



inbo



Instituut voor
Natuur- en Bosonderzoek

Optimalisatie van omgekeerd spuibeheer voor glasaalmigratie vanuit de Ganzepoot te Nieuwpoort naar de IJzer

*Ans Mouton, David Buysse, Tom Van den Neucker, Emilie Gelaude, Raf Baeyens,
Nico De Maerteleire, Karen Robberechts, Maarten Stevens & Johan Coeck*

Auteurs:

Ans Mouton, David Buysse, Tom Van den Neucker, Emilie Gelaude, Raf Baeyens, Nico De Maerteleire, Karen Robberechts, Maarten Stevens & Johan Coeck
Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

Het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) is het Vlaams onderzoeks- en kenniscentrum voor natuur en het duurzame beheer en gebruik ervan. Het INBO verricht onderzoek en levert kennis aan al wie het beleid voorbereidt, uitvoert of erin geïnteresseerd is.

Vestiging:

INBO Brussel
Kliniekstraat 25, 1070 Brussel
www.inbo.be

e-mail:

Ans.Mouton@INBO.be

Wijze van citeren:

Mouton A., Buysse D., Van den Neucker T., Gelaude E., Baeyens R., De Maerteleire N., Robberechts K., Stevens M. & Coeck J.(2013). Optimalisatie van omgekeerd spuibeheer voor glasaalmigratie vanuit de Ganzepoot te Nieuwpoort naar de IJzer. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2013 (INBO.R.2013.46). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

D/2013/3241/255

INBO.R.2013.46

ISSN: 1782-9054

Verantwoordelijke uitgever:

Jurgen Tack

Druk:

Managementondersteunende Diensten van de Vlaamse overheid

Foto cover:

Bemonstering van de spuiconstructies op de IJzer in Nieuwpoort

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van:

het Visserijfonds en het Agentschap voor Natuur en Bos



Agentschap voor
Natuur en Bos

Optimalisatie van omgekeerd spuibeheer voor glasaalmigratie vanuit de Ganzepoot te Nieuwpoort naar de IJzer

**Ans Mouton, David Buysse, Tom Van den Neucker, Emilie
Gelaude, Raf Baeyens, Nico De Maerteleire, Karen
Robberechts, Maarten Stevens & Johan Coeck**

Dankwoord/Voorwoord

Dank aan de medewerkers van de spuurbediening voor hun medewerking en interesse in het onderzoek. En natuurlijk de gezellige praatjes en de kop koffie. Dank ook aan Mariël Raaijmakers die als stagiaire van de HAS Hogeschool aan dit onderzoek meewerkte.

Samenvatting

De Europese aalpopulatie (*Anguilla anguilla* L.) gaat sinds de jaren 80 flink achteruit. Er zijn steeds meer aanwijzingen dat de achteruitgang van de aalpopulatie sterk wordt beïnvloed door problemen tijdens het juveniele stadium als glasaal. Verschillende onderzoekers bevestigen dat de stroomopwaarts migratie van de juveniele aal (hierna glasaal genoemd), één van de cruciale knelpunten is in het behoud van aalpopulaties.

Eén van de belangrijkste intrekroutes voor glasaal in Vlaanderen is de IJzermonding. Hier is dan ook al eerder onderzoek gedaan om door middel van omgekeerd spuibeheer de glasaalmigratie te bevorderen. Bij dit omgekeerd spuibeheer worden de IJzerspuien op een klein kiertje gezet bij opkomend tij, zodat een beperkte hoeveelheid zeewater en hiermee ook de glasaal de IJzer binnenstroomt. Uit eerder onderzoek, waarin bij de Iepersluis op de IJzer werd onderzocht of het zin had om meerdere spuien beperkt te openen (10 cm) of om één spui verder te openen (20 cm), blijkt dat beide gevallen, opening van twee in plaats van één spui op 10 cm en opening van één spui op 20 cm in plaats van op 10 cm, een verdubbeling oplevert van het aantal stroomopwaarts migrerende glasalen. Tijdens dit onderzoek werd een lineair verband tussen de hoeveelheid migrerende glasaal en het aantal spuiopeningen waargenomen en werd aangetoond dat met opening van twee spuien op 10 cm het saturatiepunt nog steeds niet bereikt is.

Het doel van dit onderzoek is om na te gaan bij welk aantal geopende spuien op 20 cm een saturatie plaatsvindt in het aantal migrerende glasalen en of dit technisch realiseerbaar is zonder significante conductiviteitsstijgingen stroomopwaarts van het Ganzepoot spuicomplex. Tot slot is er onderzocht of er een bepaald moment in de tijcyclus (als de spuien openstaan) is waarbij de meeste glasalen door de spuien migreren. Als dit bekend is kan het beheer daarop aangepast worden. Bij het omgekeerde spuibeheer werden de stroomafwaartse schuiven van de bemonsterde spuien, wanneer het zeeniveau hoger was dan de IJzer, op een kier van 20 cm gezet. De stroomopwaartse schuiven (rivierzijde) zijn op dat moment helemaal opengezet, waardoor een instroom van opkomend tij ontstond. Vanaf het moment dat het stroomafwaartse waterniveau (zeeniveau) bij afgaand tij opnieuw slechts 10 cm hoger stond dan het water in de IJzer is de schuif aan de stroomopwaartse zijde gesloten en werd het experiment beëindigd.

Voor de bemonsterde spuien werden fuiken gehangen en na het experiment werden de gevangen glasalen geteld. Er werden aanbodfuiken onder de brug van het Ganzepoot spuicomplex geplaatst om het aanbod glasaal in kaart te brengen, omdat dit per dag nogal kan variëren. Daarnaast zijn de variabelen: watertemperatuur, windrichting en maanstand bijgehouden, omdat deze ook invloed kunnen hebben op de glasaalvangsten. Om te bepalen op welk tijdstip in een tijcyclus de meeste glasaal binnenkomt is gedurende 3 weken door middel van een venturi-aanzuigstelsel op een van de bemonsterde fuiken ieder kwartier de inkomende glasaal gemonitord. Om de conductiviteitsstijging te meten zijn er op 0.1 km (Yserstarsteiger), 0.99 km (Sint Jorisbrug) en 4.47 km (Tervatebrug) stroomopwaarts van de spuien conductiviteitsmeters (CTD divers) geplaatst.

Algemeen werd een stagnatie van het aantal migrerende glasalen waargenomen wanneer minstens drie spuien werden geopend. Alleen bij de Yserstarsteiger is het omgekeerde spuibeheer duidelijk waar te nemen door een conductiviteitsstijging, hierin is ook duidelijk het spui patroon van 1, 5, 3, 4 en 2 geopende spuien te herkennen. Bij de Sint Jorisbrug is een minieme stijging waar te nemen die pas ontstaat in de laatste twee dagen van het omgekeerde spuibeheer. Bij de Tervatebrug is helemaal niets meer aan conductiviteitsstijging waar te nemen. Als er gekeken wordt naar het tijdstip van binnenkomst van de glasalen valt zowel bij densiteit en aantallen op dat de hoogste waardes vooral binnen 1 u voor hoogtij waar te nemen zijn en vervolgens nog in het uur na hoogtij.

Er kan geconcludeerd worden dat het saturatiepunt in het aantal migrerende glasaal bij 3 spuiopeningen ligt en dat dit niet zorgt voor een kritieke conductiviteitsgrens van 10 mS/cm bij de Tervatebrug, want die grens wordt nooit bereikt. Als er door een laag debiet, maar beperkte tijd aangepast spuibeheer toegepast kan worden, dan kan dit het beste gedaan worden in de periode van 1 u voor hoogtij. De optimale tijd zou zijn in de periode tussen 1 u voor en 1 u na hoogtij.

Aanbevelingen voor beheer en/of beleid

Wanneer er gekeken wordt naar de invloed van omgekeerd spuibeheer op de glasaalmigratie kan er aan de hand van het aantal glasalen ten opzichte van het aantal geopende spuien, op 20 cm, geconcludeerd worden dat bij het openen van 3 spuien het saturatiepunt in het aantal glasalen is bereikt. De toegevoegde waarde van het openen van meer spuien is dus beperkt.

Op de vraag of het omgekeerde spuibeheer leidt tot significante conductiviteitsstijging in de IJzer, kan geconcludeerd worden dat dit niet zo is. Aan de hand van de gegevens over het tijdstip van binnenkomst van de glasaal tijdens de tijcyclus kan geconcludeerd worden dat als er om bepaalde redenen, zoals een laag debiet, slechts een korte tijd omgekeerd spuibeheer toegepast kan worden, de periode van 1 u voor hoogtij het meest geschikt is. Op dat moment is zijn het aantal glasaal en de densiteit het hoogst en worden de meeste glasalen binnengelaten. Het meest optimale zou zijn 1 u voor en na hoogtij, want in het uur na hoogtij zijn de aantallen en glasaaldensiteiten ook nog vrij hoog.

De resultaten in dit werk geven aan dat het omgekeerd spuibeheer per tijcyclus en bij 3 geopende spuien het nodige aantal glasalen stroomopwaarts te laten migreren om een schieraaldensiteit van 10 kg.ha^{-1} te bekomen in de IJzer, met die voorwaarde dat er geen noemenswaardige conductiviteitsstijging wordt waargenomen.

Aangezien omgekeerd spuibeheer de glasaalmigratie significant kan verbeteren ter hoogte van de Ieperspuien op de IJzer, is het zinvol om na te gaan of deze optie ook toepasbaar is op de andere waterlopen die in de Ganzepoot uitmonden. De randvoorwaarden bij deze analyse zijn het debiet en de maximaal haalbare conductiviteit van de betreffende waterlopen. Omgekeerd spuibeheer impliceert immers dat er een beperkte hoeveelheid zout water wordt binnengelaten. Wanneer de betreffende waterloop onvoldoende debiet heeft om dit zout water terug uit te spoelen, kan er dus verzilting optreden. Het onderzoek op de IJzer heeft immers aangetoond dat bij voldoende debiet omgekeerd spuibeheer perfect toepasbaar is zonder verzilting.

Op het Kanaal van Veurne Ambacht zou, eventueel mits continue opvolging van de conductiviteit zoals nu op de IJzer het geval is, omgekeerd spuibeheer kunnen worden toegepast zonder risico op verzilting. Toepassing van omgekeerd spuibeheer op het Kanaal Veurne Ambacht lijkt echter enkel zinvol wanneer ook ter hoogte van het gemaal van de Grote Beverdijk voldoende maatregelen worden genomen om stroomopwaartse migratie te garanderen, zoals de constructie van aalgoten.

