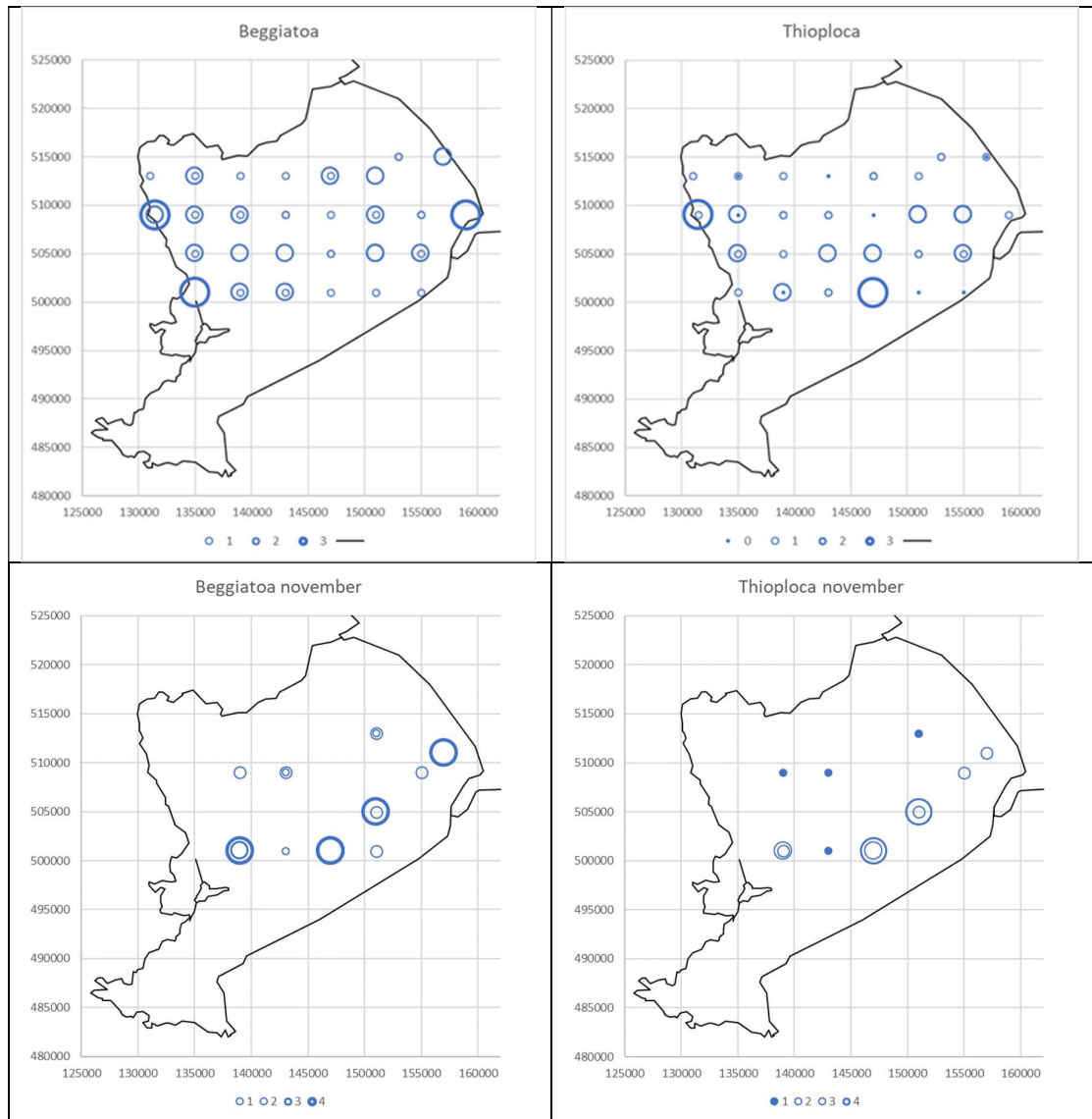
Tot het geslacht *Beggiatoa* werden in deze studie gerekend de enkelvoudige, min of meer rechte, relatief korte draden zonder schede (afbeelding 2 hierboven en afbeelding 4 verderop in de tekst). De cellen in deze draden bevatten duidelijk zichtbaar oranje, bolvormige insluitsels met elementair zwavel. Tot *Thioploca* werden gerekend de relatief lange tot zeer lange, flexibele draden die in de lengterichting heen en weer bewegen binnen een min of meer stil liggende schede, soms enkelvoudig maar meestal in bundels van celdraden (afbeeldingen 1 en 3).

De abundantie van *Beggiatoa* en *Thioploca* is op twee manieren bepaald; op basis van tellingen van draden in deelmonsters met behulp van een microscoop en op basis van biomassa bepaling van gezeefde monsters. De microscoopmonsters zijn per monster meestal in duplo bekeken, maar betreffen slechts een zeer klein deel van het totale steekbuismonster, zodat de biomassamonsters waarschijnlijk een beter beeld geven van de verspreiding. Al het materiaal is levend geanalyseerd, zonder preparatie van de monster voor bijv. microscopische herkenning van algen. De verwerking duurde enkele weken, de monsters werden ondertussen gekoeld en in het donker bewaard. Bij de zwavelbacteriën werd pas aan het eind van de analyseperiode (na ongeveer een maand) enige sterfte geconstateerd (toenemend aantal lege schedes van *Thioploca*). Bij de microscoopmonsters werd het aantal draden geteld per dekglasje, waarna een indeling in klassen werd toegepast. Bij *Beggiatoa* zijn de getelde draden de enkelvoudige celdraden, bij *Thioploca* zijn het de bundels draden met schede. Deze bundels zijn bovendien vaak veel langer dan de enkelvoudige draden van *Beggiatoa*. Daardoor vertegenwoordigen de klassen van *Thioploca* een aanzienlijk grotere biomassa dan dezelfde klassen van *Beggiatoa*. Bij de biomassa bepaling zijn de twee typen niet onderscheiden. In de praktijk wordt de biomassa en het ruimtelijke beeld daarvan echter vooral door *Thioploca* bepaald. Bij beide methoden is de verticale verdeling bepaald door de steekbuismonsters in lagen te verdelen. De resultaten zijn als volgt:

Tellingen microscoopmonsters

Beggiatoa werd aangetroffen in de microscoopmonsters van alle 29 locaties die in september zijn bemonsterd, met de hoogste dichtheden in het westen en het oosten van het meer (figuur 2, links). Dit type kwam ook in de tweede laag (1,5-3 cm diepte) nog bijna overal voor, zij het in

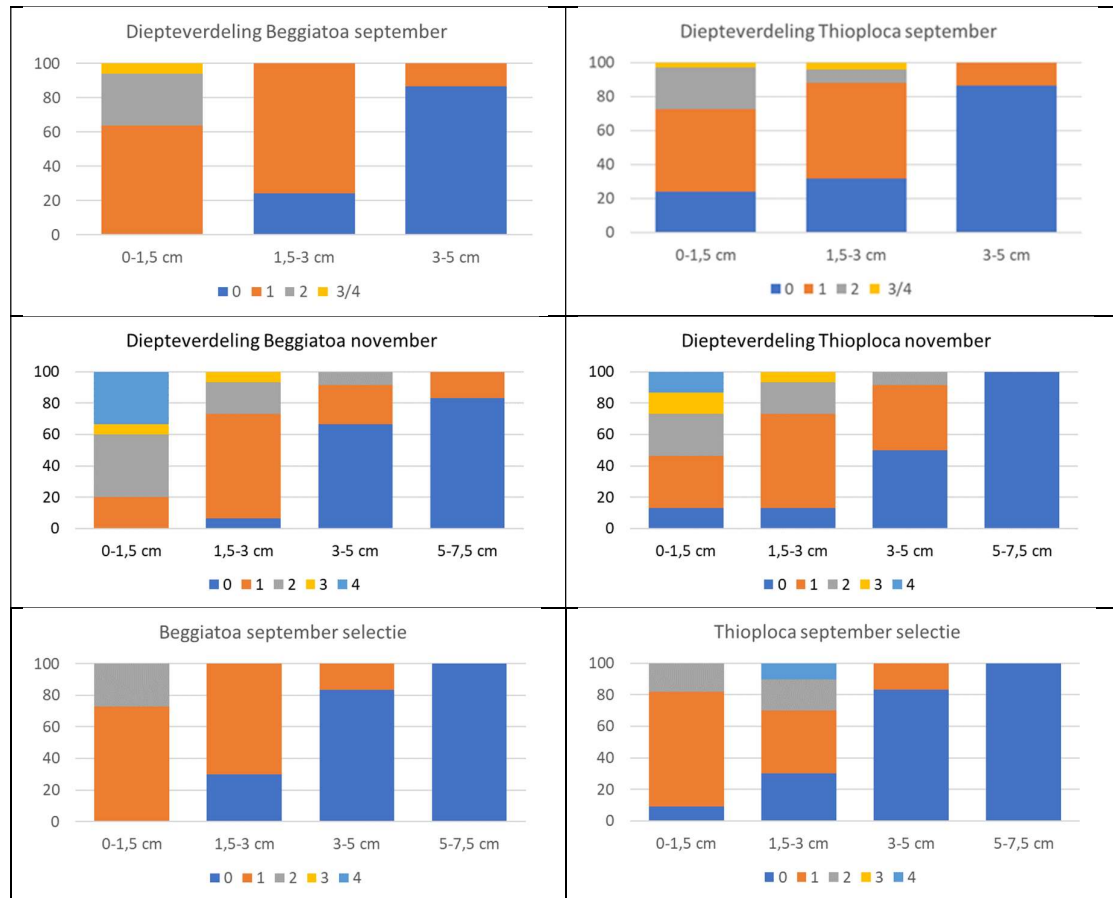
lagere dichtheden. In de derde laag (3-5 cm) werd op slechts enkele locaties nog *Beggiatoa* aangetroffen (figuur 3, links).



Figuur 2. Verspreiding en dichtheidsverdeling van *Beggiatoa* (links) en *Thioploca* (rechts) op basis van microscoopmonsters uit de bovenste laag van het sediment (0-1,5 cm). 1 = <10 draden per dekglasje, 2 = 10-50 draden, 3 = >50 draden. Van ongeveer twee derde van de locaties zijn twee steekbuismonsters bekeken (dubbele ringen).

Ook in november werd *Beggiatoa* op alle bemonsterde locaties (10) aangetroffen. De ruimtelijke verdeling verschilde daarbij enigszins van die van september en kwam meer overeen met die van *Thioploca*, met relatief grote dichtheden in het zuidoosten van het gebied. Om de dichtheid en diepteverdeling te kunnen vergelijken zijn van de resultaten van september de locaties geselecteerd die ook in november zijn bezocht. Dan blijkt dat de gemiddelde

dichtheden in november op alle dieptes hoger waren (figuur 3). Op één locatie werd *Beggiatoa* zelfs nog in de vierde dieptelaag gevonden (>5cm).



Figuur 3. Abundantieverdeling van Beggiatoa (links) en Thioploca (rechts) op basis van microscoopmonsters, over de bovenste drie of vier lagen van het sediment, van achtereenvolgens 1,5, 1,5, 2 en 2,5 cm dikte. De dichtheid is weergegeven in drie klassen: 0 = geen draden, 1 = 1-9 draden per dekglasje, 2 = 10-50 draden, 3 = 50-100 draden, 4 = >100 draden per dekglasje. Boven: alle 29 locaties van de september bemonstering (klasse 4 komt niet voor, geen draden in de vierde laag). Midden: de 10 locaties van de november bemonstering. Onder: Resultaten van september op de 10 locaties die ook in november zijn bemonsterd.

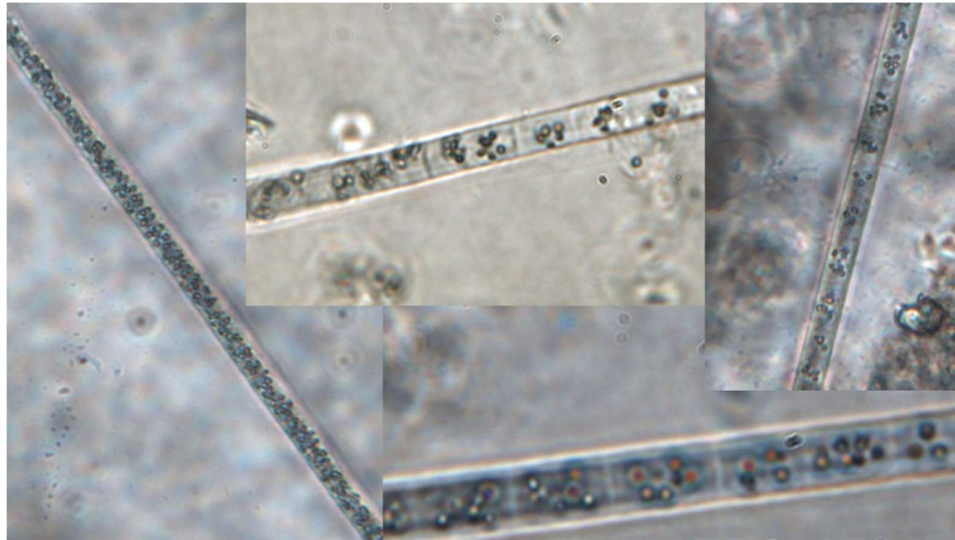
Thioploca werd gevonden in de microscoopmonsters van 25 van de 29 locaties die in september zijn bemonsterd (afbeelding 5, 6, 7). Relatief hoge dichtheden zijn gevonden op enig afstand van de kust in het midden van het meer, met een zuidelijk en oostelijk accent (figuur 2, rechts). De diepteverdeling is vergelijkbaar met die van *Beggiatoa*, met gemiddeld de hoogste dichtheid in de bovenste laag, maar vergelijkbare presentie in de tweede laag, en aanzienlijk lagere presentie in de derde laag (figuur 3, rechts).



Datum
10 november 2019

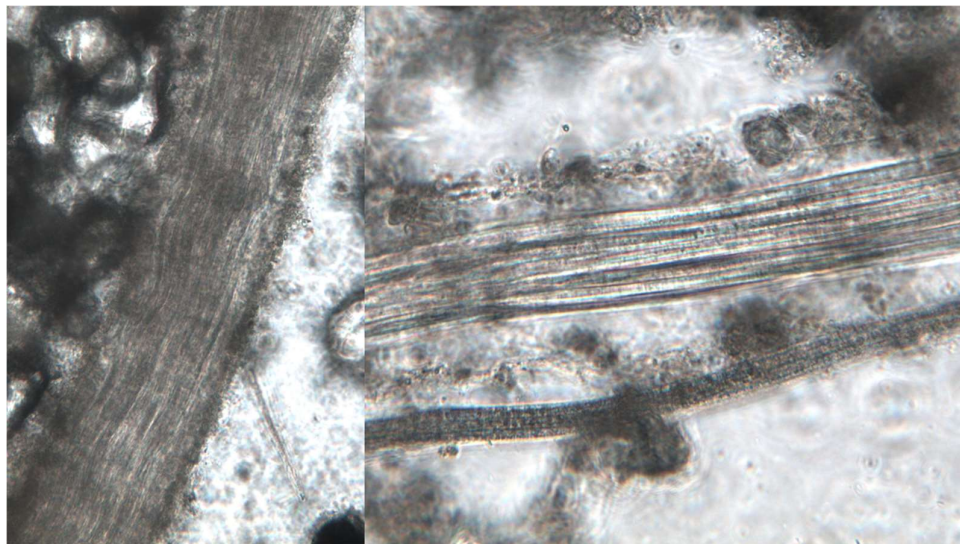
Ons kenmerk
11204657-002-ZWS-0001

Pagina
11 van 46



Afbeelding 4. De rechte, relatief korte, enkelvoudige draden zonder schede, voorzien van grote aantallen met oranje zwavel gevulde blaasjes, die zijn gedetermineerd als *Beggiatoa*.

In november werd *Thioploca* aangetroffen op 8 van de 10 bemonsterde locaties. De ruimtelijke verdeling was daarbij vergelijkbaar met die van september, met relatief hoge dichtheden in het zuidoosten van het gebied. Net als bij *Beggiatoa* was de gemiddelde dichtheid van de draden hoger dan in september.