Ter hoogte van de vier andere waterlopen die minder debiet voeren, kan omgekeerd spuibeheer eveneens worden toegepast om drie redenen: 1) in periodes van hogere afvoer (of bij wijziging van het afvoerdebiet zoals op het Kanaal van Duinkerke, dan mogelijks ook een deel van het IJzerdebiet kan afvoeren) kan omgekeerd spuibeheer zonder risico op verzilting worden toegepast op om het even welke waterloop, 2) mogelijks kan door beperkt openen van de spuien bij gelijk peil van de zee en de waterloop toch al een substantieel deel van de aanwezige glasalen worden binnengelaten, maar deze piste vereist nog verder onderzoek, en 3) het toelaten van beperkte verzilting is misschien mogelijk in sommige waterlopen, zoals de Kreek van Nieuwendamme die een relatief klein afstromingsgebied heeft. Wanneer omgekeerd spuibeheer toch onmogelijk zou blijken te zijn, kunnen ter hoogte van de andere waterlopen meer technische oplossingen geïmplementeerd worden, zoals getijdenkleppen die op een bepaald moment van de tijcyclus een zeer beperkte hoeveelheid zout water binnenlaten.

English abstract

Since the eighties European eel populations (*Anguilla anguilla* L.) have declined dramatically and are now assumed as one of the most critically endangered fish populations in Europe. The limitation of upstream migration seems to be one of the critical factors endangering eel populations. The estuary of the River Yser is one of the most important migration routes for glass eel in Flanders. Limited barrier opening during tidal rise appeared to be a perfect option to improve upstream glass eel migration, without significant penetration of sea water. In a previous research on the River Yser at the Ieper sluice, the impact of the number of opened sluice-gates (10 cm) on the upstream glass eel migration was tested.

In the following study, adjusted barrier management was further optimized. Three hypotheses were tested. The first hypothesis analysed by which number of opened sluice-gates (20 cm) a saturation point of migrating glass eels will be reached. Likewise, the second hypothesis evaluated whether the suggested adjusted barrier management for optimal glass eel migration may lead to a significant increase in conductivity in the River Yser. The last hypothesis is to obtain more information about the time of glass eel migration during a tidal cycle to improve barrier management.

The results show that by opening three sluice-gates, the saturation point of glass eel migration is reached. The adjusted barrier management also shows no significant increase in conductivity upstream the River Yser. The maximum glass eel migration within a tidal cycle occurs one hour before high tide. One hour after high tide the glass eel migration is still high but doesn't reach the maximum anymore. Since the adjusted barrier management is easily implemented and could be applied on numerous tidal barriers, the presented results contribute to restoration of eel populations worldwide and may be of interest to a wide range of river managers and stakeholders.

Inhoudstafel

1	Probleemstelling en doelstelling.....	10
2	Materiaal en methodes	12
2.1	Studiegebied: De Ganzepoot & IJzer	12
2.2	Dataverzameling	12
3	Resultaten	18
3.1	Invloed van omgekeerd spuibeheer op glasaalmigratie.....	18
3.1.1	Relatie tussen milieuvariabelen en glasaaldensiteit	18
3.1.2	Relatie tussen glasaalmigratie en aantal geopende spuien	20
3.2	Invloed van omgekeerd spuibeheer op conductiviteit	22
3.3	Invloed van omgekeerd spuibeheer op het tijdstip van glasaalmigratie tijdens tijdcyclus	26
4	Bespreking	28
4.1	Invloed van omgekeerd spuibeheer op glasaalmigratie.....	28
4.1.1	Relatie tussen omgevingsvariabelen en glasaaldensiteit	28
4.2	Invloed van omgekeerd spuibeheer op conductiviteit	28
4.3	Invloed van omgekeerd spuibeheer op tijdstip van glasaalmigratie tijdens tijdcyclus	29
4.4	Toepassing van het omgekeerd spuibeheer op andere spuiconstructies in de Ganzepoot.....	29
4.5	Impact van het aangepast spuibeheer op de palingpopulaties in de IJzer	30
5	Aanbeveling voor verder onderzoek	31
6	Literatuurlijst	32

1 Probleemstelling en doelstelling

De Europese aal of palingpopulatie (*Anguilla anguilla* L.) gaat sinds de jaren 80 flink achteruit (Mouton et al., 2009). De soort wordt nu zelfs beschouwd als één van de meest bedreigde vissoorten. Er zijn verschillende oorzaken die van invloed zijn op deze achteruitgang, zoals de chemische waterkwaliteit, fysische habitatcondities, migratiebarrières, predatie, oceanografische wijzigingen of klimaatsveranderingen (White and Knights, 1997; Knights, 2003; Friedland et al., 2007; Kettle et al., 2008; Bonhommeau et al., 2008a).

Om deze achteruitgang tegen te gaan heeft de Europese Unie in 2007 de Aalverordening (EC No. 1100/2007) uitgevaardigd, die het behoud en het herstel van de paling beoogt. Deze verordening vraagt een beheersaanpak die de ontsnapping van 40% van de schieraalbiomassa garandeert. Omdat Vlaanderen talrijke laaglandrivieren, meren en poelen heeft, wordt deze regio beschouwd als een belangrijke regio voor de opgroei van aal en rekrutering van zilveraal. De laatste jaren is de waterkwaliteit van de Vlaamse rivieren bovendien significant verbeterd door intensieve afvalwaterzuivering en de invoering van bemestingsnormen. Daarom focussen rivierbeheerders zich vooral op de beperking van predatie en migratiebarrières om de aalpopulatie te stimuleren.

Uit verschillende onderzoeken blijkt dat de stroomopwaarts migratie van de juveniele aal (hierna glasaal genoemd), één van de cruciale knelpunten is in het behoud van aalpopulaties (White & Knights, 1997; Feunteun et al., 1988; Briand et al., 2005; Laffaile et al., 2007; Bult and Dekker, 2007). De Europese aal trekt in het voorjaar als ongeveer 6 cm lange doorzichtige glasaal vanuit de zee, via estuaria, naar de binnenwateren. Vaak stuiten zij dan op verschillende migratiebarrières, zoals dammen, stuwen en sluizen. Doordat er door deze barrières minder glasaalmigratie naar de binnenwateren plaatsvindt, kan dit leiden tot een daling van schieraaluittrek richting zee en kan dit resulteren in een vicieuze cirkel die de aalpopulaties bedreigt.

Eén van de belangrijkste intrekroutes voor glasaal in Vlaanderen is de IJzermonding. Al sinds 1964 zijn er gegevens over de glasaal in dit gebied. Men is vanaf 1964 jaarlijks begonnen met het vangen van glasaal in de IJzermonding en is onbewust gestart met een monitoring-systeem van de rekrutering van de Europese paling. De IJzermonding geeft belangrijke informatie over de glasaalpopulatie, omdat deze teruggaat naar een zeer vroeg stadium (1964), omdat de vistechnieken en het visgereedschap over heel die periode hetzelfde bleven en de verkregen visserijgegevens niet door andere visserijactiviteiten beïnvloed werden, doordat er geen commerciële glasaalvisserij of glasaalstroperij bestond (Belpaire, 2002). Het IJzerbekken (de IJzer en zijn bijrivieren) is bekend als een belangrijke regio voor Europese alen en omvat waardevolle habitats voor groei en ontwikkeling (Denayer & Belpaire, 1996).

In een studie uit 2009 (Mouton et al., 2009) werd de invloed van omgekeerd spuibeheer op de glasaalmigratie geanalyseerd ter hoogte van het spuicomplex in Nieuwpoort. Hieruit bleek dat omgekeerd spuibeheer (opening van een spui met 10 cm bij opkomend tij) de glasaalmigratie kan verhogen met een factor 200. Door de beperkte spui-opening, werd echter nog steeds maar een deel van de aanwezige glasaal binnengelaten via omgekeerd spuibeheer. Als gevolg van dit onderzoek werd in 2010 een tweede onderzoek uitgevoerd waarbij getest werd of het zin had om meerdere spuien te openen (10 cm) of om één spui verder te openen (20 cm). In beide gevallen, opening van twee in plaats van één spuien op 10 cm en opening van één spui op 20 cm in plaats van op 10 cm, werd een verdubbeling van het aantal stroomopwaarts migrerende glasalen waargenomen (Mouton et al., 2010).

Verwacht wordt echter dat het aantal migrerende glasalen bij opening van meerdere spuien uiteindelijk een saturatie vertoont. Vanaf dit punt migreert alle aanwezige glasaal vrij stroomopwaarts en zullen er niet nog meer glasalen migreren als er nog meer spuien geopend zouden worden. Vanaf dit punt heeft het geen zin om nog meer spuien te openen,

omdat er dan wel meer zoutwater, maar niet meer glasalen worden binnengelaten. Het lineaire verband tussen de hoeveelheid migrerende glasalen en het aantal spuiopeningen dat werd waargenomen tijdens het onderzoek in 2010, toont aan dat met opening van twee spuien op 10 cm het saturatiepunt nog steeds niet bereikt is (Fig. 1). De vraag is dus bij welk aantal geopende spuien dit saturatiepunt zal plaatsvinden. Aangezien in eerder onderzoek is gebleken dat een spui op 20 cm in plaats van 10 cm al een verdubbeling van migrerende glasalen veroorzaakt wordt er in dit onderzoek gewerkt met spuiopeningen van 20 cm.

Het doel van dit onderzoek is om na te gaan bij welk aantal (op 20 cm) geopende spuien een saturatie plaatsvindt in het aantal migrerende glasalen en of dit technisch realiseerbaar is zonder significante conductiviteitsstijgingen stroomopwaarts van het Ganzepoot spuicomplex. Tot slot wordt er onderzocht of er een bepaald moment in de tijcyclus (als de spuien openstaan) is waarbij de meeste glasalen door de spuien migreren. Met deze informatie kan het beheer aangepast worden zodat de glasaalmigratie wordt gemaximaliseerd bij een minimale instroom van zout water.

Dit onderzoek wordt uitgevoerd in het kader van de wetenschappelijke ondersteuning en onderbouwing van het Palingbeheerplan ANB/VF 2013. De resultaten van dit onderzoek kunnen een bijdrage leveren voor de rivierbeheerders om migratiebarrières efficiënt en glasaalvriendelijk te maken. Wanneer namelijk het saturatiepunt van het aantal migrerende glasalen bekend is zou een soortgelijk beheer ook toegepast kunnen worden op de andere spuiconstructies in de Ganzepoot en elders.

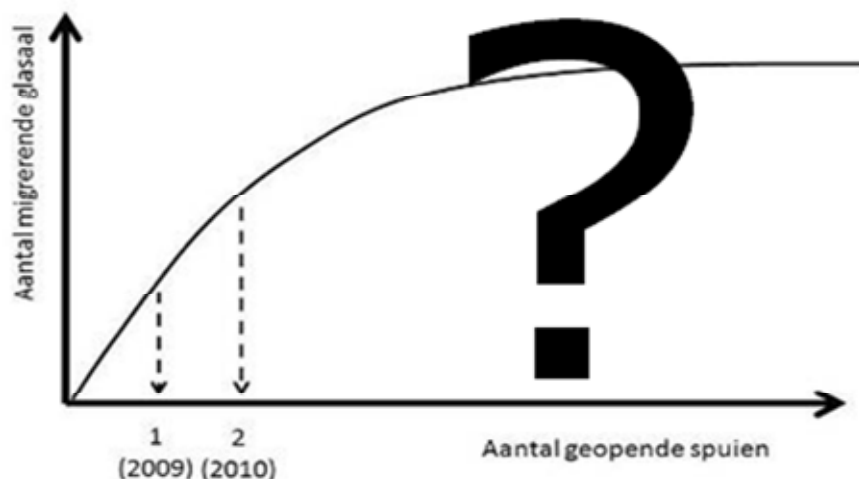


Fig. 1. Relatie tussen de hoeveelheid migrerende glasaal en het aantal geopende spuien. In vorig onderzoek (Mouton et al., 2010) is een lineair verband tussen het aantal geopende spuien en het aantal migrerende glasaal gevonden. Of er een saturatiepunt bereikt kan worden, moet dit onderzoek uitwijzen (zodat het deel van de curve onder het vraagteken kan bepaald worden).

2 Materiaal en methodes

2.1 Studiegebied: De Ganzepoot & IJzer

Het glasaalmigratie-onderzoek heeft plaatsgevonden aan de monding van de IJzer ter hoogte van het Ganzepoot spuicomplex te Nieuwpoort. De IJzer is een waterloop die samen met 5 andere waterlopen (Fig. 2) uitmondt op de Ganzepoot, een kunstmatig bekken. De IJzer en zijn bijrivieren zorgen voor de afwatering van een gebied van 1116 km². De IJzer is 76 km lang en bevindt zich voor een derde in Frankrijk. Alle waterlopen die uitmonden in de Ganzepoot zijn afgesloten door drie tot acht spuisluizen. In de IJzer betreft dit de Iepersluis met vijf spuisluizen. Deze spuisluizen hebben als doel het achterland te beschermen tegen overstromingen en verzilting, maar vormen tevens een belemmering voor de migratie van glasaal stroomopwaarts. De sluisen in het Ganzepoot sluisencomplex worden normaliter gebruikt om te spuien. Dit houdt in dat bij laagtij de spuien worden geopend en weer worden gesloten zodra het zeewaterniveau het peil van de waterloop stroomopwaarts van het spuicomplex benadert. Het volume zoetwater dat uitstroomt in zee is afhankelijk van de buffercapaciteit die nodig is om overstromingen te vermijden op basis van de voorspelde watertoevoer verder stroomopwaarts het spuicomplex. Er worden dus verschillende watervolumes weggespuid ter hoogte van de zes waterlopen, maar dit is afhankelijk van de verwachte neerslag.

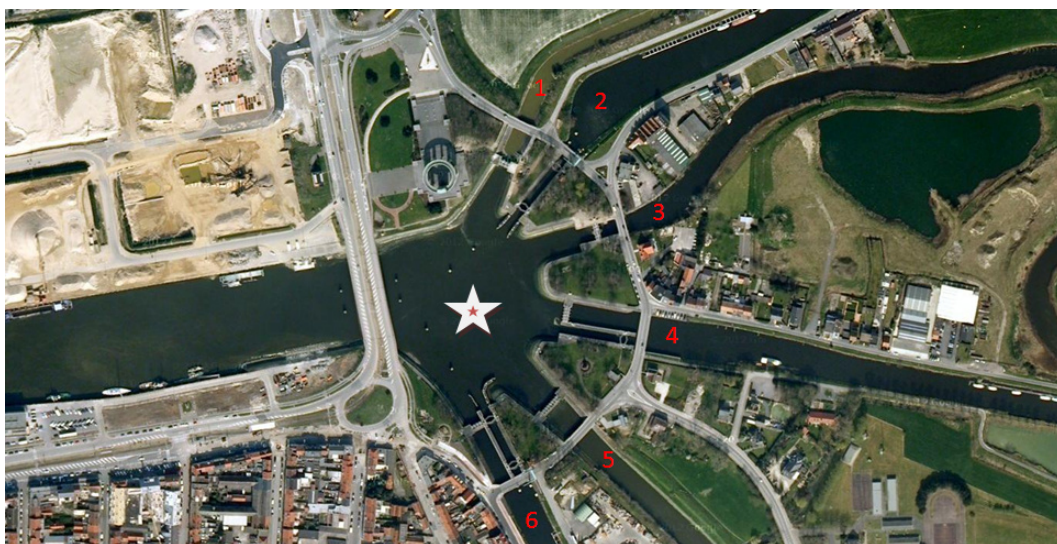


Fig. 2. Het Ganzepoot spuicomplex met zes waterlopen die er in uitmonden: 1. Nieuw Bedelf, 2. Kanaal Nieuwpoort-Plassendale, 3. Kreek van Nieuwendamme, 4. De IJzer, 5. Veurne Ambacht, 6. Kanaal Nieuwpoort-Duinkerke.

2.2 Dataverzameling

Om na te gaan bij welk aantal (20 cm) geopende spuien er een saturatiepunt ontstaat van het aantal migrerende glasaal, zijn er in maart en april 2013 gedurende 4 opeenvolgende weken verschillende bemonsteringen uitgevoerd waarbij tijdens achtereenvolgende tijdcycli 1, 2, 3, 4 en 5 spuiopeningen van de Iepersluis (Fig. 3) op 20 cm zijn gezet (Tabel 1; Tabel 2). Het aantal geopende spui-openingen werd willekeurig over de verschillende bemonsteringsmomenten verdeeld binnen dezelfde week om de mogelijks sterke variatie in het glasaanbod tussen opeenvolgende tijdcycli zoveel mogelijk uit te sluiten.

Tabel 1. Het aantal spuien dat geopend werd op iedere dag van de week. Dit schema werd vier weken aangehouden.

Dag	Aantal spuien geopend
Maandag	1
Dinsdag	5
Woensdag	3
Donderdag	4
Vrijdag	2

Tabel 2. De spuien van de Iepersluis die werden opengezet op de verschillende staalnamedagen.

Aantal geopende spuien							
1	Linkeroever						Rechtereover
2							
3							
4							
5							

Tijdens de bemonsteringen werd omgekeerd spui-beheer toegepast. Dit houdt in dat de stroomafwaartse schuiven van de bemonsterde spuien, wanneer het zeeniveau hoger was dan 3.14 TAW (niveau IJzer), op een kier van 20 cm zijn gezet. De stroomopwaartse schuiven (rivierzijde) zijn op dat moment helemaal opengezet, waardoor een instroom van opkomend tij ontstond. Deze instroom is vervolgens volledig bemonsterd op intrekende glasaal, om het effect van actief kierbeheer op de glasaalmigratie te testen. Vanaf het moment dat het stroomafwaartse waterniveau (zeeniveau) bij afgaand tij terug slechts 10 cm hoger stond dan het water in de IJzer is de schuif aan de stroomopwaartse zijde gesloten en werd het experiment beëindigd.



Fig. 3. De Iepersluis met 5 spuisluizen.

Voor iedere spui die bemonsterd werd, is een fuik gehangen met een opening van 2.0 x 2.1 m, een maasgrootte van 1000 μm en een lengte van 10.5 m (Fig. 4). Aan het einde van het experiment zijn de fuiken opgehaald en geleegd en zijn de glasalen geteld en bewaard in een reservoir en vervolgens weer uitgezet aan de stroomopwaartse zijde van de Iepersluis.



Fig. 4. Eén van de fuiken die gebruikt werd om de spuiopeningen te bemonsteren. De fuiken hebben een opening van 2.0 x 2.1 m, een maasgrootte van 1000 μm en een lengte van 10.5 m.

Naast de glasalen die geteld werden zijn de volgende variabelen gemeten: watertemperatuur, windrichting en maanstand, omdat deze variabelen mogelijks ook invloed kunnen hebben op de aantallen glasalen die gevangen werden. De aantallen glasaal werden ook omgerekend naar glasaaldensiteiten op basis van het volume water dat door de fuik werd bemonsterd.

Bij laagtij zijn er eveneens twee aanbodfuikjes (Fig. 5) geplaatst onder de brug die over de Ganzepoot gaat (Fig. 6). Deze aanbodfuikjes hebben als doel de hoeveelheid glasaal die vanuit de zee de Ganzepoot binnenkomt te kwantificeren. Zo kan er mogelijks een verband gelegd worden met het aantal gevangen glasalen dat in de spui fuiken wordt aangetroffen. In eerder onderzoek van Ans Mouton et al. (2010) werd al aangetoond dat er grote verschillen kunnen zitten in het aantal migrerend glasaal in opeenvolgende tijcycli. Vandaar dat een gestandaardiseerde bemonstering van de hoeveelheid glasaal die tijdens een tijcyclus binnenkomt, informatie kan geven over "het gewicht" van een tijcyclus. Als voorbeeld kan bijv. bij het openen van één spui op dag 1 dubbel zoveel glasaal wordt gevangen dan bij het

openen van twee spuien op dag 2, terwijl er in de aanbodfuikjes op dag 1 viermaal zoveel glasaal werd gevangen dan op dag 2. Dit resultaat kan er dus op wijzen dat de hogere vangst bij het openen van twee spuien eerder veroorzaakt wordt door de sterke variatie tussen twee tijcycli op twee opeenvolgende dagen, dan door het openen van een extra stuw.



Fig. 5. Eén van de aanbodfuiken die onder de brug van het Ganzepoot spuicomplex is geplaatst om het aanbod glasaal te kwantificeren.



Fig. 6. De ligging van de aanbodfuiken in de Ganzepoot buiten de vaargeul stroomafwaarts de IJzerspuien. De rode pijlen geven de locaties aan waar de aanbodfuikjes geplaatst zijn.

Om een beeld te krijgen op welke moment in de tijcyclus het meeste glasalen binnenkomt werd één spuiopening (spui 1) ieder kwartier bemonsterd gedurende de volledige bemonstering. Dit gebeurde tijdens de eerste drie weken van de staalnamecampagne met een venturi-zuiger (Fig. 7). De zuiger zorgt er voor dat de glasaal die in de fuik komt als het ware opgezogen wordt en in het opvangnet terecht komt. Hierdoor hoefde ieder kwartier enkel het opvangnet vervangen te worden en werd de fuikbemonstering, en dus ook de instroom van zout water en glasaal, niet onderbroken. Deze methode is niet alleen minder arbeidsintensief dan het telkens ophalen van de fuik, maar geeft ook een betrouwbaarder beeld over hoeveel glasaal wanneer binnenkomt aangezien de instroom van glasaal en zout water continu blijft gedurende de hele bemonstering. Een onderbroken instroom zou mogelijks zoekgedrag van de glasalen kunnen veroorzaken en hierdoor het aantal inkomende glasaal kunnen onderschatten.