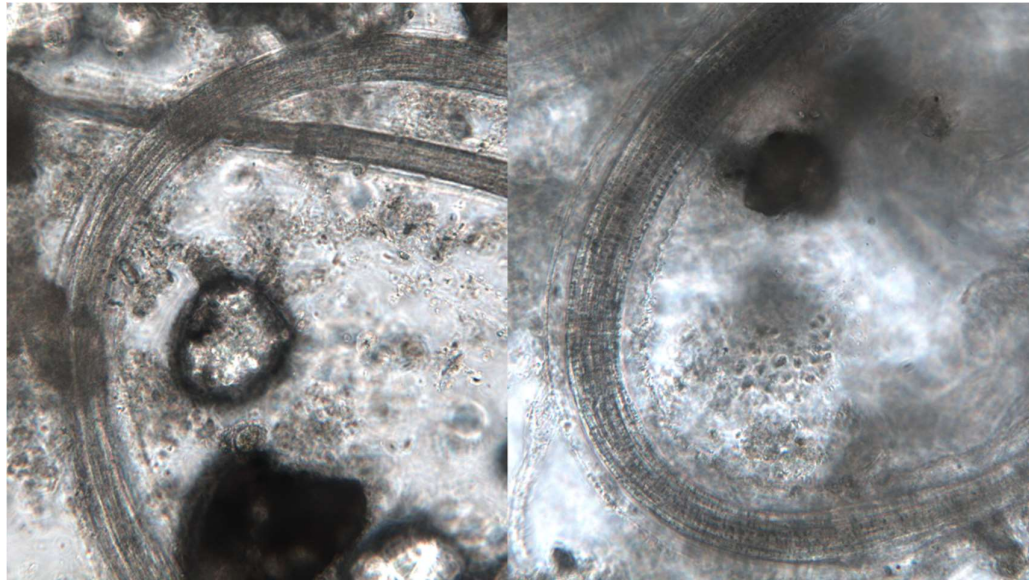
Afbeelding 5. Bundels van *Thioploca* celdraden in hun schede



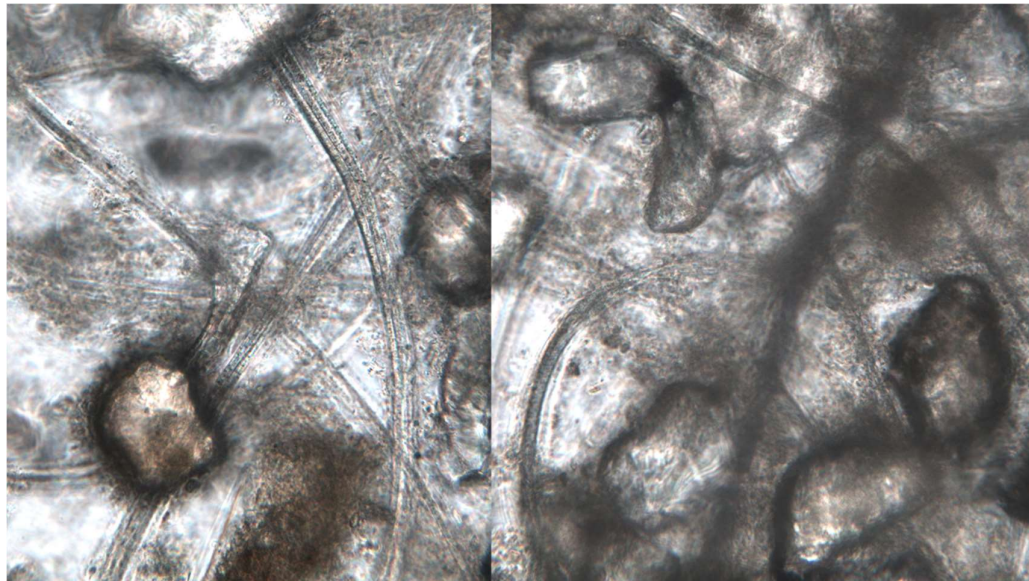
Datum
10 november 2019

Ons kenmerk
11204657-002-ZWS-0001

Pagina
12 van 46



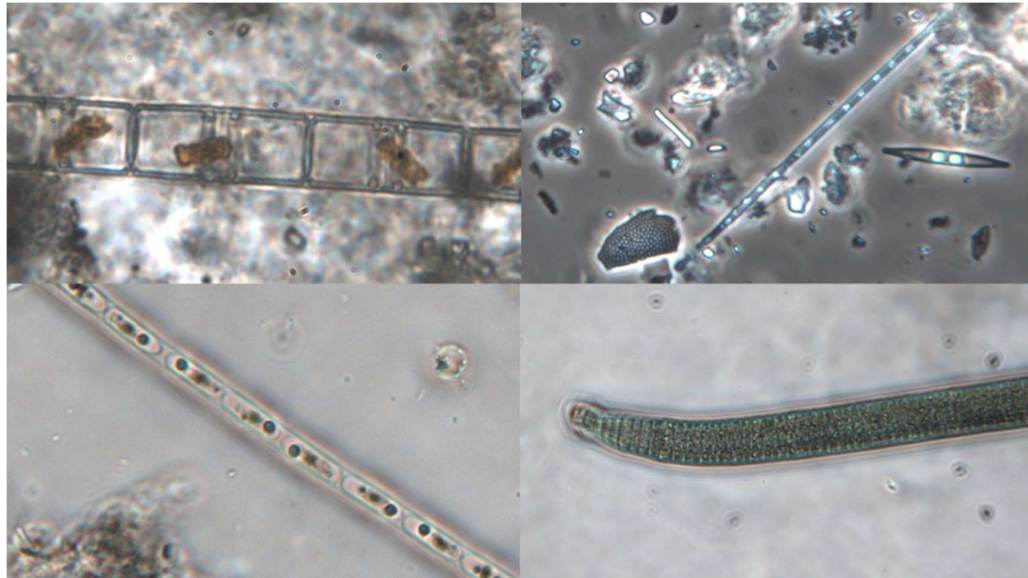
Afbeelding 6. *Thioploca* bundels



Afbeelding 7. Vlechtwerken van dunnere *Thioploca* bundels met ingevangen zandkorrels

Overige organismen in de microscoopmonsters

Draadvormige algen of andere draadvormige structuren die in potentie clusters of matten kunnen vormen (afbeelding 8) zijn nauwelijks aangetroffen. Op enkele locaties werden draadvormige kiezelalgen of blauwalgen aangetroffen, maar steeds in veel kleinere aantallen dan de draadvormige zwavelbacteriën. Op geen enkele locatie werden aanwijzingen gevonden voor een samenhangende structuur van draadvormige algen.



Afbeelding 8. Enkele van de draadvormige algen die, altijd in lage aantallen, in de microscoopmonsters werden gevonden. Links twee soorten kiezelalgen, rechts twee blauwalgen (onder *Planktothrix*).

Naast draadvormige structuren zijn aan de hand van de microscoopmonsters notities gemaakt van de aanwezigheid van andere algen, dierlijk leven en dood organisch materiaal. Deze organismen zijn aan de hand van deze waarnemingen niet zinvol te kwantificeren, bijvoorbeeld omdat de monsters levend zijn bekeken en niet waren geprepareerd voor het herkennen van algen. Daarbij duurde het bekijken van de monsters enkele weken, waardoor de conditie en herkenbaarheid van verschillende organismen waarschijnlijk geleidelijk is verslechterd (meer dan bij *Thioploca*). De volgende organismen zijn met enige regelmaat in de monsters herkend:

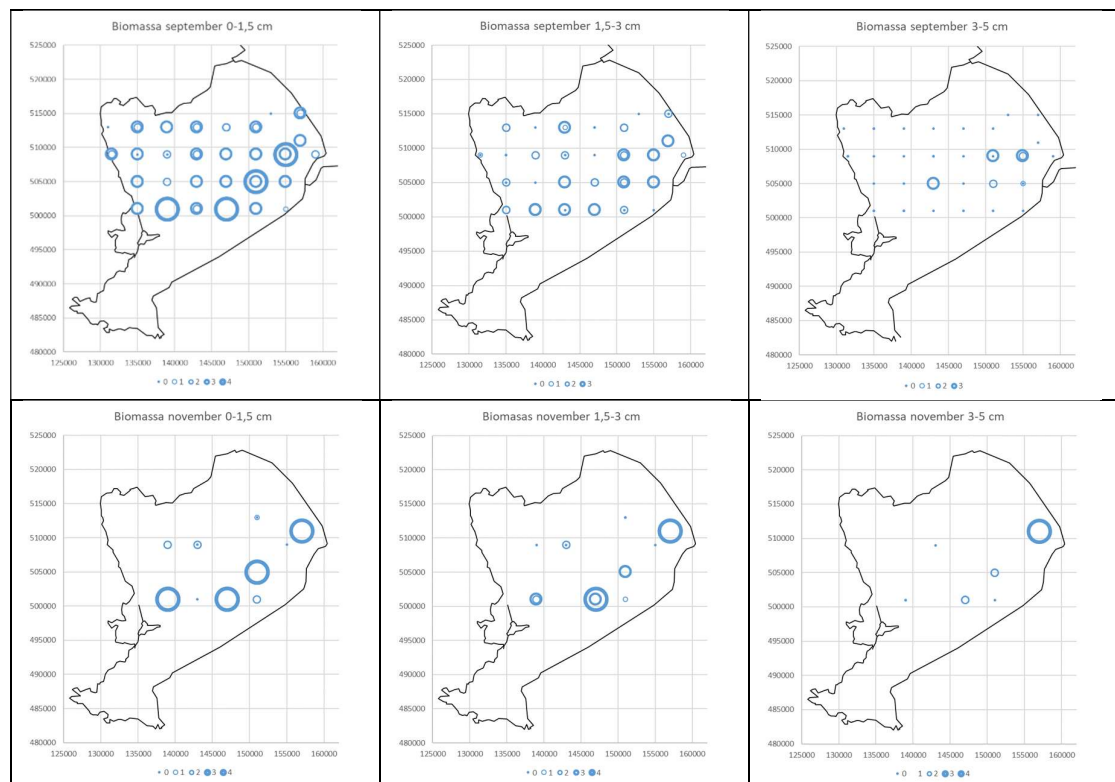
- Kolonies blauwalgen
- Groenalgen, bijv. *Scenedesmus* spp., *Pediastrum* spp.
- Eencellige diatomeeën
- Ostracoden (levend)
- Wormen (nematoden en oligochaeta)

Er was geen indruk van een negatieve relatie met de dichtheid van *Thioploca* en *Beggiatoa*.

Biomassa en productie

Biomassa bepalingen

Op basis van de monsters uit zowel september als november zijn schattingen van de abundantie gemaakt in vijf klassen. Aan de hand van monsters uit september zijn per abundantieklasse ook metingen van biomassa uitgevoerd. In deze biomassamonsters is geen onderscheid gemaakt tussen de twee types, maar in biomassa is *Thioploca* in het algemeen dominant. De monsters werden uitgespoeld en zo goed mogelijk geschoond van ander materiaal dan bacteriedraden. Door middel van de klasse-indeling is een beeld van de ruimtelijke verspreiding van biomassa verkregen dat vergelijkbaar is met dat van de microscoopmonsters voor *Thioploca*. Ook hier ligt het accent op de zuidelijke en oostelijke kant van het midden van het meer, met een concentratiegebied dat in een boog van Marker Wadden naar Edam loopt (figuur 4). Alle locaties waar nog bacteriën voorkwamen in de derde laag, liggen ook in dit concentratiegebied. Dit patroon werd zowel in september als in november (hoewel minder gedetailleerd door het kleinere aantal locaties) gevonden.



Figuur 4. Ruimtelijke verdeling van biomassa van draadvormige zwavelbacteriën op basis van gezeefde steekbuismonsters van de bovenste drie lagen (0-1,5 cm, 1,5-3 cm en 3-5 cm). Boven de monsters uit september (29 locaties), onder uit november (10 locaties).

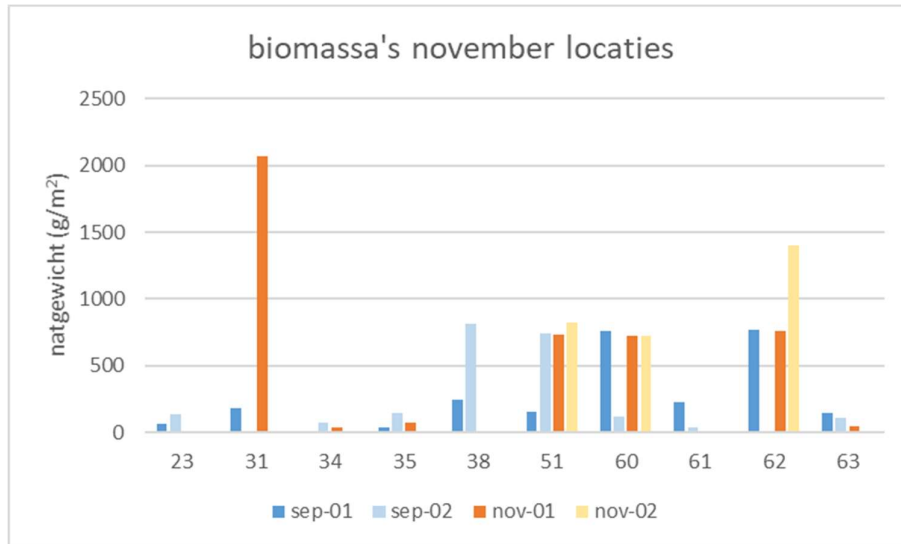
Van de vijf monsters met de hoogste dichtheden van bacteriën werd het nat- en droog gewicht bepaald. Van de monsters uit de lager klassen werden mengmonsters gemaakt, waaruit gemiddelde gewichten per monster werden berekend. Met behulp van de binnenmaat van een steekbuis van 6 cm diameter werd hieruit vervolgens een biomassa per m² berekend. Het asvrij drooggewicht werd niet bepaald. Een indruk hiervan, althans van het eventuele effect van de aanwezigheid van bijvoorbeeld schelpmateriaal, kan worden verkregen uit de vochtgehaltes.

Tabel 2 geeft gemiddeld nat- en drooggewichten van de uitgespoelde zwavelbacteriën per bodemlaag. Monsters in de dichtheidscategorieën 2, 3 en 4 hadden een natgewicht van omgerekend resp. 26, 89 en 492 gram per m². Monsters van categorie 1 bevatten te weinig massa om te wegen. De hier gegeven gewichten vertegenwoordigen dus nog niet het totale gewicht van de bacteriën per m²; daarvoor moeten de lagen nog worden opgeteld. Dat kan door de biomassaschattingen in de klassen per locatie en diepte om te zetten in gewicht op basis van de gemiddelde waarden per klasse. Het op die manier berekende gemiddelde versgewicht over alle in september bemonsterde locaties bedraagt 172 gram per m². In het concentratiegebied in het zuidwesten loopt dat op naar gemiddelde waarden van ongeveer 514 gram per m² (gemiddelde van de vier rijkste locaties; 38, 51, 60 en 62 met duplo's). Bij de individuele monsters komen natuurlijk hogere waarden voor (Tabel 2; figuur 5). Het hoogste versgewicht dat in een steekbuis werd gevonden is 5,47 gram. Dit vertaalt zich naar 1,9 kilo per m².

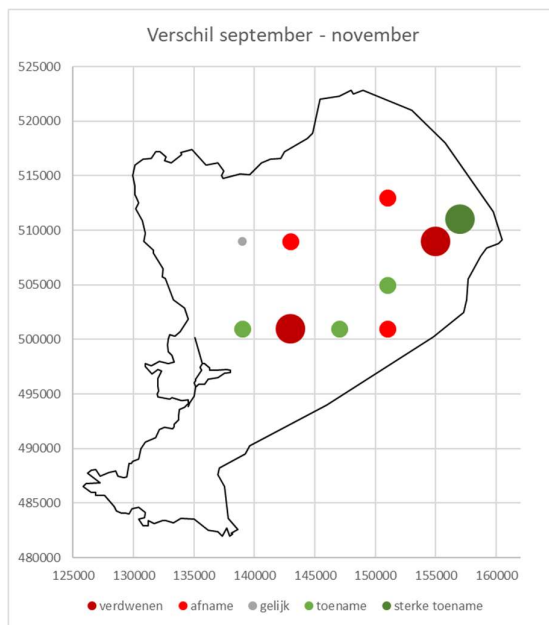
| Abundantie-klasse | Aantal monsters | Natgewicht | drooggewicht t | % vocht | natgew g/m ² |
|-------------------|-----------------|------------|----------------|---------|-------------------------|
| 4 | 1 (38-2) | 0,84 | 0,13 | 84,8 | 298 |
| 4 | 1 (51-2) | 0,79 | 0,09 | 88,3 | 281 |
| 4 | 1 (60-1) | 2,34* | 0,55* | 76,5* | 831* |
| 4 | 1 (60-2) | 2,06 | 0,31 | 84,8 | 729 |
| 4 | 1 (62-1) | 1,86 | 0,28 | 85,2 | 659 |
| 4 gem.* | 4 | 1,38 | 0,20 | 85,8 | 492 |
| 3 | 15 | 0,25 | 0,03 | 87,2 | 89 |
| 2 | 7 | 0,07 | 0,01 | 86,4 | 26 |

*Tabel 2. Biomassagegevens van uitgespoelde zwavelbacteriën per monster. De vijf zwaarste monsters, uit categorie 4, zijn apart gewogen, de monsters uit klasse 2 en 3 zijn samengevoegd. De monsters zijn elk afkomstig uit een van de bodemlagen, zodat het totaalgewicht moet worden berekend uit de biomassaverdeling over de lagen. *Een van de twee monsters van locatie 60 bevatte veel schelpmateriaal en een daarmee samenhangend laag vochtgehalte. De gegevens van dit monster zijn niet meegerekend in verdere berekeningen.*

Het gemiddelde versgewicht in november was met 475 g/m² hoger dan op dezelfde locaties in september (284 g/m², rijke locaties relatief sterk vertegenwoordigd). Daarbij lijkt de spreiding te zijn toegenomen; op enkele locaties met lage versgewichten in september leek sprake te zijn van afname, terwijl op locaties 31, 51, 60 en 62, dus ruwweg in het concentratiegebied, sprake was van toename. Anders gezegd: alle locaties met toename lagen in het concentratiegebied (figuur 6). Bij het samenvoegen van de gegevens van de twee bemonsteringsrondes valt op dat in de individuele monsters biomassa waarden van ca 700 g/m² relatief veel voorkomen (4 in september en 5 in november, optimaal ontwikkelde mat?; figuur 5).