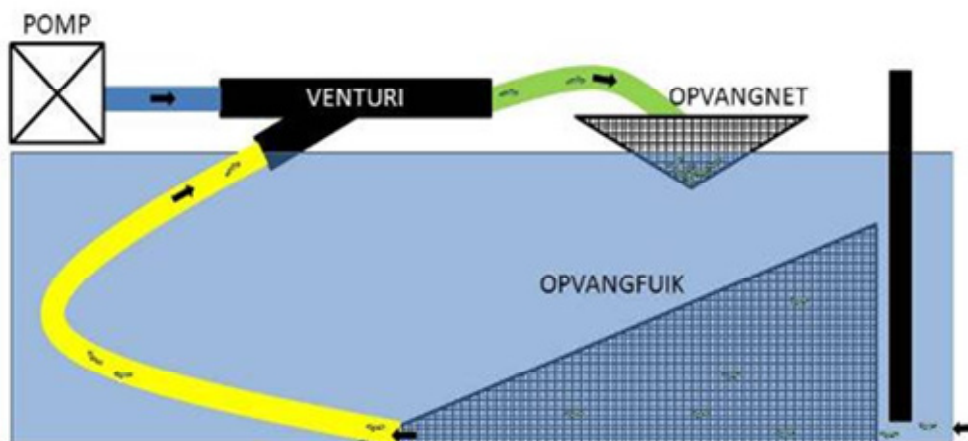


Fig. 7. De werking van de Venturi-zuiger: een pomp pompt water door een buis (blauw) en veroorzaakt hierdoor een venturi-aanzuigeffect ter hoogte van een vernauwing (zwart). Hierdoor wordt glasaal aangezogen uit de fuik (via de gele buis) en komt de glasaal in het opvangnet terecht (via de groene buis).

Om te vermijden dat het voorgestelde spuibeheer tot verzilting van de IJzer leidt, is de impact van het omgekeerde spuibeheer op de conductiviteit van de IJzer onderzocht. Hiervoor werden op 3 punten in de IJzer continu conductiviteitsmetingen uitgevoerd: ter hoogte van de Yserstarsteiger (= tussen de spuien en het spaarbekken), stroomopwaarts van het spaarbekken ter hoogte van de Sint Jorisbrug en de laatste meting aan de staketsels van de vroegere Tervatebrug. Deze drie locaties bevinden zich respectievelijk 0.1 km, 0.99 km en 4.47 km stroomopwaarts van de spuiconstructies op de IJzer (Fig. 8).



Fig. 8. De locaties waar de CTD conductiviteitsdivers werden geplaatst.

Deze continue metingen gebeurden met CTD conductiviteitsdivers (SWS Technology). Aangezien zout water een hogere dichtheid heeft dan zoet water, werden de CTD divers in een metalen kooi een aantal cm boven de bodem bevestigd. De metingen vonden plaats voor, tijdens en na het omgekeerde spuibeheer. De CTD divers werden na de experimenten

uitgelezen en op basis van deze gegevens konden mogelijke conductiviteitsstijgingen weergegeven worden.

3 Resultaten

3.1 Invloed van omgekeerd spuibeheer op glasaalmigratie

3.1.1 Relatie tussen milieuvariabelen en glasaaldensiteit

In een eerste fase werd nagegaan of een aantal variabelen de glasaaldensiteiten beïnvloeden: watertemperatuur, windrichting, maanstand en het aantal glasalen in de aanbodfuijkes. Over de hele bemonsteringsperiode werd een temperatuursstijging van ca. 5 °C waargenomen (Fig. 9). De eerste twee weken blijft de temperatuur redelijk constant en varieert die tussen de 3 en 4 °C. Na twee weken vindt er een flinke stijging plaats van ongeveer 4 tot en met 8 °C. Over de hele staalnameperiode verliep deze stijging echter geleidelijk, in tegenstelling tot de glasaaldensiteit die piekte rond 04/04/2013, daarna een terugval kende en terug hoger was tussen 09/04/2013 en 17/04/2013. De andere dagen blijft de densiteit onder de 0.055 glasalen.m⁻³. Bijgevolg werd geen relatie tussen de watertemperatuur en de glasaaldensiteit waargenomen.

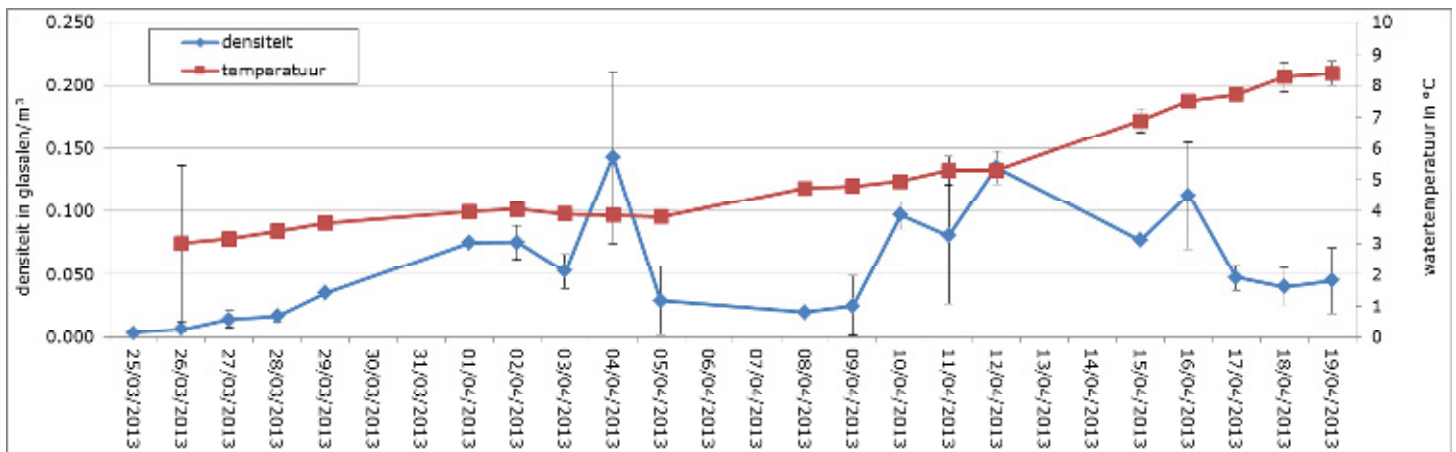


Fig. 9. Gemiddelde en standaarddeviatie van de glasaaldensiteit (m⁻³) en watertemperatuur per dag over een periode van 4 weken bemonstering.

Het aantal glasalen dat in de aanbodfuijken werd gevangen varieert tussen 5 en 80, met verhoogde waarden tussen 28/03/2013 en 02/04/2013 en tussen 08/04/2013 en 15/04/2013 (Fig. 10). Mogelijk wordt hier een na-ijl effect waargenomen, waarbij de pieken in densiteit een aantal dagen na verhoogde aantallen in de aanbodfuijken optreden. Verder onderzoek zou kunnen uitwijzen of hier effectief een relatie aanwezig is.

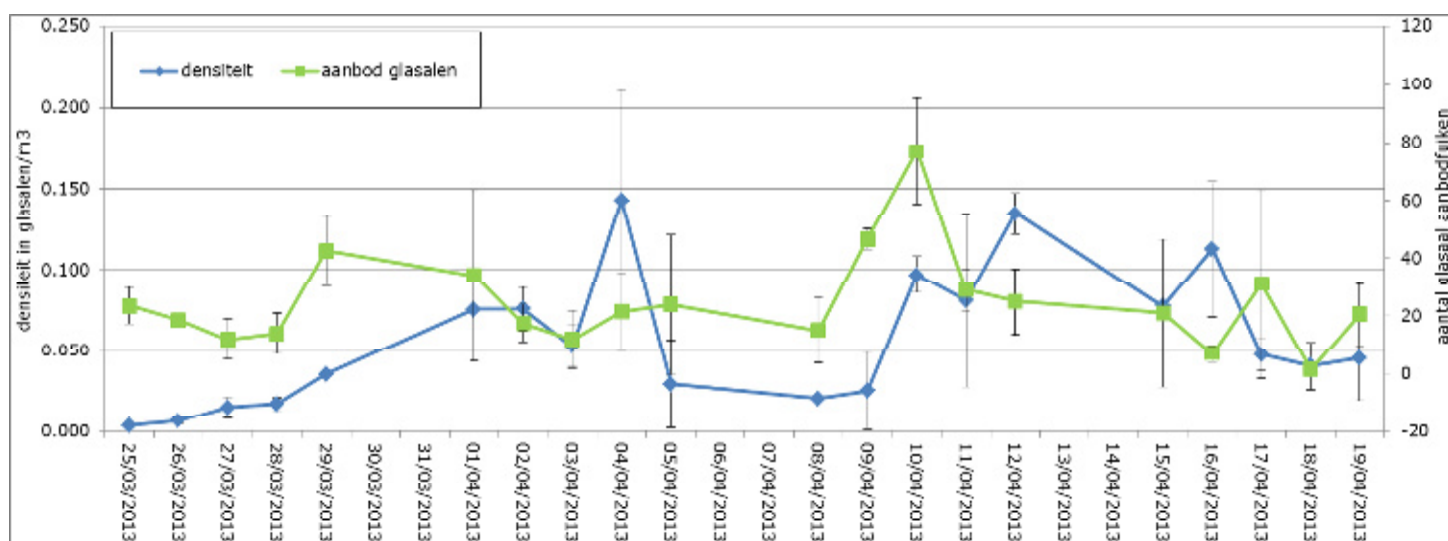


Fig. 10. Gemiddelde en standaarddeviatie van glasaaldensiteit (m^{-3}) en het gemiddelde met standaarddeviatie van het aantal glasaal in de aanbodfuisen per dag over een periode van 4 weken bemonstering.

Analyse van de impact van de windrichting en de maanstand op de glasaaldensiteiten (Fig. 11) toont dat de windrichting mogelijk een effect heeft op de glasaaldensiteiten. Wanneer de windrichting van oost (90°) naar west (270°) draait (tussen het einde van week 2 en het begin van week 3) vindt ook een stijging in densiteit plaats. Enkel de piek in glasaaldensiteit op 04/04/2013 lijkt niet aan windrichting gerelateerd.

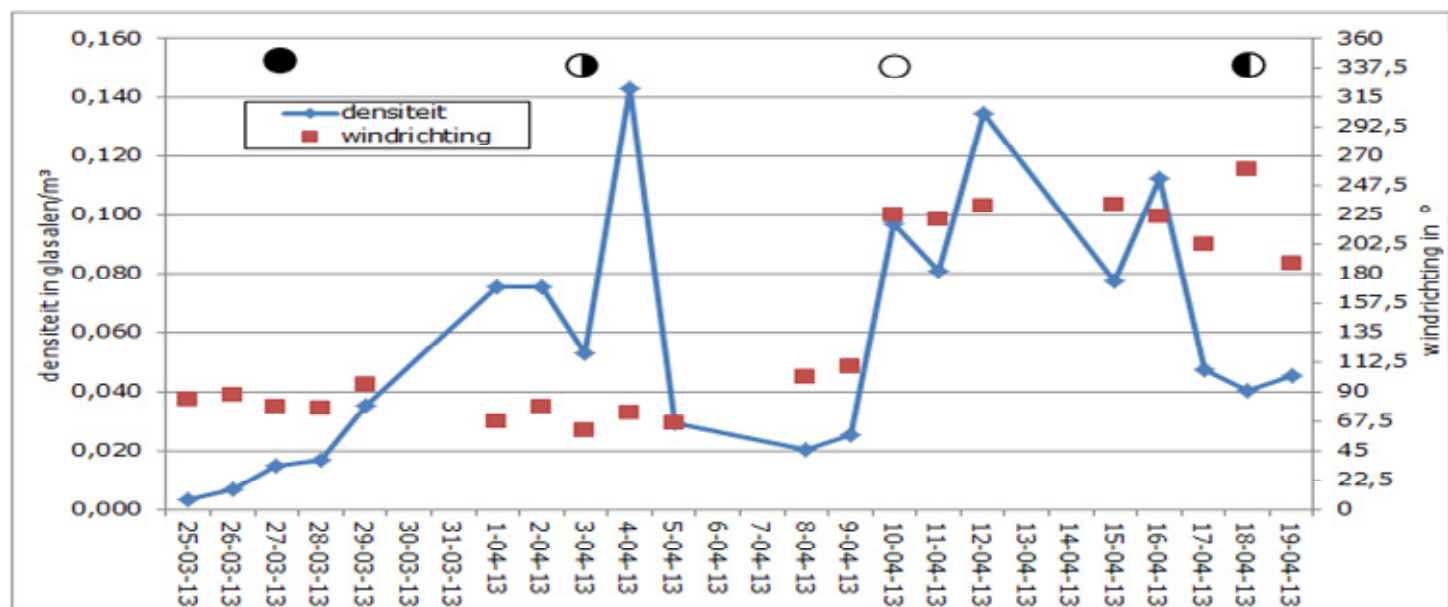


Fig. 11. Gemiddelde glasaaldensiteit (m^{-3}), windrichting en maanstand. De zwarte en witte maan zijn resp. volle en nieuwe maan, $360^\circ/0^\circ$ is noordelijke windrichting, 90° oost, 180° zuid en 270° west.

Hoewel analyse van de relatie tussen milieuvariabelen en glasaaldensiteit geen eenduidig verband weergeeft met windrichting, watertemperatuur, maanstand of aantal glasaal gevangen in de aanbodfuisen, kunnen we binnen de bemonsteringsperiode toch momenten onderscheiden waarop een substantieel hogere en substantieel lagere densiteit werd waargenomen.

3.1.2 Relatie tussen glasaalmigratie en aantal geopende spuien

Analyse van de relatie tussen de glasaaldensiteit en het aantal geopende spuien (Fig. 12) toont dat het aantal geopende spuien de glasaaldensiteit niet significant beïnvloedt.

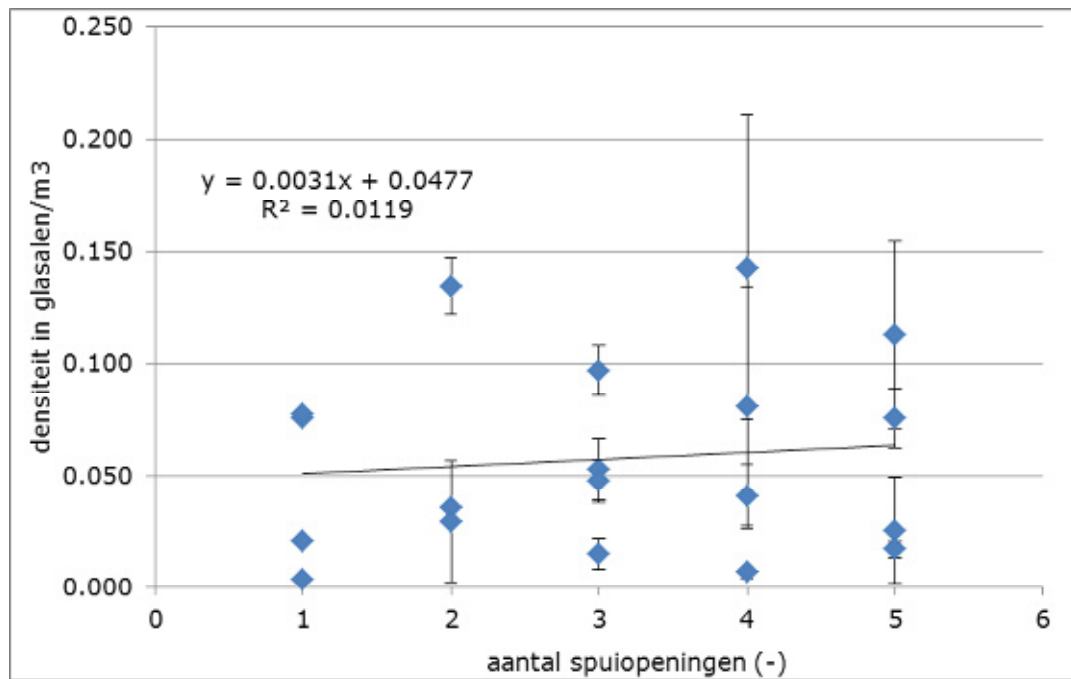


Fig. 12. Gemiddelde en standaarddeviatie van glasaaldensiteit (m^{-3}) in functie van het aantal geopende spuien.

Wanneer het aantal migrerende glasaal in functie van het aantal geopende spuien wordt geanalyseerd, valt een sterk verschil tussen de vier bemonsteringsweken op (Fig. 13). Zo werd in week 3, tijdens 3 van de 5 metingen hogere glasaalaantallen waargenomen dan in andere weken. Voor weken 1, 2 en 4 werd een vergelijkbaar aantal glasaal gevangen bij 1, 2 en 3 geopende spuien, terwijl bij 4 en 5 geopende spuien er substantieel hogere aantallen werden waargenomen in week 2 (4 en 5 geopende spuien) en week 4 (5 geopende spuien).

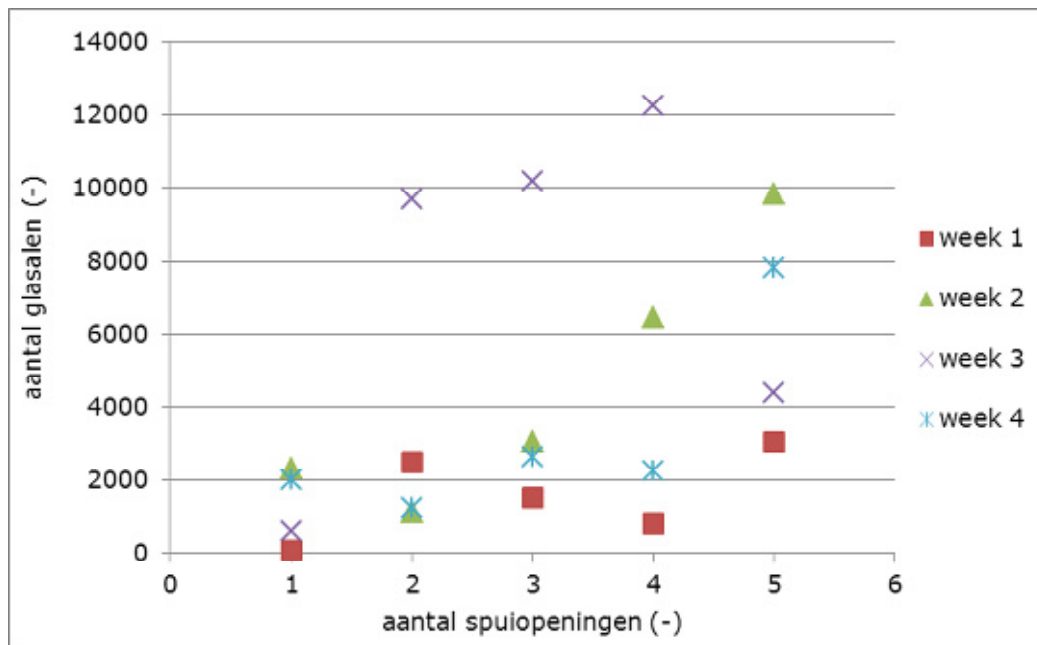
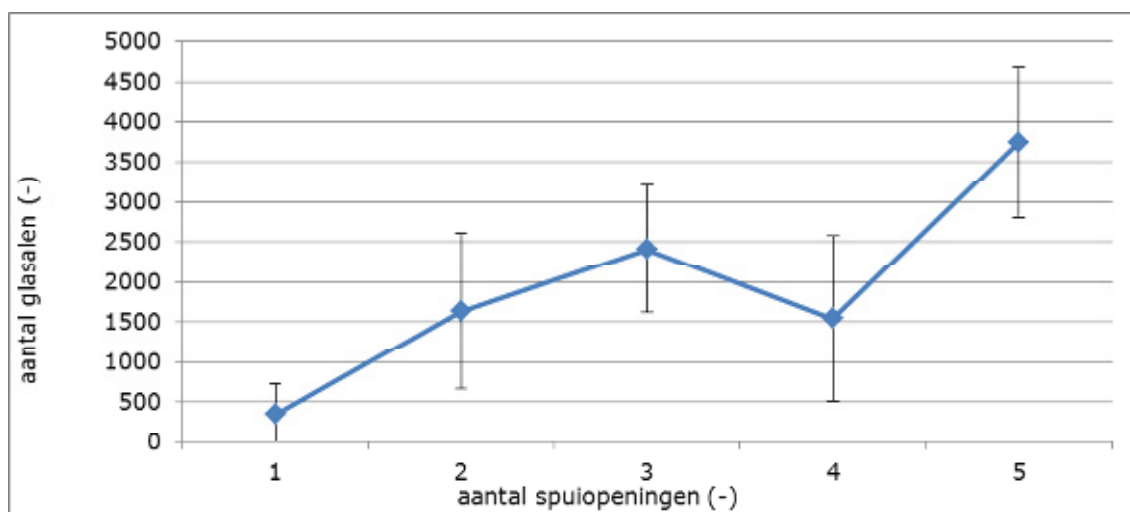


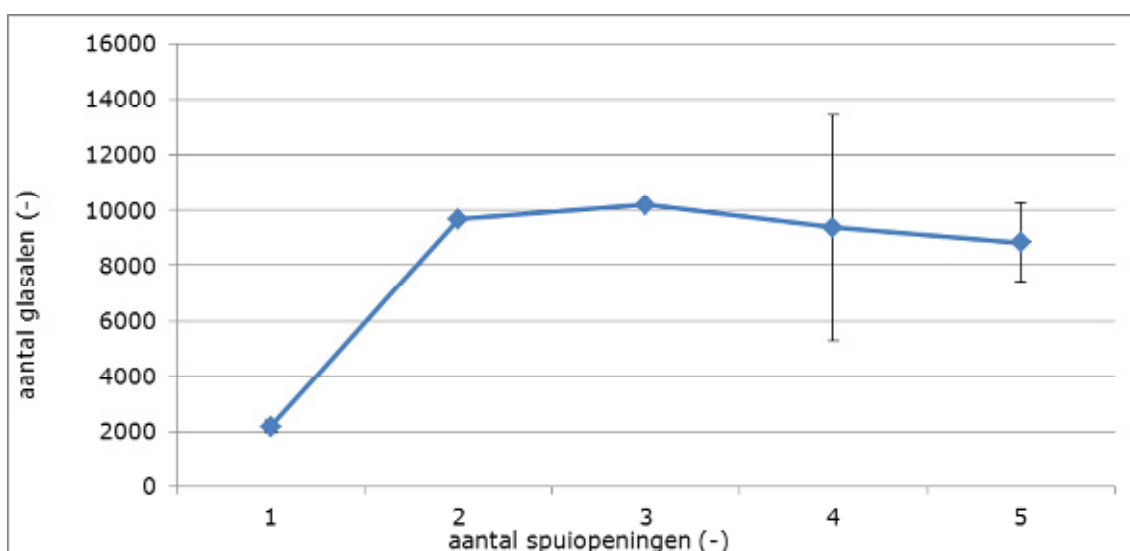
Fig. 13. Aantal glasaal in functie van het aantal geopende spuien.