Figuur 5. Biomassa's (natgewicht) van alle deelmonsters van de locaties die zowel in september als in november zijn bemonsterd.



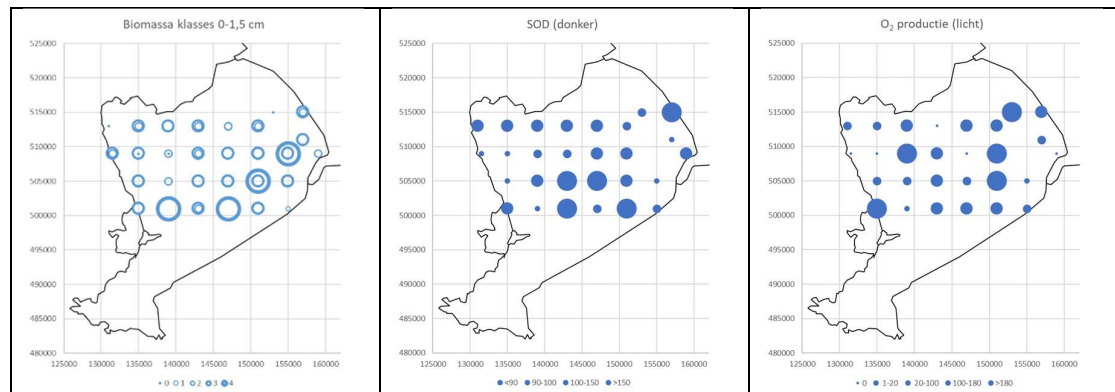
Figuur 6. Ruimtelijk beeld van de toe- en afname van de biomassa (natgewicht) tussen september en november.

De gevonden biomassa's zijn vergelijkbaar met of hoog in vergelijking met waarden uit andere studies, zoals een optimum van 206 gram versgewicht per m² in Lake Ontario (Dermott & Legner 2002), een maximum van bijna een kilo per m² voor de kust van Chili (Schulz et al. 1996) of een maximum van ca. 140 g/m² over een reeks van jaren (1994-2002) voor de kust van Peru (Montecino et al. 2006). In Denemarken werd een biomassa van 34 g/m² gevonden (Hogslund et al. 2010).

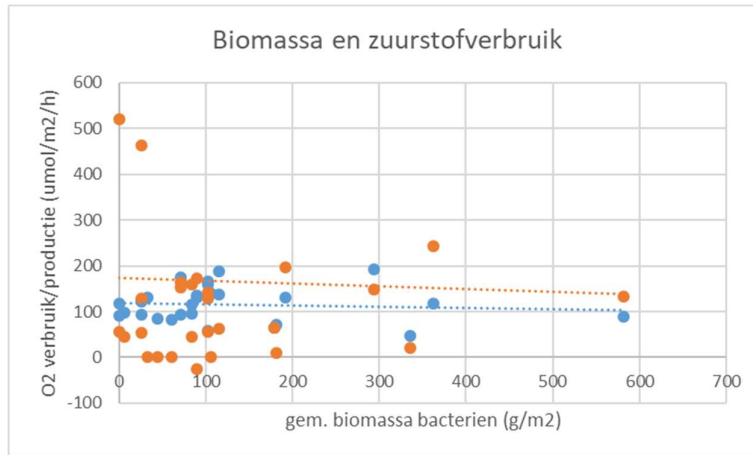
Productie

Net als algen zijn zwavelbacteriën primaire producenten. De productie van de bacteriën zelf kon binnen dit onderzoek niet worden gemeten. Wel is een indruk te krijgen van het effect van de bacteriën op de activiteit van andere bodemorganismen, voor zover die zuurstof verbruiken of produceren. Op het laboratorium van de UvA is van de septembermonsters van alle locaties het zuurstofverbruik in het donker en de zuurstofproductie bij daglicht bepaald. Omdat de zwavelbacteriën zelf waarschijnlijk geen zuurstof verbruiken of produceren geeft dat vooral een indruk van de activiteit van de overige benthische flora en fauna, de zuurstofproductie overdag vooral van die van benthische algen.

De ruimtelijke patronen van zuurstofverbruik en productie zijn verschillend (figuur 7), maar vertonen geen duidelijk verband. Het zuurstofverbruik in het donker vertoont een optimum in het midden van het Markermeer. Globaal vertoont dit beeld overeenkomst met de ruimtelijke biomassapatroon van de bacteriën, maar in detail zijn de verschillen zodanig dat geen sprake is van duidelijke correlatie (figuur 8). Het ruimtelijke patroon van zuurstofproductie bij daglicht vertoont verspreid relatief hoge waarden in het oosten, maar ook in het westen. Ook deze parameter vertoont geen duidelijke correlatie met de biomassa van de bacteriën. Uit deze vergelijking komt dus geen duidelijk verband naar voren tussen de dichtheid van de zwavelbacteriën en de activiteit van de (rest van de) benthische flora en fauna. Wel lijkt op grovere schaal de activiteit van de bodemfauna op basis van het zuurstofverbruik relatief hoog te zijn in delen van het Markermeer waar ook de dichtheden van *Thioploca* het hoogst zijn.



Figuur 7. Ruimtelijke verdeling van biomassa in de bovenste laag van het sediment (links; zie figuur ...), vergeleken met ruimtelijke patronen in zuurstofverbruik in het donker (midden) en zuurstofproductie in het licht (rechts). Gegevens van de septemberbemonstering.



Figuur 8. Relatie tussen de gemiddelde biomassa van zwavelbacterien en het zuurstofverbruik en de zuurstofproductie (september bemonsteringen).

Effect op slibopwerveling

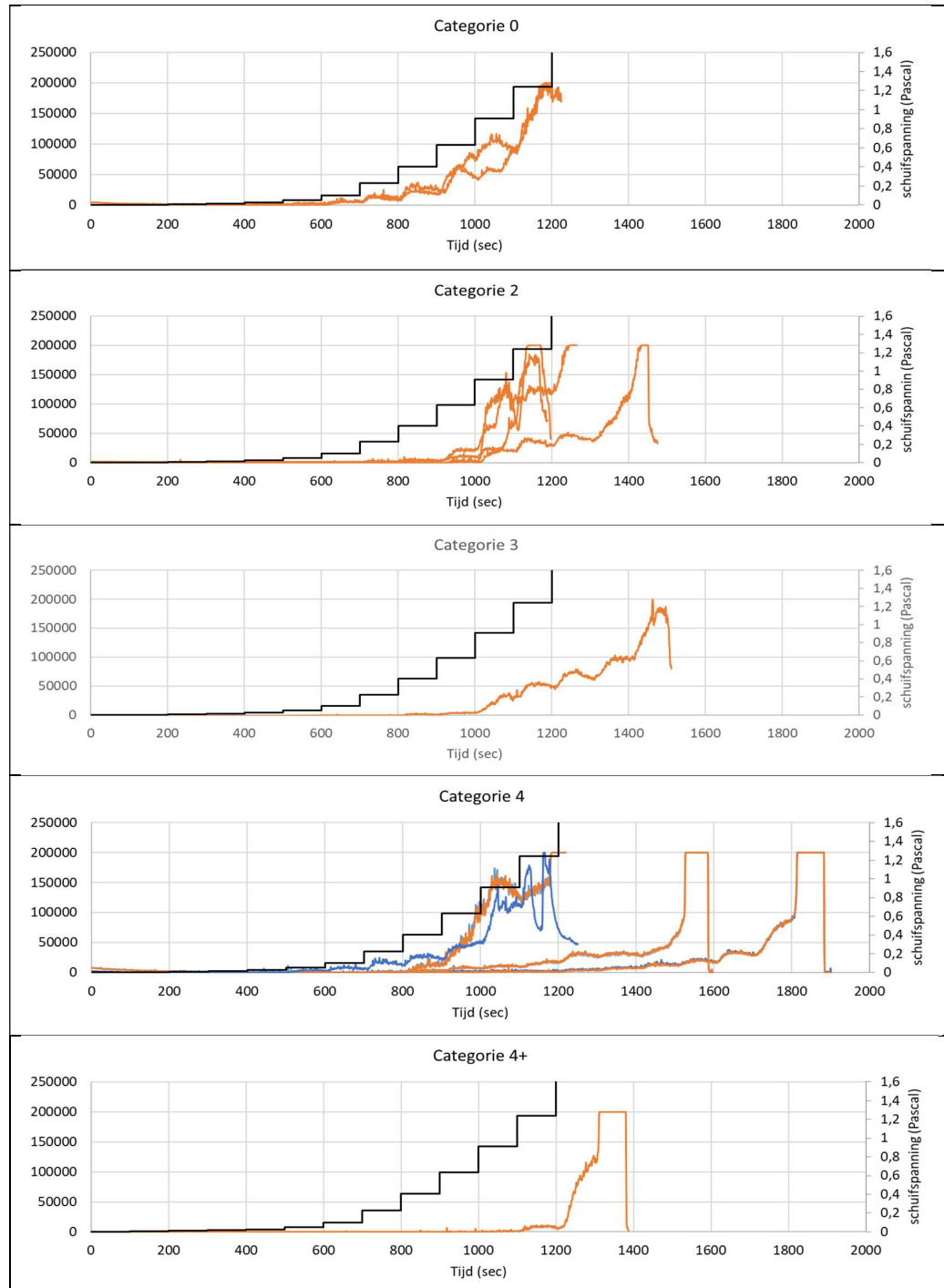
Een deel van de monsters is gebruikt voor opwervelingsproeven om de invloed van de bacteriën op de opwerveling van het sediment te onderzoeken. Daartoe werd in de steekbuis boven het sediment een rotor geplaatst (Vane; Penning et al. 2013). De snelheid van rotatie werd elke 100 seconden verhoogd, terwijl de verandering in zwevend stof continu werd gemeten. Daartoe wordt het water met zwevend stof continu afgevoerd en ververst, de concentraties werden optisch gemeten (OSLIM).

De rotatiesnelheid kan worden omgerekend in een schuifspanning. Deze relatie is niet lineair, de schuifspanning neemt sneller toe dan de rotatiesnelheid. De maximum rotatiesnelheid die is toegepast correspondeert met een schuifspanning van 3,6 Pascal, een waarde die op de bodem van het meer voorkomt bij een windsterkte van 5 Beaufort (Penning et al. 2013). In de praktijk nam de zwevend stof concentratie al bij veel lagere schuifspanningen toe.

In figuur 9 zijn de resultaten uitgezet als toename van de zwevend stof concentratie in de tijd, vergeleken met de stapsgewijze toename van de schuifspanning, berekend vanuit de rotatiestand van de rotor. De monsters zijn geclassificeerd in categorieën van biomassa. Deze categorieën zijn op het oog geschat, zodanig dat ze zoveel mogelijk overeen komen met de categorieën van de biomassa metingen (tabel 2).

In deze figuur is te zien dat bij de twee monsters zonder bacteriën de concentraties heel geleidelijk toenemen met de schuifspanning. Bij de meeste monsters met bacteriën wordt de opwerveling uitgesteld en is sprake van een meer abrupte toename. Vaak is er een knikpunt op de overstap van een schuifspanning van 0,6 naar 0,9 Pascal. De bovenste limiet van de zwevend stof concentraties metingen werd vaak al bereikt na de volgende stap, naar 1,2 Pascal. Ter vergelijking: waterplanten komen in het Markermeer vooral voor in gebieden waar de maximum schuifspanning kleiner is dan 0,9 Pascal (Van Zuidam & Peeters 2015).

Bij sommige monsters kwam uiteindelijk de gehele bacterielaag los. Dit is waarschijnlijk niet representatief voor de veldsituatie, omdat daar sprake kan zijn van een veel groter areaal met samenhang binnen de laag met bacteriën. Bij monsters met hogere bacterie dichtheden lijkt de variatie wat toe te nemen. Mogelijk was soms ook los slib afgezet bovenop de bacteriemat, dat zich dan weer zou kunnen gedragen als sediment in categorie 0. Dit is echter niet nader onderzocht.



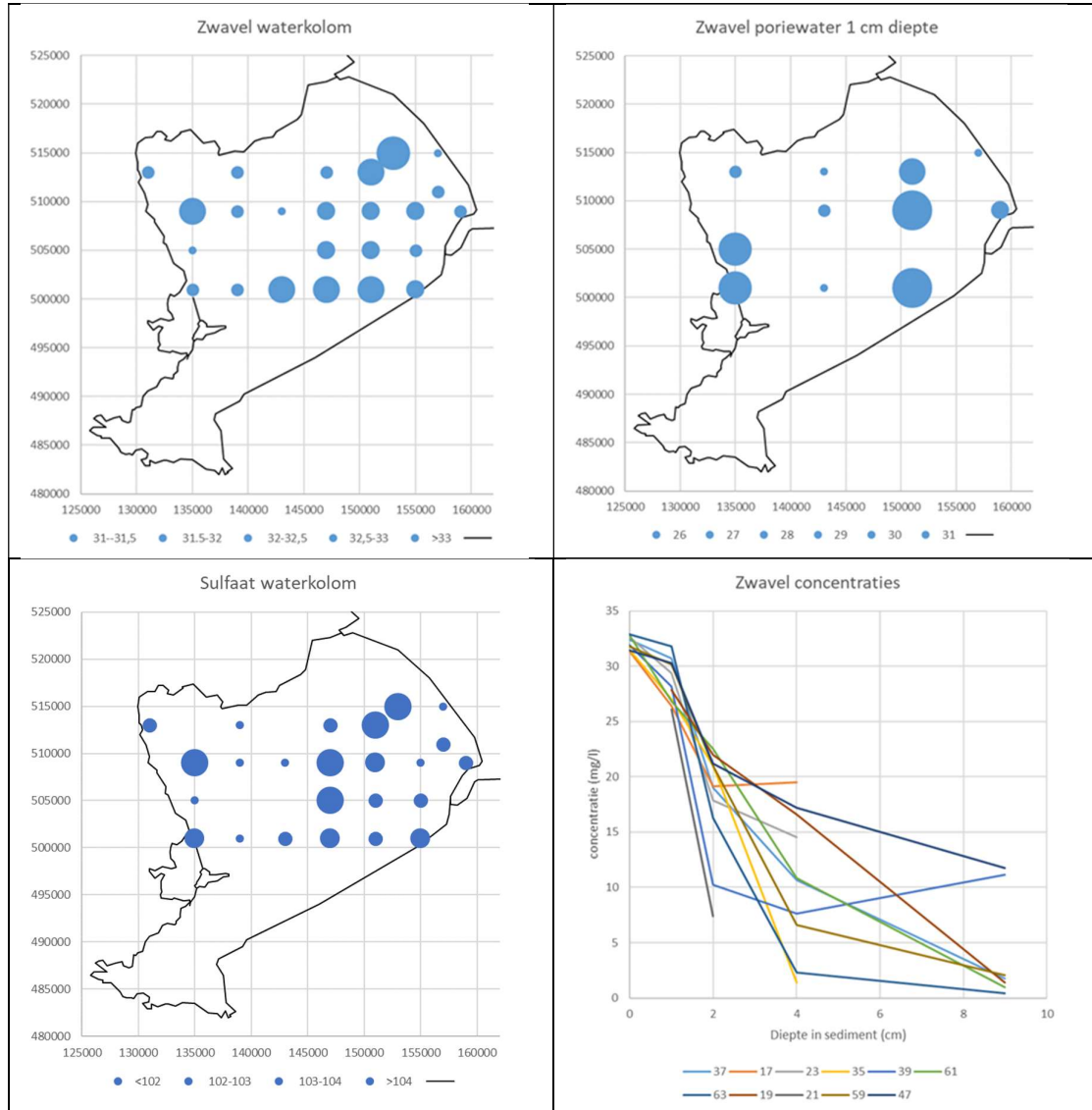
Figuur 9. Weergave van toename van zwevend stof (linker Y-as) in de tijd (X-as, in seconden), waarbij de schuifspanning elke 100 seconden werd verhoogd. Vergeleken met de stapsgewijs verhoogde schuifspanning, berekend uit de stand van de rotor (vane; in zwart, rechter Y-as). Boven monsters zonder zwavelbacterien, daaronder resp. weinig, veel en zeer veel bacterien. Deze corresponderen min of meer met de biomassa's in dezelfde categorie in tabel 2. Categorie 1 werd voor de opwerelingsproeven niet gevonden. Bij categorie 4 had het in blauw weergegeven monster een toplaag met een heterogene samenstelling. Het monster van categorie 4+ wijkt af door een uitzonderlijk hoge bacteriedichtheid.

Kwaliteit oppervlakte- en poriewater

De metingen van stoffen in oppervlakte- en poriewater betreffen gefiltreerde monsters, dus het gaat om de opgeloste fracties van de genoemde elementen.

Zwavel

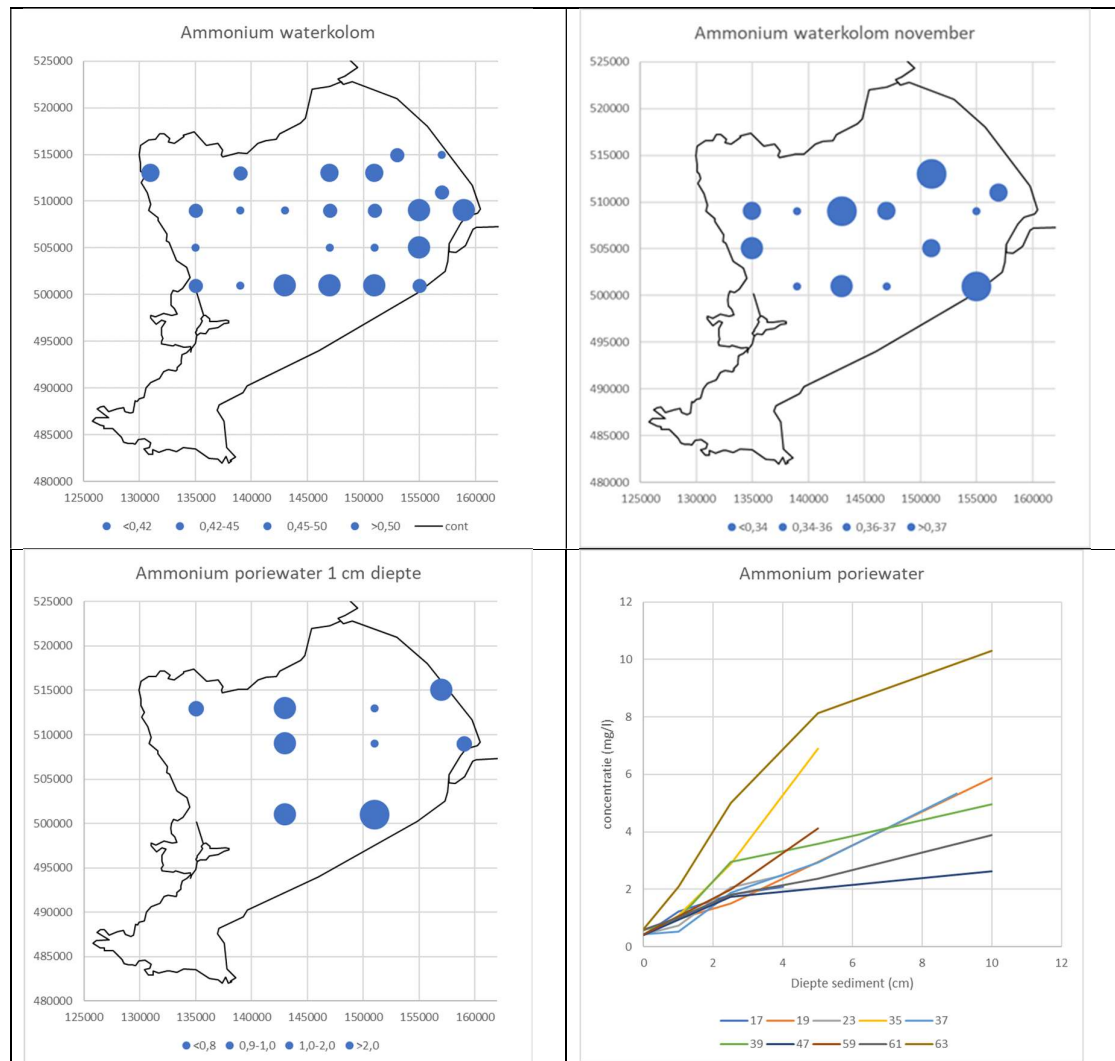
Hierbij gaat het om totaal opgelost zwavel en om sulfaat. De patronen van deze twee parameters zijn vrijwel identiek, het gaat dus in feite in beide gevallen om sulfaat. Zowel in het oppervlaktewater als in de toplaag van het sediment zijn relatief hoge zwavelconcentraties gevonden in het oostelijk deel van het midden van het meer en langs de westkust (figuur 5, bovenste panelen). De verschillen zijn echter relatief klein. De concentraties in het poriewater uit de toplaag van het sediment zijn iets lager dan die in de waterkolom, maar nemen snel af in de diepere lagen van het sediment (figuur 5 rechtsonder). De verhoogde concentraties in het oosten zijn in de tweede sedimentlaag al niet meer zichtbaar (figuur 5 linksonder). De resultaten uit november waren min of meer vergelijkbaar met die uit september (bijlage 6).



Figuur 5. Ruimtelijke patronen van zwavelconcentraties na filtratie in het oppervlaktewater en het poriewater op verschillende dieptes. Rechtsonder het verloop van de concentraties in de bodem op toenemende diepte en op diverse locaties (kleuren). Diepte in cm, 0 = oppervlaktewater.

Stikstof

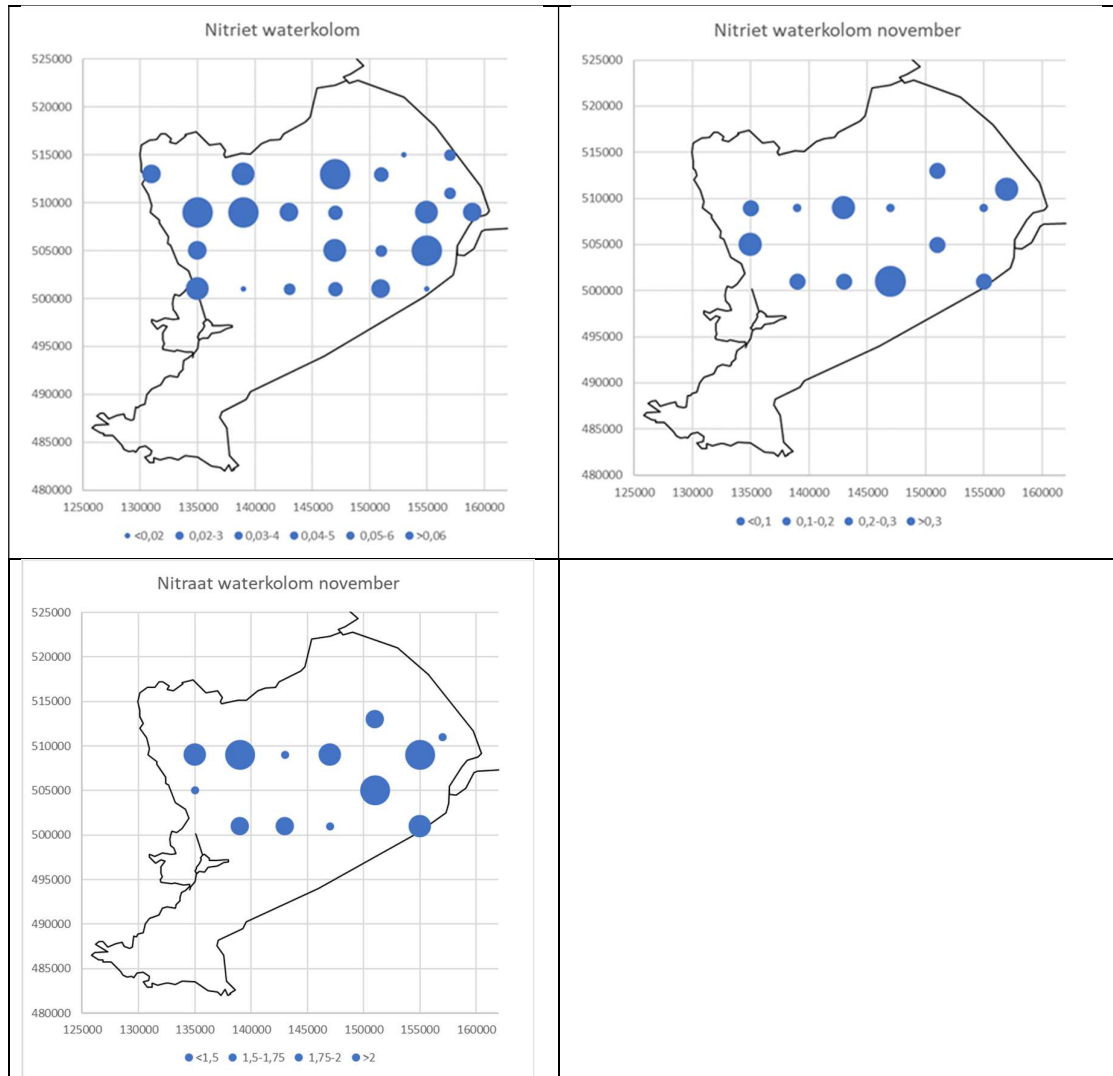
In het oppervlaktewater en in poriewater zijn ook de concentraties van nitraat, nitriet en ammonium bepaald. In september vielen de concentraties nitraat vrijwel overal onder de detectielimiet, zodat geen bruikbaar ruimtelijk beeld kan worden gegeven. Voor ammonium en nitriet kan dat wel. In november waren de nitraatconcentraties beduidend hoger.



Figuur 6. Ruimtelijke patronen van ammonium concentraties na filtratie in het oppervlaktewater en het poriewater.

De ammonium concentraties waren in het algemeen relatief laag in het bacterie concentratie gebied ten zuiden van Marker Wadden, en relatief hoog in de periferie van het meer. In het poriewater namen de concentraties toe met de diepte. Dit suggereert dat ammonium niet het belangrijkste product van nitraatreductie door de zwavelbacterien is, zodat ze mogelijk bijdragen aan verdwijnen van stikstof uit het meer in de vorm van N₂. Bij nitraat en nitriet komen grillige patronen naar voren, zonder duidelijke relatie met de abundantie van

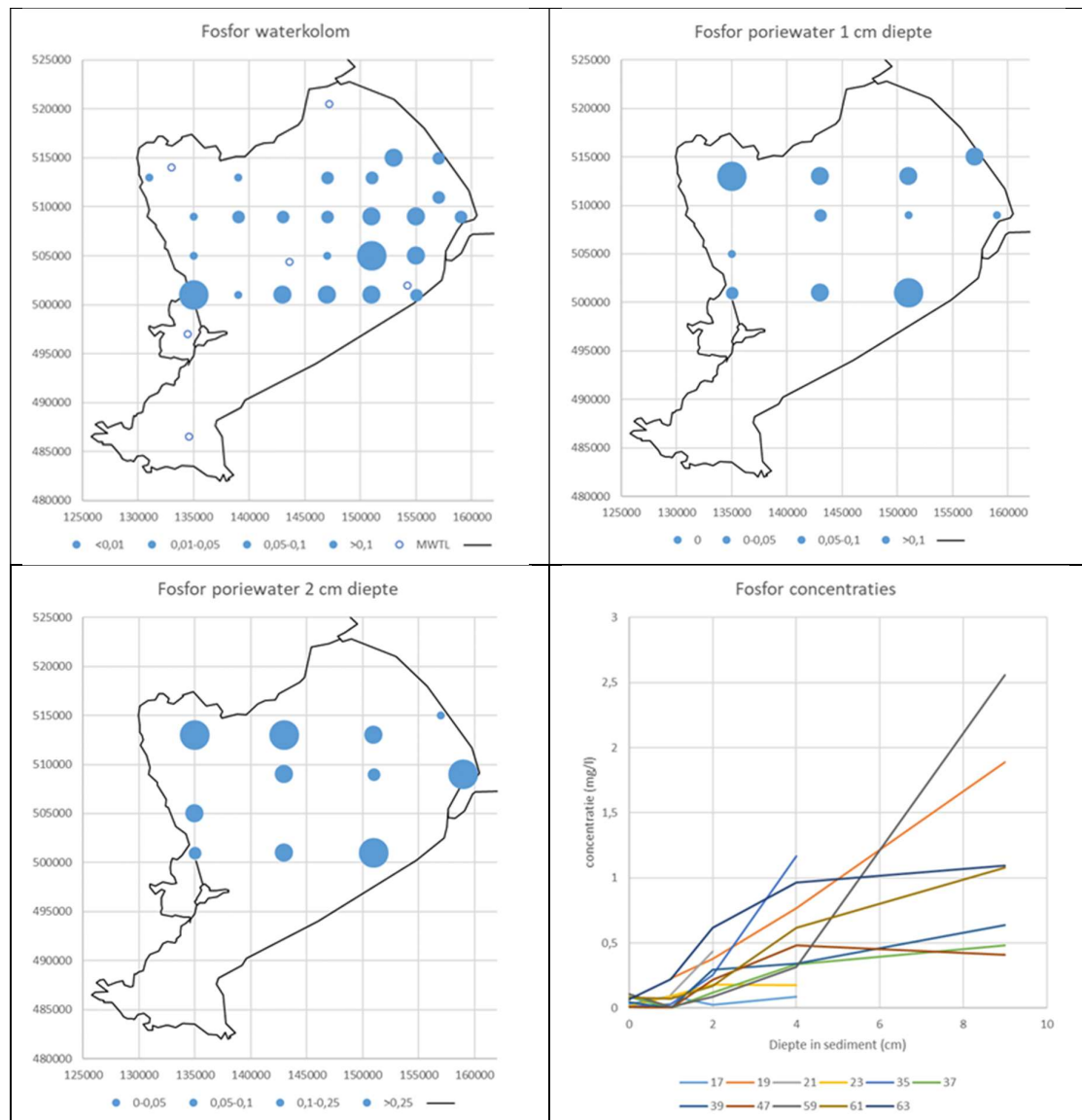
zwavelbacterien. Ook het verticale patroon in het sediment is bij deze parameters onduidelijk, vooral door gebrek aan meetbare waarden.



Figuur 6. Ruimtelijke patronen van nitraat en nitrietconcentraties na filtratie in het oppervlaktewater in september en november.

Fosfor

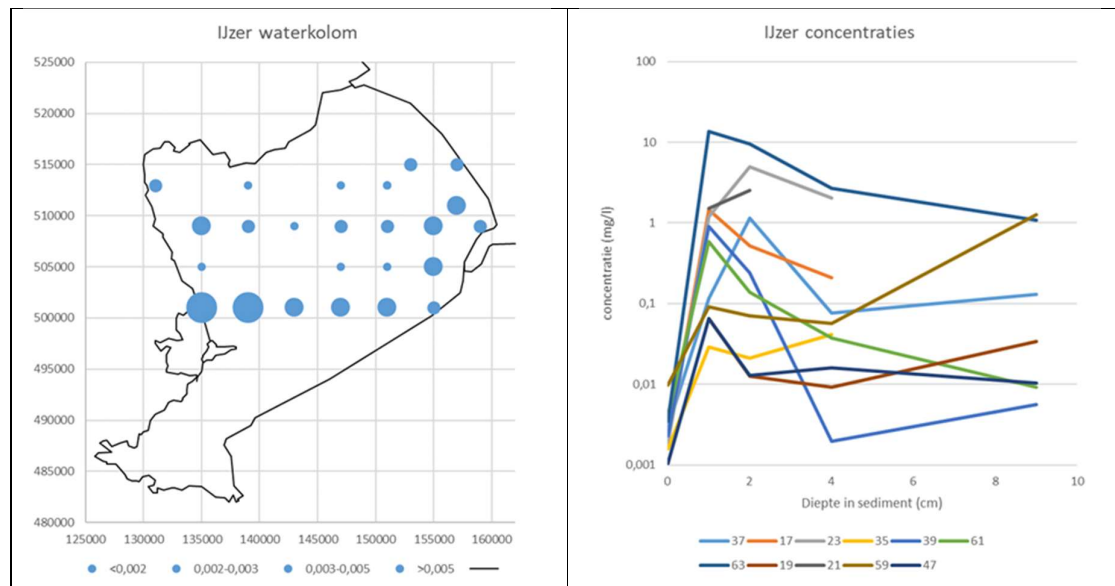
Hierbij gaat het om een combinatie van orthofosfaat en opgelost organisch fosfaat. Net als bij zwavel zijn de concentraties fosfor in de waterkolom (na filtratie) in het oostelijke deel van het midden van het meer het hoogst (figuur 6 linksboven). In het poriewater is dit patroon minder duidelijk (figuur 6 rechtsboven en linksonder). Anders dan bij zwavel neemt de concentratie in poriewater toe met de diepte (figuur 6 rechtsonder). Ook hier zijn de resultaten van november vergelijkbaar met die van september (bijlage 6).



Figuur 6. Ruimtelijke patronen van fosforconcentraties na filtratie in het oppervlaktewater en het poriewater op verschillende dieptes. Rechtsonder het verloop van de concentraties in de bodem op toenemende diepte en op diverse locaties (kleuren). Diepte in cm, 0 = oppervlaktewater.

IJzer

Om de patronen in de concentraties opgelost fosfor in het water te verklaren is ook informatie over de ijzerconcentraties van belang, omdat een groot deel van het fosfaat aan ijzer is gebonden en daardoor niet is vertegenwoordigd in de opgeloste fractie. De ijzerconcentraties laten inderdaad een patroon zien dat min of meer tegengesteld is aan dat van fosfor; relatief hoge concentraties in de periferie van het meer en, afgezien van relatief lage concentraties in de waterkolom, een afname met toenemende diepte in het poriewater (Figuur 7).