Hoewel geen eenduidig verband tussen milieuvariabelen en glasaaldensiteit kon worden vastgesteld, werden er tijdens de bemonstering wel sterk verschillende densiteiten waargenomen. Om te vermijden dat dit verschil in densiteit de relatie tussen glasaaldensiteit en het aantal spui-openingen beïnvloedt, wordt geadviseerd om de gegevens in twee groepen op te delen waarbinnen de densiteit vergelijkbaar is. De grens tussen de lage en hoge densiteiten werd hierbij arbitrair gelegd op $0.055 \text{ glasalen.m}^{-3}$. Wanneer de gegevens op die manier worden ingedeeld, zien we bij de bemonsteringsmomenten met een hogere densiteit dat een stijgend aantal glasaal migreert wanneer er tot 3 spuien worden geopend. Vanaf 3 geopende spuien is er geen significant verschil meer in het aantal migrerende glasaal bij 3, 4 of 5 geopende spuien Fig. 14 (a) .

De bemonsteringen bij lage densiteiten tonen aan dat er enkel bij één spui-opening een significant lager aantal glasalen migreert Fig. 14 (b). Combinatie van beide analyses (lage densiteitsgroep en hoge densiteitsgroep) leert dus dat bij het openen van meer dan 3 spuien er niet significant meer glasaal wordt binnengelaten. We kunnen dus voorzichtig spreken van een saturatiepunt bij 3 geopende spuien.



(a)

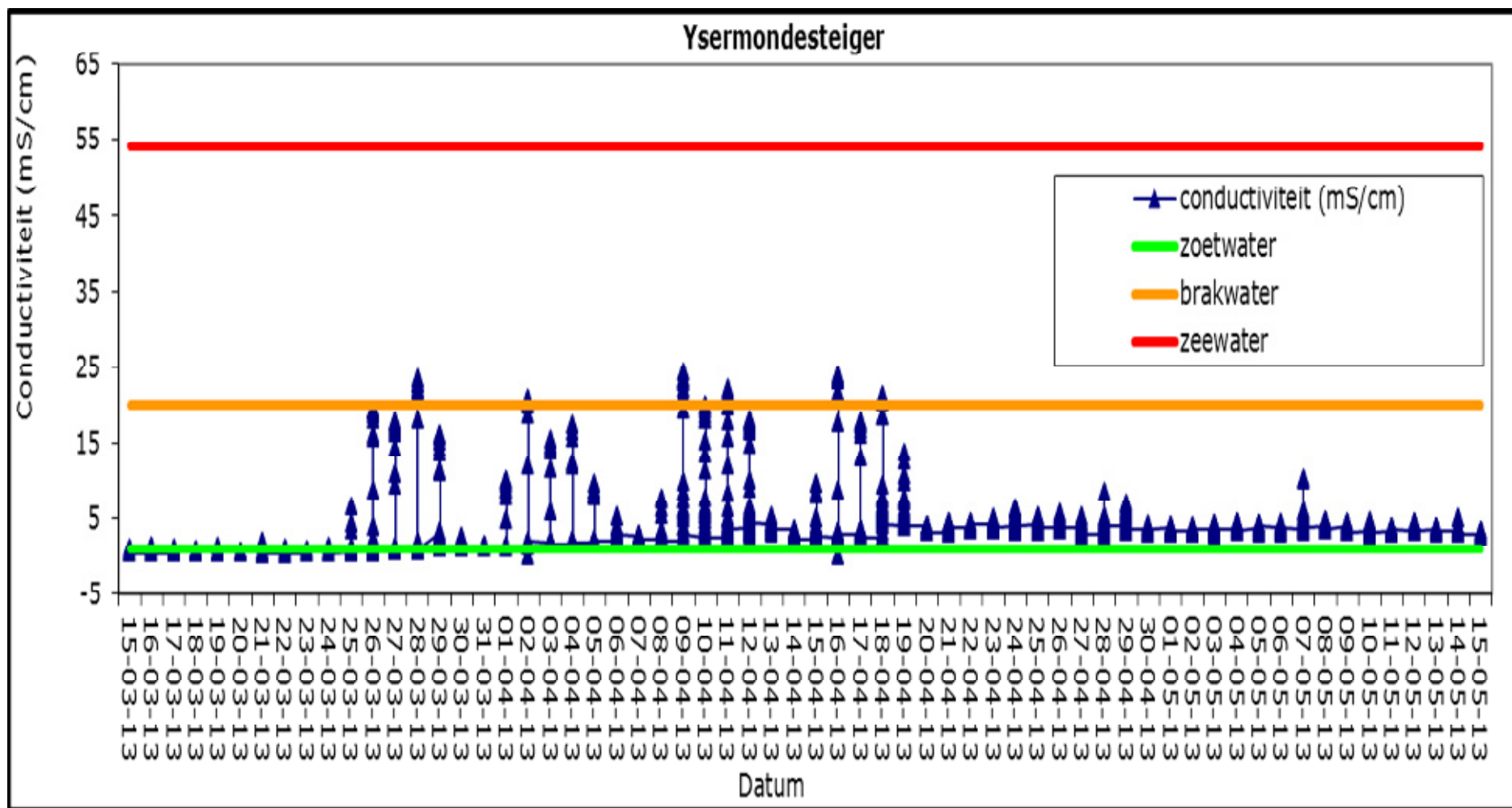


(b)

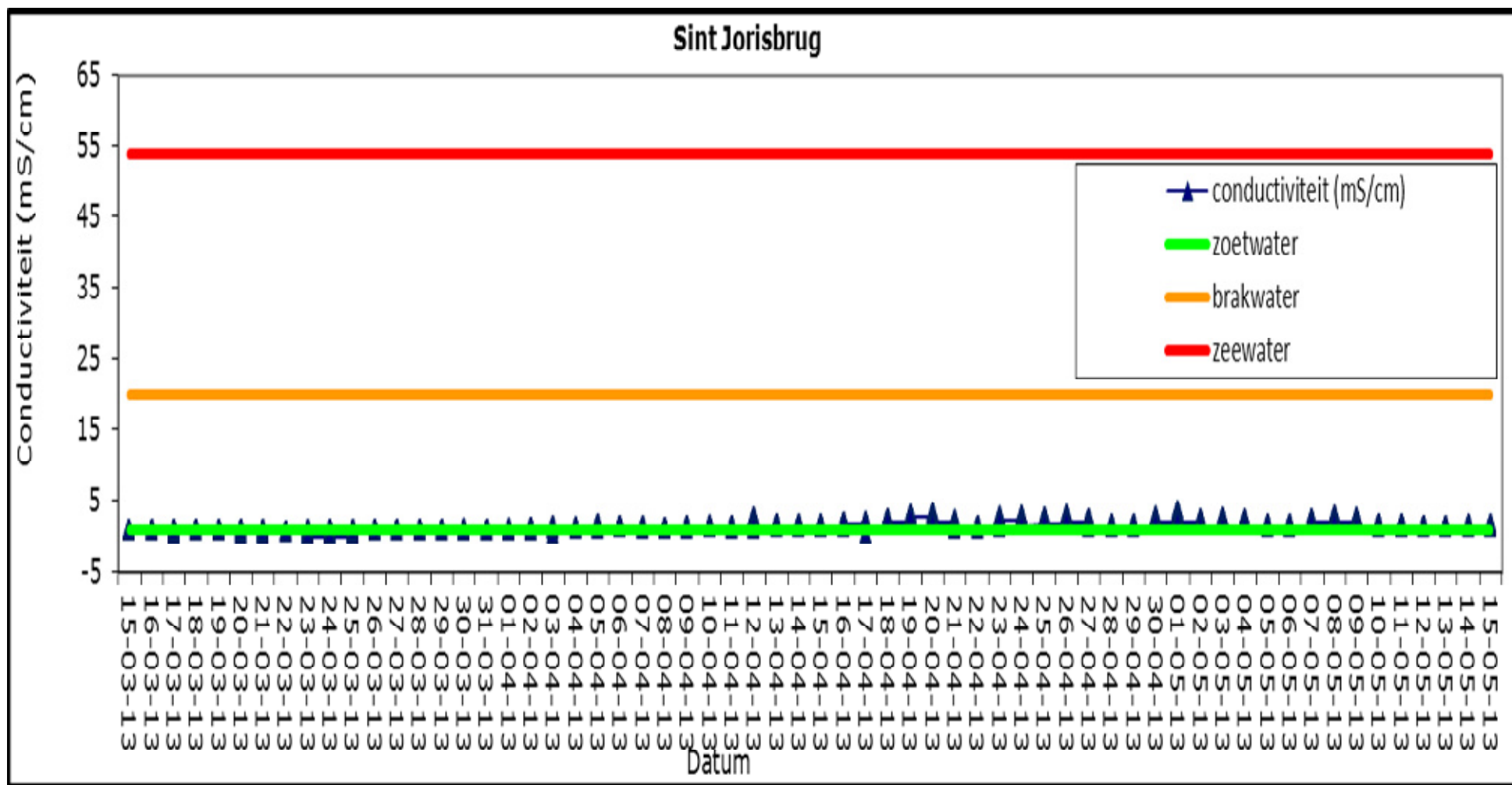
Fig. 14. Het aantal glasaal in functie van het aantal geopende spuien, gesplitst in enerzijds het aantal glasalen waargenomen tijdens bemonsteringen met een lage dichtheid (a) en anderzijds het aantal glasalen waargenomen tijdens bemonsteringen met een hoge dichtheid (b). Het bereik van de y-as verschilt tussen de twee grafieken.