Figuur 7. Ruimtelijke patronen van ijzerconcentraties na filtratie in het oppervlaktewater en het poriewater op verschillende dieptes. Rechts het verloop van de concentraties in de bodem op toenemende diepte en op diverse locaties (kleuren). Diepte in cm, 0 = oppervlaktewater.

Overige parameters

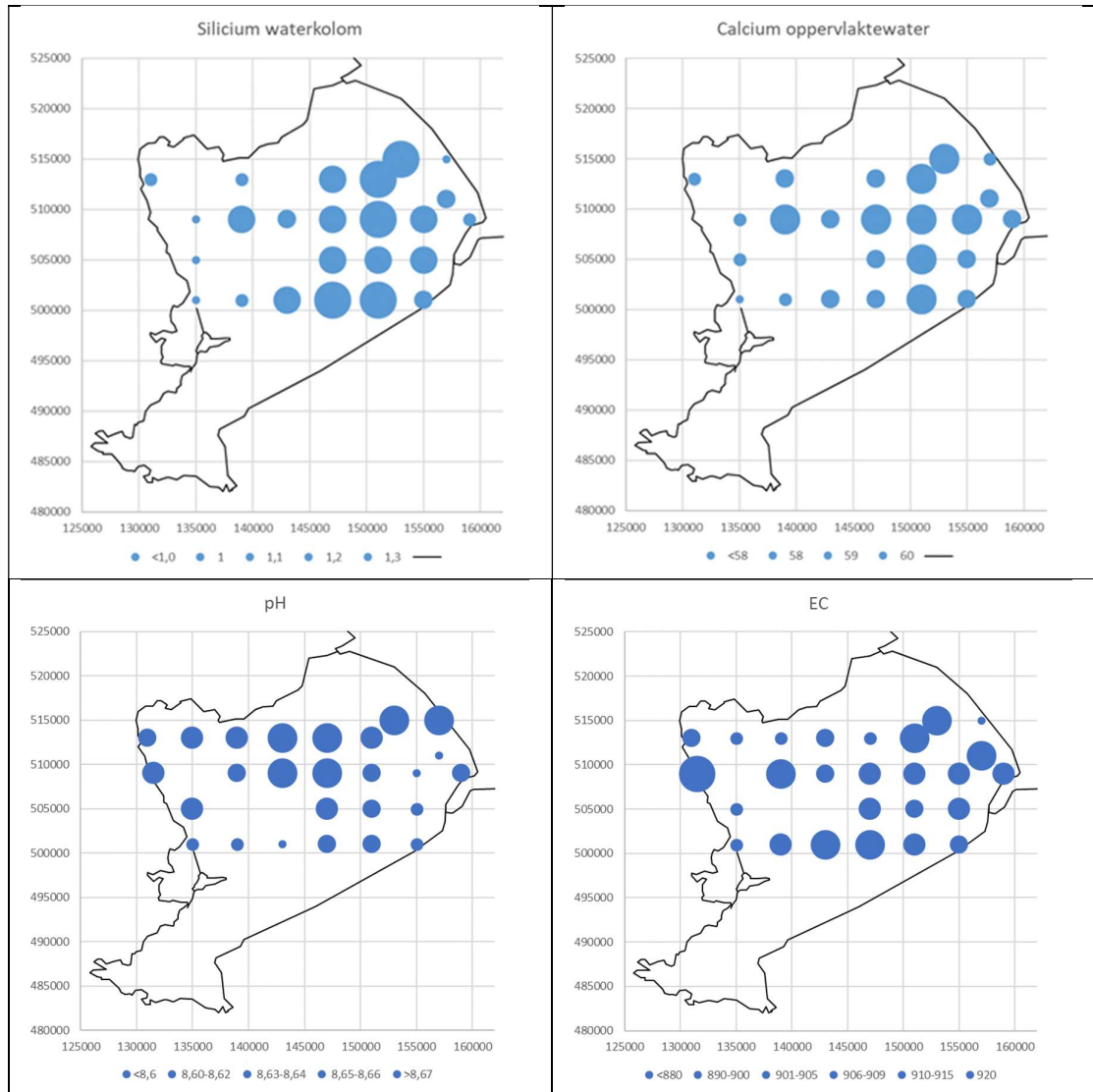
Behalve fosfor laten ook enkele andere parameters, zoals silicium en calcium, enigszins verhoogde concentraties zien (zij het met relatief kleine ruimtelijke verschillen) in een gebied in het oosten van het meer, op enige afstand van de oostkust (oosten van het midden) (figuur 8). Ook de geleidbaarheid was hier (en rond Marker Wadden) iets verhoogd.



Datum
10 november 2019

Ons kenmerk
11204657-002-ZWS-0001

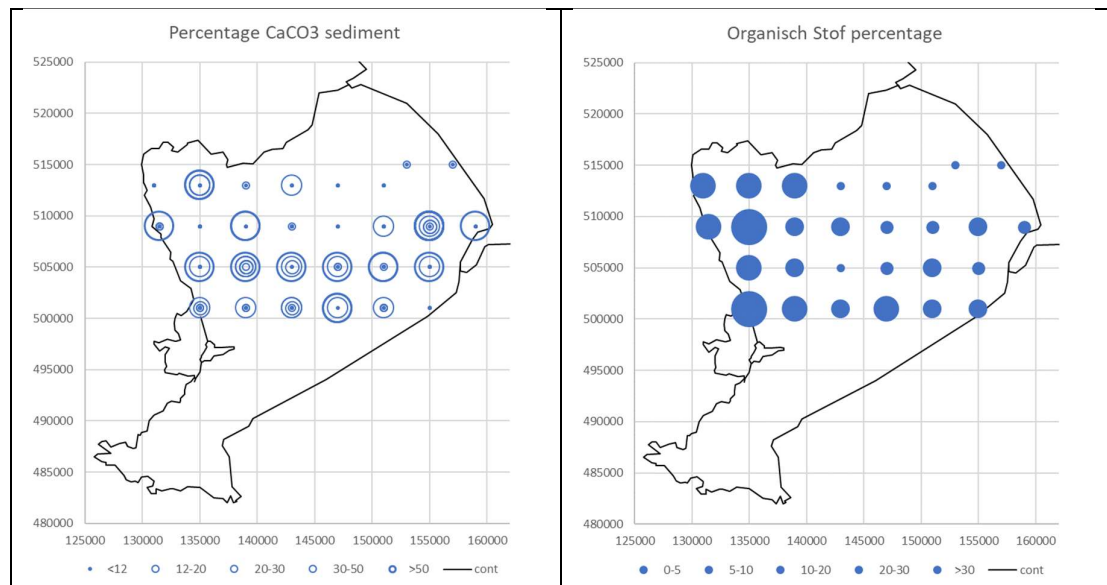
Pagina
27 van 46



Figuur 8. Ruimtelijke patronen van kiezel- en calciumconcentraties na filtratie in het oppervlaktewater.

Eigenschappen sediment

Uit de TGA analyses van september komt een ruimtelijk beeld van enkele kenmerken van het sediment, namelijk het kalkgehalte en het organisch stof gehalte. Het kalkgehalte (CaCO_3) lag bij 96 van de 166 monsters (58%) tussen de 7 en 12% van het totale drooggewicht. Bij de overige monsters was de spreiding zeer groot, met percentages tot 78%. Deze variatie wordt veroorzaakt door het voorkomen van schelpen in het sediment. De hoge waarden kwamen het meest voor op de locaties van de twee meest zuidelijk gelegen oost-west raaien.



Figuur ... Links: Percentage CaCO_3 in het sediment (drooggewicht). Per locatie zijn meerdere waarden weergegeven voor deelmonsters en dieptes. Rechts: Percentage organisch stof van drooggewicht sediment na aftrek van CaCO_3 (gemiddelde waarden van deelmonsters en dieptes per locatie).

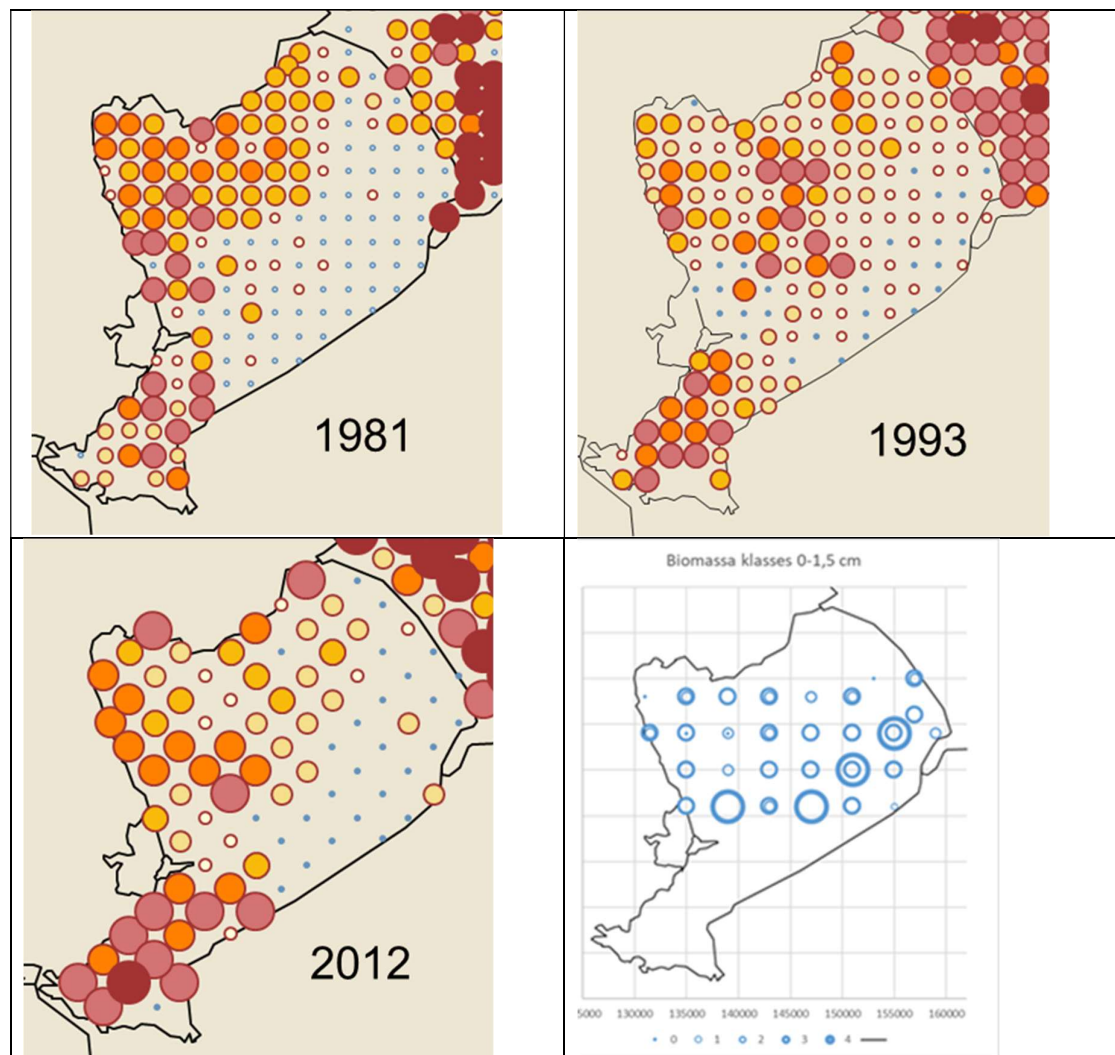
Door de grote variaties in kalkgehalte wordt het ruimtelijke beeld van organisch stof percentages verstoord. Daarom is dit percentage her-berekend na aftrek van de kalk. Dan komt een beeld naar voren met hoge waarden in het westen (waterplanten zone) en in iets mindere mate op de punten van de meest zuidelijke oost-west raai.



Vergelijking met andere data

Driehoeks- en Quaggamosselen versus Thioploca

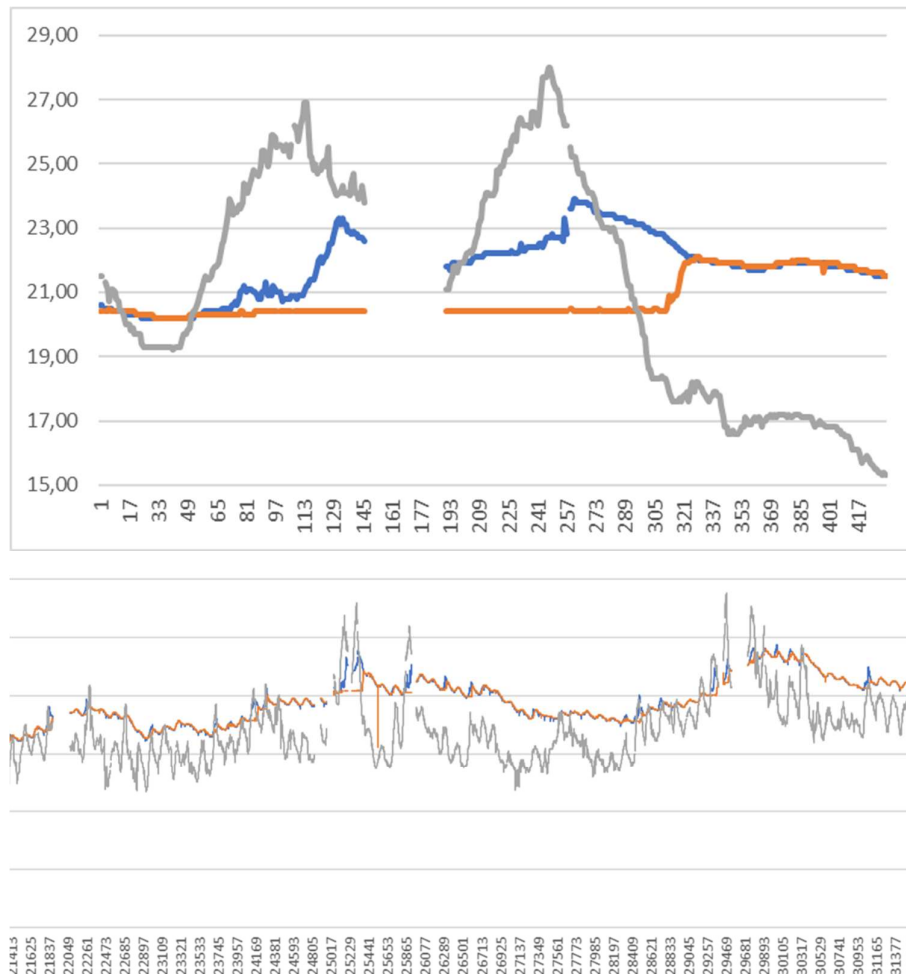
De monsters voor zwavelbacteriën zijn genomen op een selectie uit de locaties van het meetgrid voor de mosselkarteringen. Daardoor is het gemakkelijk om een vergelijking te maken van de verspreiding van de bacteriën en die van de mosselen. Bij die vergelijking blijkt dat de bulk van de bacteriën, gevormd door de dradenbundels van Thioploca, een verspreiding heeft die ruimtelijk min of meer tegengesteld is aan die van de mosselen. De hoogste dichtheden van de bacteriën komen voor in een gebied ten oosten van het concentratiegebied van de mosselen, die met name in het westen van het meer relatief hoge dichtheden hebben (figuur 9). Hogere dichtheden van de bacteriën in de richting van Marken gaan eveneens samen met lagere mosseldichtheden. De dichtheidsverdeling van de mosselen is over de laatste vier decennia nauwelijks veranderd, hoewel er wel een verschuiving van soorten heeft plaatsgevonden.



Figuur 9. Vergelijking van de dichtheidsverdeling van mosselen in 1981, 1993 (Driehoeksmossel) en 2012 (grotendeels Quaggamossel) en de biomassaverdeling van draadvormige zwavelbacteriën (grotendeels Thioploca) in september 2019.

Zuurstofconcentraties

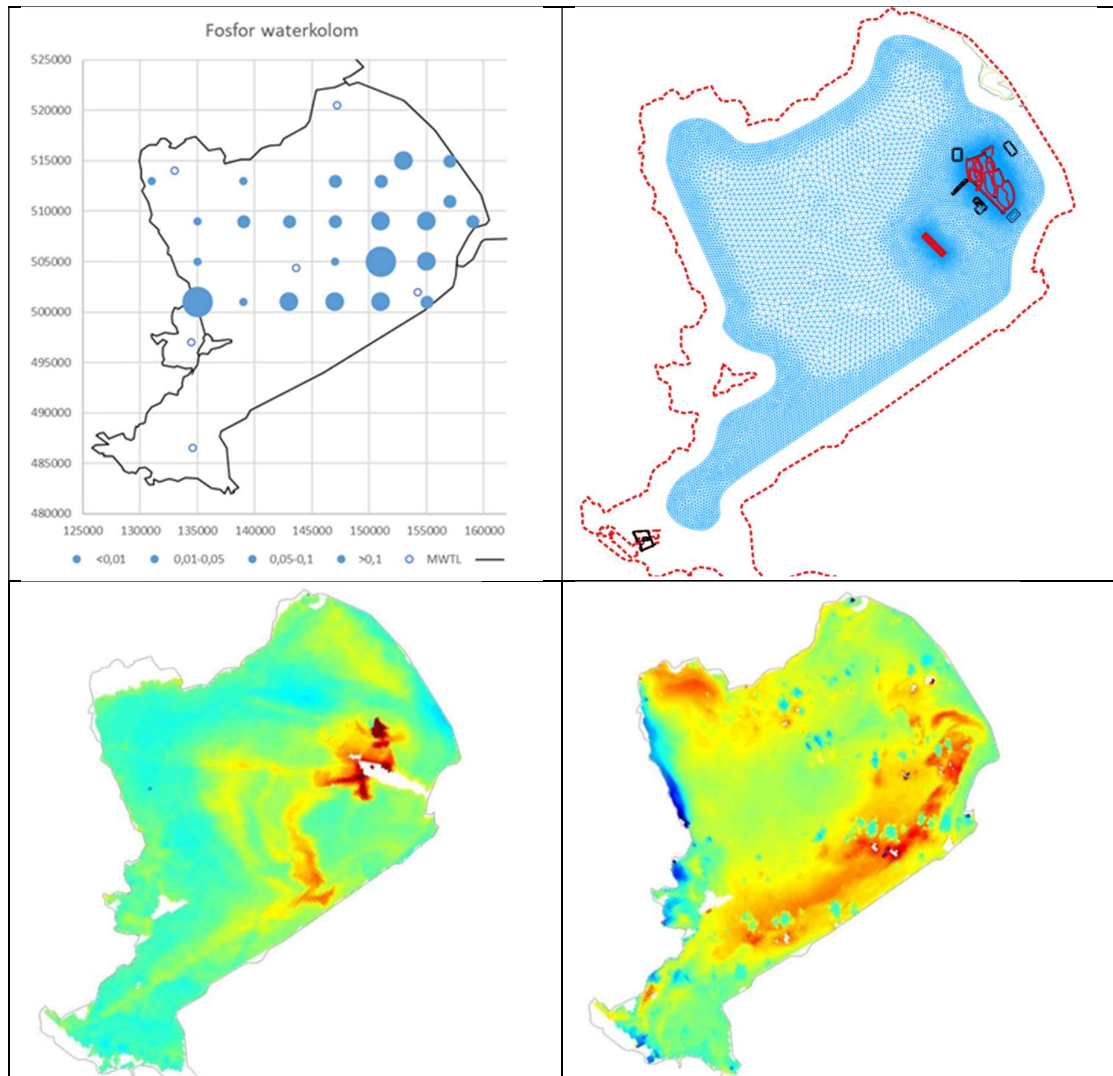
Zuurstofconcentraties zijn op enkele locaties op meerdere dieptes gemeten. Daarbij werd geen stratificatie geconstateerd. In het Markermeer komt geen permanente zomerstratificatie voor buiten de diepe putten (en ook daar treedt mogelijk menging op). Wel ontwikkelt zich dagstratificatie als de luchttemperatuur in de zomer hoger is dan de watertemperatuur. Tijdens warme periodes blijft die “microstratificatie” soms twee of drie dagen in stand. In zulke situaties kan de zuurstofconcentratie in de onderste waterlaag dalen (figuur 10).



Figuur 10. Voorbeeld van dagstratificatie in temperatuur die twee dagen aanhoudt; luchttemp in grijs, bovenste waterlaag in blauw, onderste waterlaag oranje. Gegevens van meetpaal FL42 (Markermeer Midden), 24-26 juni 2019. De onderste figuur geeft een veel langere periode aan en laat zien dat het Markermeer niet permanent gestratificeerd is.

Mogelijke invloed van werkzaamheden

Voor en tijdens de aanleg van Marker Wadden zijn putten gegraven en is veel sediment verplaatst. In de loop van 2019 is een nieuwe put gegraven ten ZW van Marker Wadden. Daarnaast is Trintelzand aangelegd en zijn er werkzaamheden langs de Noord Hollandse kust. Hoewel er geen ruimtelijk gedetailleerde metingen zijn van parameters als fosfaat die van voor de aanleg van Marker Wadden stammen, valt op dat in het ruimtelijke patroon van vooral fosfor, maar ook van enkele andere parameters in de waterkolom, de hoogste waarden voorkomen in gebieden waar recent veel activiteit is geweest. Op satellietbeelden is te zien dat pluimen opgewerveld sediment zich gedurende werkzaamheden vanuit Marker Wadden vaak over grote afstanden in deze richting uitstrekken (Figuur 11).



Figuur 11. Boven: Vergelijking van de ruimtelijke verdeling van fosfor in de waterkolom met een kaart van Marker Wadden en de daaromheen aangelegde putten. Ten noorden van Marker Wadden is in grijs ook Trintelzand weergegeven. Onder: Twee voorbeelden van verschilkaarten tussen de verspreiding van zwevend stof op basis van satellietbeelden en modellering, waarop effecten van de aanleg te zien zijn.

Conclusies

- Draadvormige zwavelbacteriën (*Beggiatoa* en *Thioploca*) zijn gevonden op alle 29 locaties bemonsterd in september, verspreid over het hele Markermeer, en op alle 10 locaties bemonsterd in november.
- *Thioploca* bundels zijn gevonden op 25 van de 29 locaties (86%) in september, en op 8 van de 10 locaties in november, met de hoogste dichtheden in het (zuiden en oosten van het) centrum van het meer.
- Het waren verreweg de meest talrijke draadvormige structuren in de bodem, *Thioploca* was de enige met onderlinge samenhang (vlechtwerken / matten)
- De bulk van de draden komt voor in de bovenste 3 cm van het sediment, bij hoge dichtheid tot 5 cm.
- De gemiddelde biomassa was hoog, met een gemiddeld versgewicht van 172 g/m² over alle locaties in september, en gemiddeld nog hogere waarden in november. In het concentratiegebied kwamen waarden rond 700 g/m² relatief veel voor.
- Resultaten van opwervingsproeven geven een negatieve relatie weer tussen de dichtheid van de bacteriedraden en de mate van opwerveling van het sediment (uitstel van eerste reactie op toenemende schuifspanning, uiteindelijk meer abrupte toename).
- De bacteriën kwamen samen voor met levende algen (kolonies blauwalgen, diatomeeën, *Pediastrum*, *Scenedesmus*, etc.) en bodemfauna (nematoden, ostracoden, ciliaten etc.), en er zijn op basis van zuurstofverbruik en -productie geen aanwijzingen voor negatieve effecten op de activiteit van de overige benthische flora en fauna.
- Het gebied met de grootste biomassa ligt buiten het belangrijkste mosselgebied
- Het gebied met de grootste biomassa heeft een enigszins afwijkende chemie, met vooral relatief hoge concentraties opgelost fosfor in de waterkolom, maar ook enigszins verhoogde concentraties van zwavel, calcium en silicium
- Er is overeenkomst tussen de abundantieverdeling van *Thioploca* en de genoemde chemische parameters enerzijds en de ruimtelijke verdeling van activiteiten zoals graafwerkzaamheden in het kader van de aanleg van Marker Wadden en de dijkverbetering langs de Noord Hollandse kust anderzijds.

Referenties

Bij de Vaate A. & E.A. Jansen 2008. Onderzoek naar de groei en voortplanten van driehoeks- en quaggamosselen in het IJsselmeergebied: resultaten van onderzoek uitgevoerd in 2008. Waterfauna Hydrologisch Adviesbureau, rapport 2008/08, Lelystad.

Bij de Vaate A. & E.A. Jansen 2016. De dichtheid van driehoeks- en quaggamosselen in het Markermeer: resultaten van de kartering uitgevoerd in 2016. Waterfauna Hydrologisch Adviesbureau, rapport 2016/01, Lelystad.

Dermott R. & M. Legner 2002. Dense mat-forming bacterium *Thioploca ingrica* (Beggiatoaceae) in Eastern Lake Ontario: Implications to the benthic food web. *Journal of Great Lakes Research* 28/4: 688-697.

Høgslund S., J.L. Nielsen & L.P. Nielsen 2010. Distribution, ecology and molecular identification of *Thioploca* from Danish brackish water sediments. *Fems Microbiology* 73/1: 110-120.

Kauhl L. 2020. Filamentous sulphur bacteria in Lake Markermeer. Stageverslag Hogeschool Zeeland.

Kojima H., A. Teske & M. Fukui 2003. Morphological and phylogenetic characterizations of freshwater *Thioploca* species from Lake Biwa, Japan, and Lake Constance, Germany. *Microbial Ecology* 69/1: 390-398.

Lengkeek W., S. Bouma & H.W. Waardenburg 2007. Het effect van zuurstofdeficiëntie op het bodemleven in het Grevelingenmeer. Bureau Waardenburg bv, rapport 07-186, Culemborg.

Lengkeek W., S. Boujma & B. van den Boogaard 2010. De verspreiding van witte bacteriematten en schade aan het bodemleven in het Grevelingenmeer. Bureau Waardenburg bv., Culemborg.

Maier S. & W.C. Preissner 1979. Occurrence of *Thioploca* in Lake Constance and Lower Saxony, Germany. *Microbial Ecology* 5/2: 117-119.

Montecino V., P.T. Strub, F. Chavez, A. Thomas, J. Tarazona & T. Baumgartner 2006. Bio-physical interactions off western South America. The benthic, nearshore and intertidal ecosystems. In: A.R. Robinson & K.H. Brink (eds), *Global coastal ocean. Interdisciplinary regional studies and syntheses*. Harvard Univ. Press, Cambridge.

Nolte A., T. Troost, G. de Boer, C. Spiteri & B. van Wesenbeeck 2008. Verkenning oplossingsrichtingen voor een betere waterkwaliteit en ecologische toestand van het Grevelingenmeer. Deltares rapport, Delft.

Penning W., M. Genseberger, R. Uittenbogaard & J. Cornelisse 2013. Quantifying measures to limit wind-driven resuspension of sediments for improvement of the ecological quality in some shallow Dutch lakes. *Hydrobiologia* 710/1: 279-295.

Roskam G. 2019. Monitoring slibbodem Marker Wadden 2019. Memo Deltares, kenmerk 11203758-011-ZWS-0001, Utrecht.



Datum

10 november 2019

Ons kenmerk

11204657-002-ZWS-0001

Pagina

34 van 46

Schulz H.N., B.B. Jørgensen, H.A. Fossing & N.B. Ramsing 1996. Community structure of filamentous, sheath-building sulfur bacteria, *Thioploca* spp., off the coast of Chile. *Appl. Environ. Microbiol.* 62/6: 1855-1862.

Theirlynck T., J.A. Vonk, G. Muyzer & H. van de Geest 2019. Where two worlds meet: marine sediments in a dammed freshwater lake. Poster presentatie UvA, Amsterdam.

Zuidam, B.G. van & E.T.H. Peeters 2015. Wave forces limit the establishment of submerged macrophytes in large shallow lakes. *Limnology and Oceanography* 60: 1536-1549.

Bijlagen

Bijlage 1a. Coördinaten bemonsteringslocaties, diepte en bemonsteringsdata

Coördinaten van de bemonsterde locaties, diepte, bemonsteringsdatum en -tijd met betrekking tot de bemonsteringen in september. Een deel van deze locaties (figuur 1) is opnieuw bezocht op 5 november 2019.

| lokatie | X | Y | waypoint | datum | tijd | latitude | longitude | diepte |
|---------|--------|--------|----------|-----------|-------|----------|-----------|--------|
| 16 | 153000 | 515000 | wpt0804 | 10-sep-19 | 11:00 | 5,35833 | 52,62201 | 3,4 |
| 17 | 157000 | 515000 | wpt0803 | 10-sep-19 | 10:37 | 5,41582 | 52,62054 | 3,6 |
| 18 | 131000 | 513000 | wpt0816 | 10-sep-19 | 14:30 | 5,03854 | 52,60229 | 2,3 |
| 19 | 135000 | 513000 | wpt0815 | 10-sep-19 | 14:11 | 5,09534 | 52,60302 | 3,1 |
| 20 | 139000 | 513000 | wpt0814 | 10-sep-19 | 13:58 | 5,15305 | 52,60363 | 3,5 |
| 21 | 143000 | 513000 | wpt0811 | 10-sep-19 | 13:05 | 5,21436 | 52,60283 | 3,6 |
| 22 | 147000 | 513000 | wpt0810 | 10-sep-19 | 13:05 | 5,27061 | 52,60320 | 3,8 |
| 23 | 151000 | 513000 | wpt0805 | 10-sep-19 | 11:12 | 5,32838 | 52,60301 | 3,4 |
| 31 | 157000 | 511000 | wpt0802 | 10-sep-19 | 10:20 | 5,41448 | 52,58698 | 3,6 |
| 32 | 131500 | 509000 | wpt0817 | 10-sep-19 | 14:39 | 5,04587 | 52,56788 | 2,1 |
| 33 | 135000 | 509000 | wpt0819 | 12-sep-19 | 9:45 | 5,09681 | 52,56811 | 3 |
| 34 | 139000 | 509000 | wpt0813 | 10-sep-19 | 13:47 | 5,15420 | 52,56814 | 3,4 |
| 35 | 143000 | 509000 | wpt0812 | 10-sep-19 | 13:29 | 5,21259 | 52,56553 | 3,8 |
| 36 | 147000 | 509000 | wpt0809 | 10-sep-19 | 12:33 | 5,26978 | 52,56737 | 3,8 |
| 37 | 151000 | 509000 | wpt0806 | 10-sep-19 | 11:29 | 5,32984 | 52,56742 | 4 |
| 38 | 155000 | 509000 | wpt0800 | 10-sep-19 | 9:51 | 5,38608 | 52,56566 | 3,8 |
| 39 | 159000 | 509000 | wpt0801 | 10-sep-19 | 10:05 | 5,44605 | 52,56764 | 4,3 |
| 47 | 135000 | 505000 | wpt0818 | 10-sep-19 | 14:54 | 5,09591 | 52,53286 | 2,7 |
| 48 | 139000 | 505000 | wpt0820 | 12-sep-19 | 10:08 | 5,15352 | 52,53206 | 3,5 |
| 49 | 143000 | 505000 | wpt0821 | 12-sep-19 | 10:29 | 5,21490 | 52,53287 | 3,7 |
| 50 | 147000 | 505000 | wpt0808 | 10-sep-19 | 12:05 | 5,27170 | 52,53222 | 3,9 |
| 51 | 151000 | 505000 | wpt0807 | 10-sep-19 | 11:51 | 5,33294 | 52,53800 | 4 |
| 52 | 155000 | 505000 | wpt0799 | 10-sep-19 | 9:38 | 5,38633 | 52,53199 | 4,1 |
| 59 | 135000 | 501000 | wpt0793 | 10-sep-19 | 8:07 | 5,09481 | 52,49826 | 2,4 |
| 60 | 139000 | 501000 | wpt0794 | 10-sep-19 | 8:22 | 5,15448 | 52,49928 | 3,2 |
| 61 | 143000 | 501000 | wpt0795 | 10-sep-19 | 8:38 | 5,21341 | 52,49641 | 3,7 |
| 62 | 147000 | 501000 | wpt0796 | 10-sep-19 | 8:53 | 5,26901 | 52,49562 | 3,9 |
| 63 | 151000 | 501000 | wpt0797 | 10-sep-19 | 9:05 | 5,33003 | 52,49711 | 3,9 |
| 64 | 155000 | 501000 | wpt0798 | 10-sep-19 | 9:25 | 5,38568 | 52,49715 | 3,5 |

Datum
10 november 2019

Ons kenmerk
11204657-002-ZWS-0001

Pagina
36 van 46

Bijlage 1b. Zuurgraad, geleidbaarheid en temperatuur op de mosterlocaties

Enkele eigenschappen van het water per locatie tijdens de september survey.

| Location Nr. | pH | EC | Temp |
|--------------|---------|---------|---------|
| 16 | 8,68 | 910 | 16,6 |
| 17 | 8,69 | 879 | 16,3 |
| 18 | 8,64 | 902 | 16,7 |
| 19 | 8,65 | 896 | 16,7 |
| 20 | 8,66 | 893 | 16,9 |
| 21 | 8,69 | 904 | 16,8 |
| 22 | 8,69 | 900 | 16,7 |
| 23 | 8,66 | 911 | 16,5 |
| 31 | 8,53 | 911 | 16,5 |
| 32 | 8,66 | 920 | 16,6 |
| 33 | No data | No data | No data |
| 34 | 8,64 | 911 | 16,7 |
| 35 | 8,67 | 904 | 17 |
| 36 | 8,7 | 906 | 16,8 |
| 37 | 8,64 | 909 | 16,8 |
| 38 | 8,56 | 906 | 16,6 |
| 39 | 8,63 | 906 | 16,5 |
| 47 | 8,66 | 893 | 16,5 |
| 47 | 8,65 | 893 | 16,5 |
| 47 | 8,65 | 894 | 16,5 |
| 48 | No data | No data | No data |
| 49 | No data | No data | No data |
| 50 | 8,65 | 909 | 16,8 |
| 51 | 8,64 | 904 | 16,9 |
| 52 | 8,61 | 906 | 16,6 |
| 59 | 8,62 | 897 | 16,1 |
| 59 | 8,62 | 896 | 16,1 |
| 59 | 8,62 | 896 | 16,1 |
| 60 | 8,62 | 906 | 16,2 |
| 61 | 8,57 | 911 | 16,5 |
| 62 | 8,64 | 913 | 16,5 |
| 63 | 8,63 | 906 | 16,6 |
| 64 | 8,63 | 905 | 16,6 |
| 64 | 8,62 | 905 | 16,6 |
| 64 | 8,62 | 905 | 16,6 |
| 64 | 8,61 | 905 | 16,6 |



Datum

10 november 2019

Ons kenmerk

11204657-002-ZWS-0001

Pagina

37 van 46

Bijlage 2a. Dichtheidsklassen zwavelbacteriën op basis van microscoopmonsters

Tellingen van aantallen draden van *Beggiatoa* en *Thioploca* in microscoop samples.