3.2 Invloed van omgekeerd spuibeheer op conductiviteit

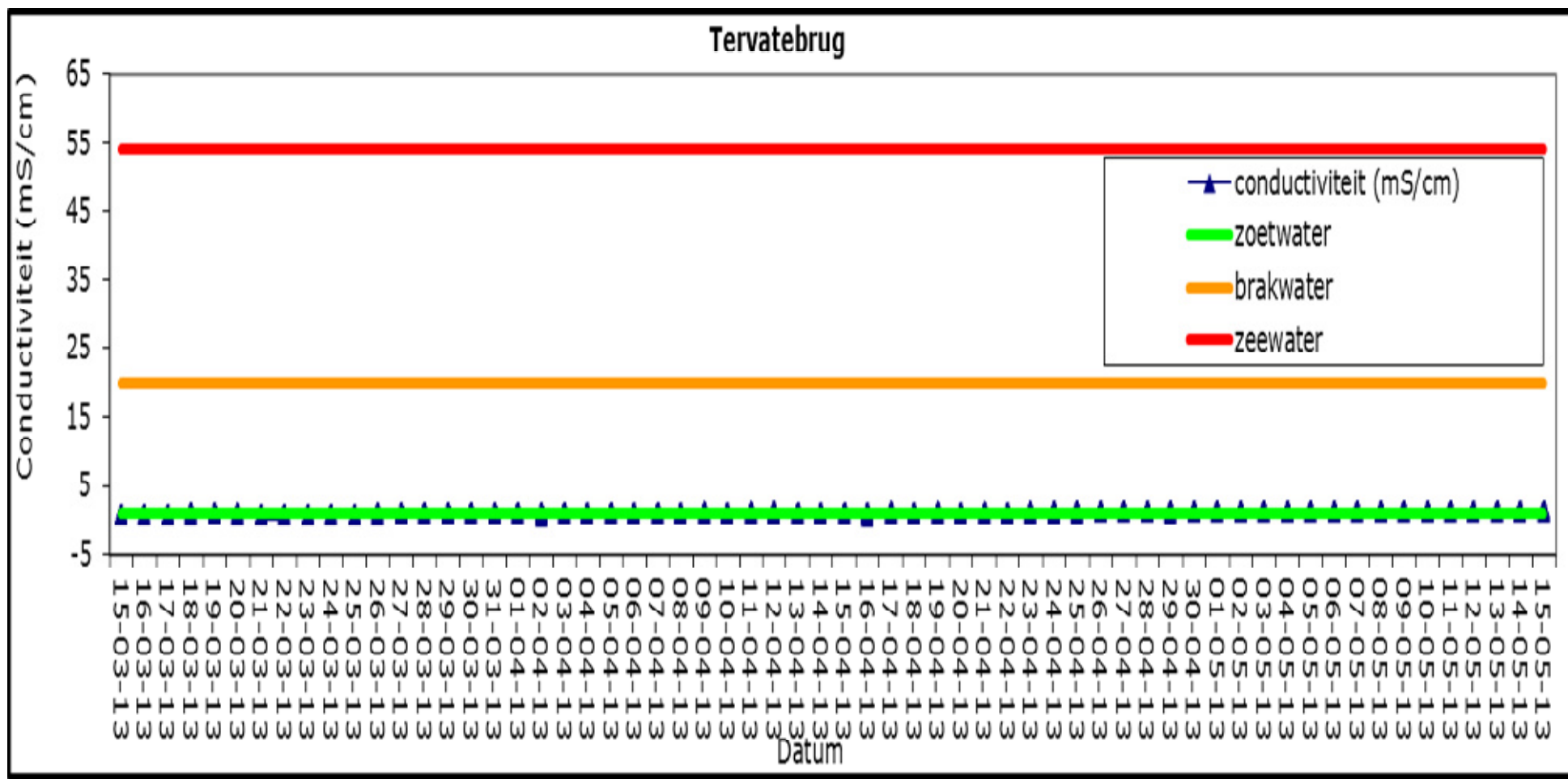
In de conductiviteitsmetingen van de Yserstarsteiger (Fig. 15) is duidelijk het spuischema te herkennen van 1, 5, 3, 4 en 2 spuiopeningen. Hierbij worden conductiviteitswaarden van brak water bereikt. Aan het einde van het aangepast spuibeheer (op 19 april) is nog steeds een lichte verhoging waar te nemen en deze lijkt rond 15 mei weer af te nemen. Opvallend zijn ook de verhoogde waarden op 28 en 29 april en 7 mei, hoewel het omgekeerd spuibeheer toen niet langer werd toegepast. Ter hoogte van de Sint Jorisbrug is gedurende heel de onderzoeksperiode geen significante stijging van de conductiviteit waar te nemen. Bij de Tervatebrug is eveneens geen conductiviteitsfluctuatie meer waar te nemen.



(a)



(b)



(c)

Fig. 15. Conductiviteitsgegevens gemeten ter hoogte van de Yserstarsteiger (a), de Sint Jorisbrug (b) en de Tervatebrug (c). De grafieken van de verschillende locaties zijn in stroomopwaartse richting weergegeven. De Yserstarsteiger bevindt zich het dichtst bij de spuien.

3.3 Invloed van omgekeerd spuibeheer op het tijdstip van glasaalmigratie tijdens tijcylus

Analyse van het aantal glasaal dat migreert op verschillende momenten in de tijcylus toont dat in 14 van de 15 grafieken de curves hun maximum bereiken in de periode van 1 u voor hoogtij. Daarnaast vertonen 13 van de 15 grafieken ook nog een uur na hoogtij een hoge waarde, die wel lager is dan het maximum.

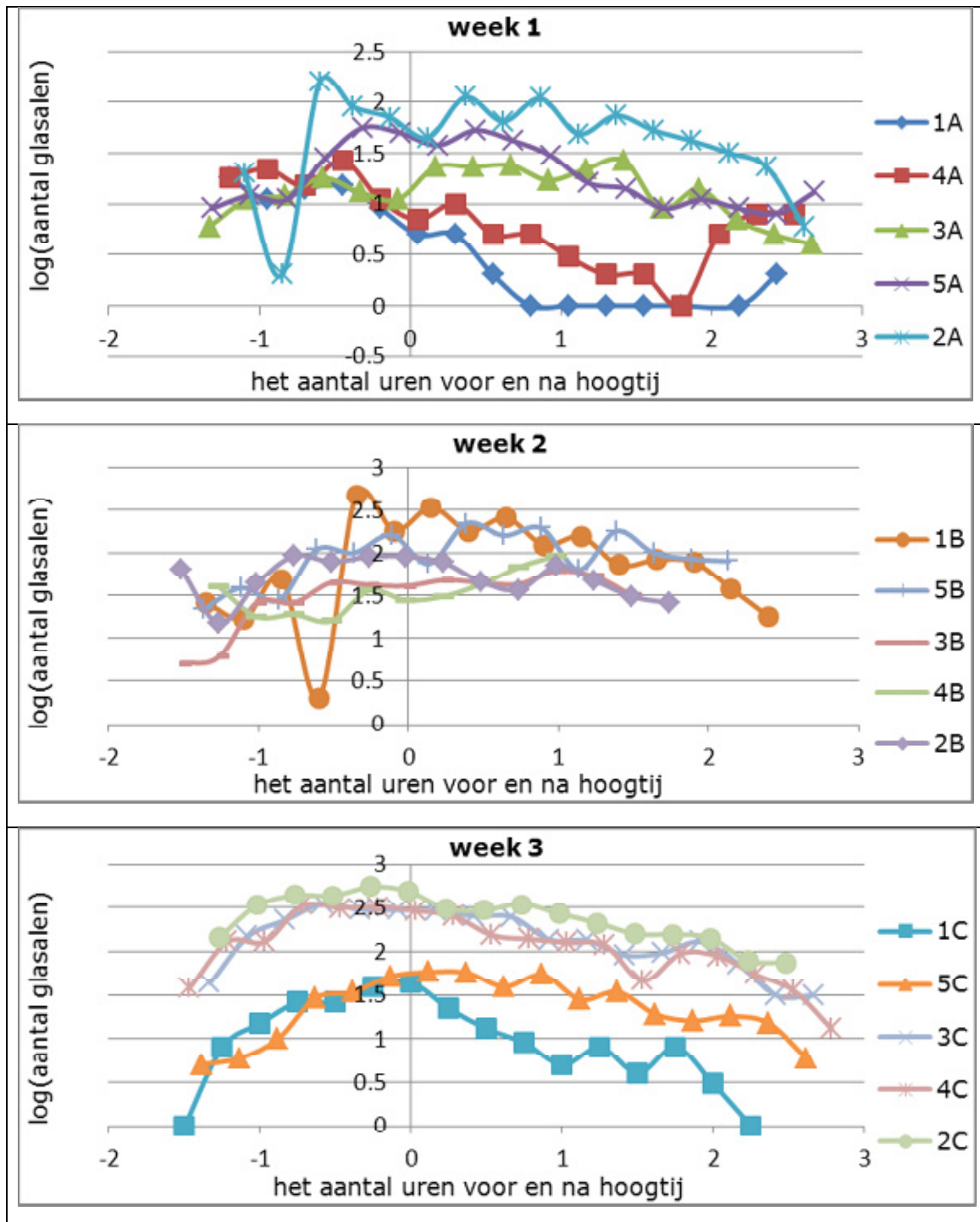


Fig. 16. Het aantal glasaal dat tussen 2 u voor en 3 u na hoogtij binnenkomt tijdens een tijcylus met omgekeerd spuibeheer. Het cijfer staat voor het aantal spuien dat die dag open stond en de letter staat voor de week (A = week 1, B = week 2 en C = week 3).

Een analoge analyse van de glasaaldensiteiten (Fig. 17) toont dat 13 van de 15 grafieken hun hoogste waarden hebben binnen de 2 u voor hoogtij. De densiteiten aan het begin van de metingen zijn over het algemeen vrij hoog. In het uur voor hoogtij bereiken 10 van de 15 grafieken het maximum. Een uur na hoogtij vertonen nog 9 van de 15 grafieken een piek die lager is dan het maximum. Algemeen blijven de densiteiten over de hele tijcyclus constanter dan het aantal glasalen.