Datum: De datum waarop het monster is bekeken (levend materiaal). De monsters zijn genomen op 10 en 12 september.

Deelmonster: Van een groot deel van de locaties zijn samples uit twee steekbuismonsters bekeken.

Diepte: 1 = bovenste 1,5 cm van het steekbuismonster, 2 = 1,5-3 cm diepte, 3 = 3-5 cm, 4 = 5-7,5 cm.

Beggiatoa en *Thioploca* abundantie: 1 = 1-10 draden of bundels 2 = 10-50, 3 = 50-100, 4 = >100.



Datum
10 november 2019

Ons kenmerk
11204657-002-ZWS-0001

Pagina
38 van 46

| Datum uitwe | Locatie | Deelmonst | Diepte | Beggiatoa | Thioploca | Datum uitwe | Locatie | Deelmonst | Diepte | Beggiatoa | Thioploca |
|-------------|---------|-----------|--------|-----------|-----------|-------------|---------|-----------|--------|-----------|-----------|
| 25-9-2019 | 16 | 1 | 1 | 1 | 1 | 27-9-2019 | 38 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 27-9-2019 | 16 | 2 | 1 | 1 | 1 | 27-9-2019 | 38 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 19-9-2019 | 17 | 1 | 1 | 2 | 0 | 27-9-2019 | 38 | 2 | 3 | 0 | 0 |
| 19-9-2019 | 17 | 1 | 2 | 1 | 1 | 27-9-2019 | 39 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| 4-10-2019 | 17 | 2 | 1 | 2 | 1 | 15-10-2019 | 39 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| 4-10-2019 | 17 | 2 | 2 | 2 | 1 | 27-9-2019 | 47 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 26-9-2019 | 18 | 2 | 1 | 1 | 1 | 27-9-2019 | 47 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| 26-9-2019 | 18 | 2 | 2 | 1 | 1 | 7-10-2019 | 47 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 1-10-2019 | 18 | 2 | 3 | 1 | 0 | 9-10-2019 | 47 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 7-10-2019 | 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9-10-2019 | 47 | 2 | 3 | 0 | 0 |
| 9-10-2019 | 19 | 1 | 2 | 0 | 1 | 24-9-2019 | 48 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 9-10-2019 | 19 | 1 | 3 | 1 | 0 | 24-9-2019 | 48 | 1 | 2 | 1 | 4 |
| 11-10-2019 | 19 | 1 | 4 | 0 | 0 | 24-9-2019 | 48 | 1 | 3 | 0 | 0 |
| 25-9-2019 | 19 | 2 | 1 | 2 | 0 | 27-9-2019 | 49 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 25-9-2019 | 19 | 2 | 2 | 1 | 0 | 27-9-2019 | 49 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 25-9-2019 | 19 | 2 | 3 | 1 | 0 | 27-9-2019 | 49 | 1 | 3 | 0 | 1 |
| 25-9-2019 | 19 | 2 | 4 | 0 | 0 | 27-9-2019 | 49 | 1 | 4 | 0 | 0 |
| 27-9-2019 | 20 | 2 | 1 | 1 | 1 | 26-9-2019 | 50 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 7-10-2019 | 20 | 2 | 2 | 1 | 2 | 26-9-2019 | 50 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 7-10-2019 | 20 | 2 | 3 | 1 | 1 | 26-9-2019 | 50 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 10-10-2019 | 20 | 2 | 4 | 0 | 0 | 26-9-2019 | 50 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 9-10-2019 | 21 | 1 | 1 | 2 | 2 | 26-9-2019 | 50 | 2 | 3 | 0 | 0 |
| 9-10-2019 | 21 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1-10-2019 | 51 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 24-9-2019 | 21 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1-10-2019 | 51 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 24-9-2019 | 21 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1-10-2019 | 51 | 1 | 3 | 0 | 0 |
| 24-9-2019 | 21 | 2 | 3 | 0 | 0 | 24-9-2019 | 51 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 19-9-2019 | 22 | 1 | 1 | 1 | 1 | 24-9-2019 | 51 | 2 | 2 | 0 | 1 |
| 19-9-2019 | 22 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1-10-2019 | 51 | 2 | 3 | 0 | 0 |
| 7-10-2019 | 22 | 2 | 1 | 2 | 1 | 19-9-2019 | 52 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10-10-2019 | 22 | 2 | 2 | 1 | 2 | 25-9-2019 | 52 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 10-10-2019 | 22 | 2 | 3 | 0 | 0 | 25-9-2019 | 52 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 9-10-2019 | 23 | 1 | 1 | 1 | 1 | 25-9-2019 | 52 | 2 | 3 | 0 | 0 |
| 9-10-2019 | 23 | 1 | 2 | 2 | 1 | 4-10-2019 | 52 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 25-9-2019 | 23 | 2 | 1 | 2 | 1 | 4-10-2019 | 52 | 1 | 3 | 0 | 1 |
| 25-9-2019 | 23 | 2 | 2 | 1 | 0 | 4-10-2019 | 52 | 1 | 4 | 0 | 0 |
| 1-10-2019 | 32 | 1 | 1 | 3 | 3 | 19-9-2019 | 59 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| 1-10-2019 | 32 | 1 | 2 | 1 | 1 | 11-10-2019 | 59 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 1-10-2019 | 32 | 1 | 3 | 1 | 0 | 11-10-2019 | 59 | 1 | 3 | 1 | 1 |
| 1-10-2019 | 32 | 1 | 4 | 0 | 0 | 11-10-2019 | 59 | 1 | 4 | 0 | 0 |
| 25-9-2019 | 32 | 2 | 1 | 2 | 1 | 4-10-2019 | 59 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 25-9-2019 | 32 | 2 | 2 | 1 | 0 | 4-10-2019 | 59 | 2 | 3 | 1 | 1 |
| 25-9-2019 | 32 | 2 | 3 | 0 | 0 | 4-10-2019 | 59 | 2 | 4 | 0 | 0 |
| 27-9-2019 | 33 | 1 | 1 | 1 | 0 | 27-9-2019 | 60 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 15-10-2019 | 33 | 1 | 2 | 1 | 1 | 27-9-2019 | 60 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 15-10-2019 | 33 | 1 | 3 | 0 | 0 | 27-9-2019 | 60 | 1 | 3 | 0 | 0 |
| 1-10-2019 | 33 | 2 | 1 | 2 | 2 | 25-9-2019 | 60 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| 1-10-2019 | 33 | 2 | 2 | 2 | 1 | 25-9-2019 | 60 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 1-10-2019 | 33 | 2 | 3 | 1 | 1 | 25-9-2019 | 60 | 2 | 3 | 0 | 0 |
| 1-10-2019 | 33 | 2 | 4 | 0 | 0 | 7-10-2019 | 61 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 26-9-2019 | 34 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15-10-2019 | 61 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 4-10-2019 | 34 | 1 | 2 | 1 | 0 | 15-10-2019 | 61 | 1 | 3 | 0 | 0 |
| 7-10-2019 | 34 | 2 | 1 | 2 | 1 | 24-9-2019 | 61 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 10-10-2019 | 34 | 2 | 2 | 1 | 0 | 24-9-2019 | 61 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 11-10-2019 | 34 | 2 | 3 | 0 | 0 | 1-10-2019 | 61 | 2 | 3 | 0 | 0 |
| 27-9-2019 | 35 | 1 | 1 | 1 | 1 | 26-9-2019 | 62 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| 27-9-2019 | 35 | 1 | 2 | 0 | 0 | 26-9-2019 | 62 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 7-10-2019 | 35 | 2 | 1 | 1 | 1 | 26-9-2019 | 62 | 1 | 3 | 0 | 0 |
| 10-10-2019 | 35 | 2 | 2 | 2 | 3 | 10-10-2019 | 63 | 1 | 1 | 3 | 0 |
| 10-10-2019 | 35 | 2 | 3 | 0 | 0 | 10-10-2019 | 63 | 1 | 2 | 1 | 0 |
| 19-9-2019 | 36 | 1 | 1 | 1 | 0 | 19-9-2019 | 63 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| 19-9-2019 | 36 | 1 | 2 | 1 | 0 | 19-9-2019 | 63 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| 19-9-2019 | 36 | 1 | 3 | 0 | 0 | 19-9-2019 | 63 | 2 | 3 | 0 | 0 |
| 26-9-2019 | 37 | 1 | 1 | 1 | 2 | 19-9-2019 | 63 | 2 | 4 | 0 | 0 |
| 26-9-2019 | 37 | 1 | 2 | 1 | 1 | 19-9-2019 | 63 | 2 | 5 | 0 | 0 |
| 4-10-2019 | 37 | 2 | 1 | 2 | 2 | 19-9-2019 | 63 | 2 | 6 | 0 | 0 |
| 4-10-2019 | 37 | 2 | 2 | 1 | 0 | 19-9-2019 | 63 | 2 | 7 | 0 | 0 |
| 4-10-2019 | 37 | 2 | 3 | 0 | 0 | 19-9-2019 | 63 | 2 | 8 | 0 | 0 |
| 24-9-2019 | 38 | 1 | 1 | 1 | 2 | 19-9-2019 | 63 | 2 | 9 | 0 | 0 |
| 24-9-2019 | 38 | 1 | 2 | 1 | 1 | 25-9-2019 | 64 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 24-9-2019 | 38 | 1 | 3 | 1 | 1 | 25-9-2019 | 64 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| 24-9-2019 | 38 | 1 | 4 | 0 | 0 | 25-9-2019 | 64 | 1 | 3 | 0 | 0 |

Bijlage 2b. Dichtheidsklasses zwavelbacteriën op basis van microscoopmonsters

Tellingen van aantallen draden van *Beggiatoa* en *Thioploca* in microscoop samples.
Datum: De datum waarop het monster is bekeken (levend materiaal). De monsters zijn genomen op 5 november. Zie bijlage 2a voor details.

| Datum uitwerking | Locatie | Deelmonster | Diepte | Beggiatoa | Thioploca |
|------------------|---------|-------------|--------|-----------|-----------|
| 14-11-2019 | 23 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 14-11-2019 | 23 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 19-11-2019 | 23 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 19-11-2019 | 23 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 15-11-2019 | 31 | 1 | 1 | 4 | 2 |
| 15-11-2019 | 31 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 15-11-2019 | 31 | 1 | 3 | 0 | 0 |
| 18-11-2019 | 34 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 18-11-2019 | 34 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 18-11-2019 | 34 | 1 | 3 | 0 | 0 |
| 15-11-2019 | 35 | 1 | 1 | 2 | 0 |
| 15-11-2019 | 35 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 15-11-2019 | 35 | 1 | 3 | 1 | 1 |
| 15-11-2019 | 35 | 1 | 4 | 0 | 0 |
| 19-11-2019 | 35 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 19-11-2019 | 35 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 19-11-2019 | 35 | 2 | 3 | 0 | 0 |
| 15-11-2019 | 38 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 15-11-2019 | 38 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 15-11-2019 | 38 | 1 | 3 | 1 | 1 |
| 15-11-2019 | 38 | 1 | 4 | 0 | 0 |
| 19-11-2019 | 51 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 19-11-2019 | 51 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 19-11-2019 | 51 | 2 | 3 | 0 | 1 |
| 19-11-2019 | 51 | 2 | 4 | 0 | 0 |
| 14-11-2019 | 51 | 3 | 1 | 4 | 4 |
| 14-11-2019 | 51 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 14-11-2019 | 51 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| 14-11-2019 | 51 | 3 | 4 | 1 | 0 |
| 19-11-2019 | 60 | 1 | 1 | 4 | 3 |
| 19-11-2019 | 60 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 19-11-2019 | 60 | 1 | 3 | 0 | 0 |
| 18-11-2019 | 60 | 3 | 1 | 3 | 2 |
| 18-11-2019 | 60 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| 18-11-2019 | 60 | 3 | 3 | 0 | 0 |
| 18-11-2019 | 61 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 18-11-2019 | 61 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| 18-11-2019 | 61 | 2 | 3 | 0 | 0 |
| 22-11-2019 | 62 | 1 | 1 | 4 | 4 |
| 22-11-2019 | 62 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 22-11-2019 | 62 | 1 | 3 | 0 | 1 |
| 22-11-2019 | 62 | 1 | 4 | 0 | 0 |
| 22-11-2019 | 62 | 2 | 1 | 4 | 3 |
| 22-11-2019 | 62 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 22-11-2019 | 62 | 2 | 3 | 1 | 1 |
| 22-11-2019 | 62 | 2 | 4 | 0 | 0 |
| 18-11-2019 | 63 | 3 | 1 | 2 | 0 |
| 18-11-2019 | 63 | 3 | 2 | 0 | 0 |

Bijlage 3. Biomassa klasse van draadvormige zwavelbacteriën

Abundantieklassen van biomassamonsters per laag. Laag 1 = 0-1,5 cm diepte, laag 2 = 1,5-3 cm diepte, laag 3 = 3-5 cm, laag 4 = 5-7,5 cm diepte. Klasse 0 = geen draden zichtbaar, 1 = mogelijk aanwezig, 2 = enkele aanwezig, 3 = veel draden, 4 = kluwen van draden

September monsters:

| Locatie | Deelmonster 1 | | | | Deelmonster 2 | | | |
|---------|---------------|--------|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|
| | Laag 1 | Laag 2 | Laag 3 | Laag 4 | Laag 1 | Laag 2 | Laag 3 | Laag 4 |
| 16 | 0 | | | | 0 | | | |
| 17 | 2 | 0 | | | 3 | 2 | | |
| 18 | | | | | 0 | | | |
| 19 | 2 | 2 | 0 | | 3 | 2 | 0 | |
| 20 | | | | | 3 | 0 | | |
| 21 | 3 | 3 | | | 2 | 1 | | |
| 22 | 2 | 0 | | | 2 | 0 | | |
| 23 | 2 | 2 | | | 3 | 2 | | |
| 31 | 3 | 3 | | | | | | |
| 32 | 3 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | |
| 33 | 0 | 0 | | | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 34 | 0 | | | | 2 | 2 | 0 | |
| 35 | 2 | 0 | 0 | | 3 | 2 | 0 | |
| 36 | 3 | 0 | | | | | | |
| 37 | 3 | 2 | 0 | | 3 | 3 | 3 | 0 |
| 38 | 3 | 3 | 2 | 0 | 4 | 3 | 3 | 0 |
| 39 | 2 | 1 | 0 | | | | | |
| 47 | 3 | 0 | | | 3 | 2 | 0 | |
| 48 | 2 | 0 | | | | | | |
| 49 | 3 | 3 | 3 | 2 | | | | |
| 50 | 3 | 2 | | | 3 | 2 | 0 | |
| 51 | 3 | 2 | | | 4 | 3 | 2 | |
| 52 | 3 | 3 | 0 | | 3 | 3 | 1 | |
| 59 | 3 | 2 | 0 | | 3 | 2 | 0 | |
| 60 | 4 | 3 | 0 | | | 3 | 0 | |
| 61 | 3 | 3 | 0 | | 2 | 0 | | |
| 62 | 4 | 3 | 0 | | | | | |
| 63 | 3 | 2 | 0 | | 3 | 0 | | |
| 64 | 1 | 0 | | | | | | |

November monsters:

| Locatie | Deelmonster 1 | | | | Deelmonster 2 | | | |
|---------|---------------|--------|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|
| | Laag 1 | Laag 2 | Laag 3 | Laag 4 | Laag 1 | Laag 2 | Laag 3 | Laag 4 |
| 23 | 1 | 0 | | | 0 | 0 | | |
| 31 | 4 | 4 | 4 | 3 | | | | |
| 34 | 2 | 0 | | | | | | |
| 35 | 2 | 2 | 0 | | 0 | 0 | | |
| 38 | 0 | 0 | | | | | | |
| 51 | 4 | 3 | 2 | 0 | 4 | 3 | 2 | 0 |
| 60 | 4 | 3 | 0 | | 4 | 2 | 0 | |
| 61 | 0 | | | | | | | |
| 62 | 4 | 3 | 2 | 0 | 4 | 4 | 5 | 0 |
| 63 | 2 | 1 | 0 | | | | | |

Bijlage 4. Zuurstofverbruik van sedimentmonsters

Veranderingen in zuurstofconcentraties in donker (SOD; Sediment Oxygen Demand, dus afname in micromol O₂ per m² per uur) en in licht (O₂ productie, dus toename in dezelfde eenheid).

| lokatie | SOD (umol O | O ₂ productie |
|---------|-------------|--------------------------|
| 16 | 90 | 521 |
| 17 | 175 | 165 |
| 18 | 118 | 56 |
| 19 | 115 | 45 |
| 20 | 135 | 172 |
| 21 | 140 | 0 |
| 22 | 124 | 129 |
| 23 | 95 | 160 |
| 31 | 64 | 64 |
| 32 | 82 | 0 |
| 33 | 85 | 0 |
| 34 | 93 | 464 |
| 35 | 93 | 154 |
| 36 | 130 | -26 |
| 37 | 130 | 197 |
| 38 | | |
| 39 | 130 | 0 |
| 47 | 59 | 56 |
| 48 | 122 | 55 |
| 49 | 192 | 148 |
| 50 | 188 | 62 |
| 51 | 117 | 242 |
| 52 | 71 | 10 |
| 59 | 138 | 1492 |
| 60 | 47 | 22 |
| 61 | 165 | 128 |
| 62 | 90 | 132 |
| 63 | 159 | 142 |
| 64 | 98 | 45 |

Bijlage 5. Concentraties stoffen in oppervlaktewater.

Concentraties van een aantal stoffen in oppervlaktewater, na filtratie, in ppm (mg/l), IC (Ion Chromatography) en ICP-OES (Inductive Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry).

| | Calcium | Calcium | IJzer | Fosfaat | Fosfor | Zwavel | Sulfaat | Silicium | ammonium | Nitriet | Nitraat |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|
| Locatie | IC | ICP-OES | ICP-OES | IC | ICP-OES | ICP-OES | IC | ICP-OES | IC | IC | IC |
| september | | | | | | | | | | | |
| 16 | 60,83 | 60,87 | 0,00 | - | 0,08 | 33,12 | 104,07 | 1,32 | 0,42 | 0,01 | <0.32 |
| 17 | 59,83 | 58,11 | 0,00 | <0.07 | 0,03 | 31,35 | 101,58 | 0,95 | 0,42 | 0,03 | <0.36 |
| 18 | 59,94 | 58,85 | 0,00 | - | -0,01 | 31,94 | 102,96 | 1,02 | 0,47 | 0,04 | <0.17 |
| 20 | 59,33 | 59,11 | 0,00 | - | 0,00 | 31,58 | 101,22 | 1,07 | 0,42 | 0,06 | <0.16 |
| 22 | 60,27 | 59,44 | 0,00 | - | 0,03 | 31,85 | 102,36 | 1,24 | 0,45 | 0,06 | <0.19 |
| 23 | 61,00 | 60,02 | 0,00 | - | 0,01 | 32,64 | 104,39 | 1,31 | 0,42 | 0,03 | <0.37 |
| 23 | 59,05 | 57,97 | 0,00 | - | 0,05 | 31,20 | 103,18 | 1,03 | 0,46 | 0,03 | <0.22 |
| 31 | 60,56 | 59,94 | 0,00 | - | 0,03 | 31,96 | 102,87 | 1,18 | 0,44 | 0,03 | 0,50 |
| 33 | 59,88 | 58,67 | 0,00 | <0.03 | 0,00 | 32,71 | 105,72 | 0,99 | 0,43 | 0,08 | <0.18 |
| 34 | 61,50 | 60,56 | 0,00 | - | 0,03 | 31,58 | 101,90 | 1,25 | 0,42 | 0,10 | <0.22 |
| 35 | 60,32 | 59,05 | 0,00 | - | 0,01 | 31,48 | 101,86 | 1,17 | 0,41 | 0,04 | <0.31 |
| 36 | 60,31 | 60,50 | 0,00 | <0.01 | 0,02 | 32,27 | 104,16 | 1,29 | 0,43 | 0,03 | <0.25 |
| 37 | 60,84 | 60,47 | 0,00 | <0.02 | 0,09 | 32,42 | 103,55 | 1,36 | 0,43 | - | <0.43 |
| 38 | 59,69 | 60,00 | 0,00 | - | 0,06 | 32,22 | 101,37 | 1,29 | 0,55 | 0,06 | <0.07 |
| 39 | 59,55 | 59,55 | 0,00 | - | 0,05 | 31,94 | 102,34 | 1,09 | 0,56 | 0,04 | <0.23 |
| 47 | 58,30 | 58,38 | 0,00 | - | 0,01 | 31,42 | 101,62 | 0,97 | 0,42 | 0,05 | <0.15 |
| 50 | 60,45 | 59,89 | 0,00 | - | 0,00 | 32,24 | 104,25 | 1,30 | 0,42 | 0,06 | <0.25 |
| 51 | 60,37 | 60,08 | 0,00 | <0.02 | 0,12 | 32,34 | 102,94 | 1,28 | 0,41 | 0,02 | <0.26 |
| 52 | 59,84 | 59,39 | 0,00 | - | 0,06 | 31,76 | 102,43 | 1,22 | 0,57 | 0,12 | <0.1 |
| 59 | 57,00 | 56,11 | 0,01 | <0.03 | 0,11 | 31,82 | 103,50 | 0,74 | 0,44 | 0,06 | <0.24 |
| 60 | 58,98 | 58,79 | 0,01 | - | 0,01 | 31,70 | 99,47 | 1,08 | 0,32 | 0,01 | <0.07 |
| 61 | 59,84 | 59,87 | 0,00 | - | 0,08 | 32,79 | 102,65 | 1,28 | 0,60 | 0,03 | <0.06 |
| 62 | 60,27 | 59,24 | 0,00 | - | 0,09 | 32,67 | 103,07 | 1,36 | 0,61 | 0,03 | <0.06 |
| 63 | 59,98 | 60,66 | 0,00 | - | 0,07 | 32,91 | 102,55 | 1,33 | 0,61 | 0,04 | <0.09 |
| 64 | 60,33 | 59,63 | 0,00 | <0.02 | 0,02 | 32,24 | 103,43 | 1,14 | 0,42 | 0,01 | <0.01 |
| november | | | | | | | | | | | |
| 23 | 60,34 | - | - | - | - | - | 104,35 | - | 0,38 | 0,18 | 1,59 |
| 31 | 60,35 | - | - | - | - | - | 103,33 | - | 0,34 | 0,24 | 1,28 |
| 33 | 59,83 | - | - | - | - | - | 102,55 | - | 0,35 | 0,11 | 1,93 |
| 34 | 60,70 | - | - | - | - | - | 104,73 | - | 0,34 | 0,09 | 2,05 |
| 35 | 61,70 | - | - | - | - | - | 105,60 | - | 0,38 | 0,22 | 1,31 |
| 36 | 63,10 | - | - | - | - | - | 106,39 | - | 0,35 | 0,09 | 1,95 |
| 38 | 61,79 | - | - | - | - | - | 105,75 | - | 0,34 | 0,08 | 2,33 |
| 47 | 59,68 | - | - | - | - | - | 103,68 | - | 0,37 | 0,22 | 1,43 |
| 51 | 65,89 | - | - | - | - | - | 111,54 | - | 0,34 | 0,13 | 2,18 |
| 60 | 59,89 | - | - | - | - | - | 104,74 | - | 0,33 | 0,14 | 1,71 |
| 61 | 60,06 | - | - | - | - | - | 103,04 | - | 0,36 | 0,14 | 1,63 |
| 62 | 60,33 | - | - | - | - | - | 102,63 | - | 0,34 | 0,33 | 1,20 |
| 63 | 59,74 | - | - | - | - | - | 102,55 | - | 0,37 | 0,12 | 1,82 |

Bijlage 6. Concentraties stoffen in poriewater.

Concentraties van een aantal stoffen in poriewater, na filtratie, in ppm (mg/l), IC (Ion Chromatography) en ICP-OES (Inductive Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry).

| | | Calcium | Calcium | IJzer | Fosfaat | Fosfor | Zwavel | Sulfaat | Silicium | Ammonium | Nitriet | Nitraat |
|-----------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|
| locatie | diepte | IC | ICP-OES | ICP-OES | IC | ICP-OES | ICP-OES | IC | ICP-OES | IC | IC | IC |
| september | | | | | | | | | | | | |
| 37-2 | 1 | 60,08 | 59,19 | 0,12 | - | -0,02 | 30,69 | 98,35 | 2,04 | 0,53 | - | <0.03 |
| 37-2 | 2,5 | 63,22 | 63,51 | 1,15 | - | 0,12 | 19,05 | 57,44 | 7,88 | 1,87 | - | <0.23 |
| 37-2 | 5 | 62,09 | 61,77 | 0,08 | - | 0,33 | 10,64 | 33,34 | 13,69 | 2,94 | 0,03 | <0.03 |
| 37-2 | 9 | 58,52 | 59,96 | 0,13 | <0.39 | 0,48 | 1,73 | 3,28 | 16,25 | 5,32 | - | <0.03 |
| 17-2 | 1 | 62,95 | 62,45 | 1,46 | - | 0,09 | 26,40 | 87,29 | 2,43 | 1,23 | - | - |
| 17-2 | 2,5 | 63,11 | 62,91 | 0,52 | - | 0,02 | 19,12 | 61,02 | 3,29 | 1,80 | - | <0.02 |
| 17-2 | 4 | 62,77 | 62,71 | 0,21 | - | 0,08 | 19,50 | 63,07 | 3,51 | 2,09 | 0,02 | <0.02 |
| 23-1 | 1 | 62,35 | 62,31 | 1,19 | - | 0,09 | 29,35 | 95,67 | 2,58 | 0,73 | 0,02 | <0.05 |
| 23-1 | 2,5 | 63,85 | 64,52 | 4,92 | - | 0,18 | 17,84 | 57,91 | 7,14 | 2,06 | - | <0.03 |
| 23-1 | 4 | 65,22 | 65,49 | 2,05 | - | 0,17 | 14,51 | 45,62 | 8,50 | 2,49 | 0,02 | <0.02 |
| 35-2 | 1 | 58,88 | 59,20 | 0,03 | - | 0,03 | 27,00 | 87,20 | 2,23 | 1,10 | - | <0.02 |
| 35-2 | 2,5 | 50,97 | 51,21 | 0,02 | <0.09 | 0,25 | 20,99 | 70,98 | 5,62 | 2,88 | - | - |
| 35-2 | 5 | 40,65 | 41,17 | 0,04 | 3,64 | 1,17 | 1,39 | 2,86 | 22,60 | 6,89 | - | <0.04 |
| 39-1 | 1 | 62,28 | 61,66 | 0,91 | <0.05 | -0,01 | 28,14 | 95,51 | 2,71 | 0,96 | - | - |
| 39-1 | 2,5 | 60,04 | 59,23 | 0,24 | <0.55 | 0,30 | 10,21 | 33,95 | 9,58 | 2,96 | - | <0.02 |
| 39-1 | 5 | 57,19 | 58,08 | 0,00 | 1,70 | 0,34 | 7,66 | 24,17 | 13,86 | 3,59 | - | <0.03 |
| 39-1 | 10 | 55,07 | 64,85 | 0,01 | <0.11 | 0,64 | 11,17 | 22,48 | 19,15 | 4,96 | - | <0.12 |
| 61-1 | 1 | 60,08 | 60,46 | 0,58 | - | 0,07 | 26,85 | 86,60 | 5,39 | 1,01 | 0,03 | <0.02 |
| 61-1 | 2,5 | 59,72 | 59,97 | 0,14 | <0.17 | 0,17 | 22,54 | 76,14 | 10,54 | 1,81 | - | <0.05 |
| 61-1 | 5 | 56,02 | 57,96 | 0,04 | - | 0,62 | 10,84 | 32,45 | 19,01 | 2,37 | - | <0.07 |
| 61-1 | 10 | 46,08 | 48,07 | 0,01 | - | 1,08 | 0,98 | 3,03 | 24,83 | 3,89 | 0,05 | <0.03 |
| 63-1 | 1 | 94,38 | 95,22 | 13,66 | - | 0,22 | 31,82 | 102,85 | 7,21 | 2,10 | 0,02 | <0.03 |
| 63-1 | 2,5 | 101,40 | 99,95 | 9,64 | <0.55 | 0,62 | 16,30 | 53,78 | 14,17 | 5,01 | - | - |
| 63-1 | 5 | 90,35 | 91,11 | 2,67 | <0.66 | 0,96 | 2,32 | 5,82 | 18,54 | 8,12 | - | - |
| 63-1 | 10 | 80,25 | 83,16 | 1,08 | 1,32 | 1,10 | 0,45 | - | 21,61 | 10,31 | - | <0.03 |
| 19-1 | 1 | 57,36 | 57,06 | 0,07 | - | 0,23 | 27,86 | 90,66 | 6,10 | 0,96 | 0,06 | <0.04 |
| 19-1 | 2,5 | 56,58 | 57,89 | 0,01 | - | 0,38 | 22,00 | 70,46 | 11,57 | 1,51 | - | <0.02 |
| 19-1 | 5 | 51,31 | 52,47 | 0,01 | - | 0,77 | 16,59 | 53,21 | 15,92 | 2,94 | - | <0.01 |
| 19-1 | 10 | 45,58 | 47,82 | 0,03 | - | 1,89 | 1,39 | 2,21 | 27,34 | 5,87 | - | <0.01 |
| 21-1 | 1 | 61,09 | 60,42 | 1,53 | - | 0,10 | 26,12 | 85,90 | 3,26 | 1,14 | 0,04 | 0,03 |
| 21-1 | 2,5 | - | 61,44 | 2,55 | - | 0,44 | 7,38 | - | 9,90 | - | - | - |
| 59-1 | 1 | - | 57,20 | 0,09 | - | 0,01 | 30,15 | - | 0,88 | - | - | - |
| 59-1 | 2,5 | 58,80 | 58,67 | 0,07 | - | 0,09 | 21,04 | 55,88 | 4,11 | 2,00 | - | - |
| 59-1 | 5 | 55,51 | 56,19 | 0,06 | <0.43 | 0,32 | 6,58 | 19,96 | 10,58 | 4,13 | - | - |
| 59-1 | 10 | - | 159,57 | 1,26 | - | 2,56 | 2,08 | - | 66,58 | - | - | - |
| 47-1 | 1 | - | 59,66 | 0,06 | - | -0,08 | 30,28 | - | 1,26 | - | - | - |
| 47-1 | 2,5 | 59,58 | 61,26 | 0,01 | <0.35 | 0,22 | 21,20 | 69,50 | 11,47 | 1,74 | - | - |
| 47-1 | 5 | - | 56,89 | 0,02 | - | 0,48 | 17,22 | - | 14,12 | - | - | - |
| 47-1 | 10 | 47,57 | 48,71 | 0,01 | <0.49 | 0,41 | 11,76 | 36,77 | 19,09 | 2,62 | - | - |
| november | | | | | | | | | | | | |
| 23-2 | 1 | 62,48 | - | - | - | - | - | 100,11 | - | 0,31 | 0,72 | 2,04 |
| 23-2 | 2,5 | 68,60 | - | - | - | - | - | 85,12 | - | 1,44 | - | 4,03 |
| 35-2 | 1 | 61,97 | - | - | - | - | - | 101,75 | - | 0,46 | - | 0,94 |
| 35-2 | 2,5 | 60,17 | - | - | - | - | - | 93,77 | - | 1,31 | 0,02 | 7,51 |
| 35-2 | 5 | 49,34 | - | - | 1,27 | - | - | 25,36 | - | 3,15 | - | 0,63 |
| 35-2 | 10 | 40,69 | - | - | 3,00 | - | - | 1,87 | - | 4,89 | - | <0.36 |
| 60-1 | 1 | 60,13 | - | - | - | - | - | 79,22 | - | 1,07 | 0,01 | <0.47 |
| 60-1 | 2,5 | 59,78 | - | - | - | - | - | 91,94 | - | 0,71 | - | <0.25 |
| 60-1 | 5 | 57,44 | - | - | - | - | - | 2,54 | - | 2,49 | - | 0,83 |
| 60-1 | 10 | 49,47 | - | - | 1,75 | - | - | <0.21 | - | 3,11 | - | 5,38 |
| 51-2 | 1 | 68,22 | - | - | - | - | - | 101,20 | - | 0,88 | - | 1,09 |
| 51-2 | 2,5 | 68,89 | - | - | - | - | - | 10,03 | - | 3,54 | - | 1,18 |
| 51-2 | 5 | 70,26 | - | - | - | - | - | 3,71 | - | 5,87 | - | <0.42 |
| 51-2 | 10 | 72,55 | - | - | - | - | - | 0,80 | - | 9,25 | - | <0.3 |
| 62-1 | 1 | 63,29 | - | - | - | - | - | 86,49 | - | 1,48 | - | 3,32 |
| 62-1 | 2,5 | 75,65 | - | - | - | - | - | 8,18 | - | 6,16 | - | 0,68 |
| 62-1 | 5 | 84,93 | - | - | - | - | - | 1,31 | - | 10,50 | - | 1,62 |
| 62-1 | 10 | 92,44 | - | - | - | - | - | 0,96 | - | 20,27 | - | 1,51 |



Datum
10 november 2019

Ons kenmerk
11204657-002-ZWS-0001

Pagina
45 van 46



Datum
10 november 2019

Ons kenmerk
11204657-002-ZWS-0001

Pagina
46 van 46

Bijlage(n)
7