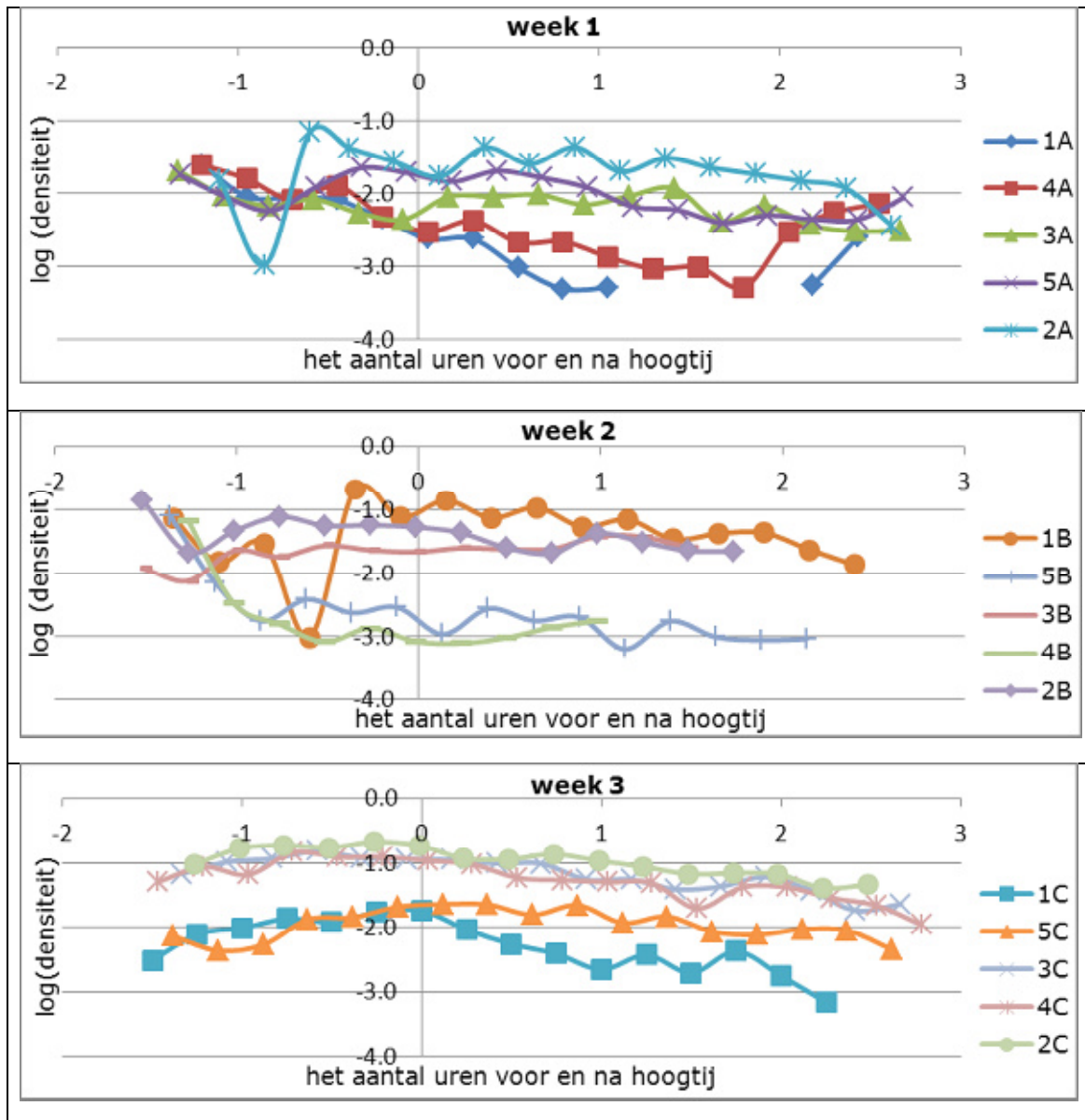


Fig. 17. De glasaaldensiteit waargenomen tussen 2 u voor en 3 u na hoogtij tijdens een tijcyclus met omgekeerd spui-beheer. Het cijfer staat voor het aantal spuien dat die dag open stonden en de letter staat voor de week (A = week 1, B = week 2 en C = week 3).

4 Bespreking

4.1 Invloed van omgekeerd spuibeheer op glasaalmigratie

4.1.1 Relatie tussen omgevingsvariabelen en glasaaldensiteit

We namen geen significant verband waar tussen de watertemperatuur en de glasaaldensiteit. Uit onderzoek van Edeline et al. (2006) blijkt echter dat bij een lage watertemperatuur de verplaatsingsactiviteit en de voorkeur voor zoetwater bij glasaal significant word vermindert. Hieruit kan opgemaakt worden dat wanneer de watertemperatuur stijgt er een hogere verplaatsingsactiviteit is en er een hogere zoetwatervoorkeur ontstaat. In een onderzoek van Laffaille et al. (2007) bij de Couesnon dam in Frankrijk, waarbij ook onderzoek is gedaan naar aantallen en glasaaldensiteiten, werd eveneens een verband gevonden tussen temperatuur en de glasaaldensiteit. Uit dat onderzoek blijkt dat tussen 3 en 9 graden Celsius een toename in densiteit plaatsvindt. Deze gegevens konden we in ons onderzoek echter niet bevestigen. Mogelijks speelt de windrichting een sterkere rol, aangezien bij zuidwestenwind hogere densiteiten werden waargenomen. Dit is mogelijk te verklaren door de morfologie van de IJzermonding, waarbij zuidwestenwind de glasaal als het ware richting de Ganzepoot blaast. Verder onderzoek moet echter uitwijzen of we hier van een significant verband kunnen spreken.

Net als in de vorige studies ter hoogte van de Ganzepoot kon geen significant verband worden waargenomen tussen de glasaaldensiteiten en de maanstand. Bij nieuwe en volle maan werd wel een stijging in densiteit waargenomen, hoewel meer onderzoek nodig is om deze stijging wetenschappelijk te onderbouwen. Onderzoek van Jellyman (1979) heeft een verband aangetoond tussen de maancyclus en glasaalmigratie. In het onderzoek is een sterk verband gevonden tussen de glasaalmigratie en de maancyclus. Het onderzoek heeft aangetoond dat vanaf volle en nieuwe maan de migratie van glasalen begint te stijgen tot 4 dagen later een piek plaatsvindt. Wanneer we dit vergelijken met de resultaten van dit onderzoek valt op dat vanaf volle maan (27/03/2013) en nieuwe maan (10/04/2013) een stijging is waar te nemen in densiteit. De pieken zijn echter niet na te gaan, omdat dag 4 steeds op een dag valt dat er geen metingen zijn gedaan.

Wanneer er vervolgens gekeken word naar glasaaldensiteit en het aantal glasaal gevangen in de aanbodfuisen is te zien dat de densiteitspiek lijkt na te ijlen op de aanbodspiek. Een mogelijke verklaring voor dit verschijnsel is dat de glasalen die tijdens een tijcyclus de Ganzepoot bereiken (en dus in de aanbodfuisen worden gevangen), zich hier verzamelen en voor de spuien wachten op een nieuwe tijcyclus om vervolgens door de spuien te migreren. De eerdere glasaalstudies in de Ganzepoot wezen ook reeds in deze richting.

Wanneer er onderscheid gemaakt wordt tussen glasaal aantallen met een hoge en een lage densiteit, valt op dat na het openen van drie spuien geen significante stijging meer wordt waargenomen wanneer nog meer spuien worden geopend. Het saturatiepunt in het aantal glasalen dat wordt binnengelaten ligt bijgevolg hoogstwaarschijnlijk plaats op de opening van drie spuien. Mogelijks toont dit resultaat eveneens dat de spreiding van de geopende spuien belangrijker is dan het aantal geopende spuien. Als de twee buitenste spuien en de middelste spui geopend zijn ontstaat er mogelijk een bredere lokstroom over de gehele breedte van de waterloop, waardoor meer glasalen worden aangetrokken. Mogelijks is deze lokstroom voldoende groot om alle aanwezige glasaal weg te vangen, zodat bij 4 en 5 geopende spuien geen significante verhoging van het aantal migrerende glasaal wordt waargenomen.

4.2 Invloed van omgekeerd spuibeheer op conductiviteit

Tijdens het onderzoek werd enkel ter hoogte van de Yserstarsteiger een significante verhoging van de conductiviteit waargenomen. Eerdere metingen tonen aan dat ter hoogte van deze locatie zelfs bij gesloten spuideuren verhoogde conductiviteitswaarden optreden (Mouton et al. 2010). Opmerkelijk werden tijdens het huidig onderzoek minder hoge

conductiviteitswaarden waargenomen dan tijdens eerder onderzoek (Mouton et al. 2010). Bij het huidige onderzoek werd echter veel meer zout water binnengelaten dan tijdens het vorige onderzoek, waarbij slechts 1 spui op 20 cm werd gezet of 2 spuien op 10 cm. Aangezien de afvoer tijdens beide bemonsteringsperiodes vergelijkbaar was, is een mogelijke verklaring de betere menging van het zoute en het zoete water bij opening van meerdere spuien. Concreet komt er bij het openen van meerdere spuien een groter volume zoutwater binnen. Aangezien dit zoutwater een hogere snelheid en dichtheid heeft dan de massa zoet water die zich in de IJzer bevindt, "botst" dit zout water als het ware tegen de massa zoet water. Hierdoor ontstaat een oppervlakkige keerstroom die eveneens visueel werd waargenomen bij opening van meer dan 2 spuien. Deze keerstroom zorgt vermoedelijk voor een betere menging van het zoute en zoete water, waardoor het zoutwater minder ver stroomopwaarts doordringt, en vervolgens ook makkelijker weer wordt uitgespoeld bij laagtij. Verder onderzoek moet uitwijzen of het openen van 3 spuien onder alle omstandigheden tot minder netto zoutwaterinstroom in de IJzer leidt.

4.3 Invloed van omgekeerd spuibeheer op tijdstip van glasaalmigratie tijdens tijdcyclus

Gelet op het tijdstip van de glasaalinkomst in aantallen gedurende een tijdcyclus valt op dat het aantal migrerende glasaal het hoogst is in het uur voor hoogtij en dat het uur na hoogtij eveneens hoge aantallen worden waargenomen die iets lager zijn dan het maximum. In dit tijdsvenster (1 u voor hoogtij tot 1 u na hoogtij) is het instromende volume zeewater het grootst en worden de glasalen door een sterkere lokstroom aangetrokken.

Wanneer er vervolgens naar de glasaaldensiteiten over een tijdcyclus gekeken wordt, dan valt op dat de densiteiten bij de aanvang van de bemonsteringen vrij hoog zijn. Deze hoge densiteit is mogelijk het gevolg van het lage volume zeewater dat bij aanvang van de bemonsteringen door de spuien gaat. Een tweede verklaring kan zijn dat de hoge densiteit is ontstaan door glasalen die zich voor de spui hebben verzameld tijdens een vorige tijdcyclus en wachten voor een volgende cyclus. Desondanks komen deze resultaten overeen met de aantals- en densiteitspiek binnen 1 u voor hoogtij die ook werd waargenomen in eerdere onderzoeken (Mouton et al., 2009, Mouton et al. 2010) op de IJzer.

4.4 Toepassing van het omgekeerd spuibeheer op andere spuiconstructies in de Ganzepoot

Aangezien omgekeerd spuibeheer de glasaalmigratie significant kan verbeteren ter hoogte van de Ieperspuien op de IJzer, is het zinvol om na te gaan of deze optie ook toepasbaar is op de andere waterlopen die in de Ganzepoot uitmonden. De randvoorwaarden bij deze analyse zijn het debiet en de maximaal haalbare conductiviteit van de betreffende waterlopen. Omgekeerd spuibeheer impliceert immers dat er een beperkte hoeveelheid zout water wordt binnengelaten. Wanneer de betreffende waterloop onvoldoende debiet heeft om dit zout water terug uit te spoelen, kan er dus verzilting optreden. Het onderzoek op de IJzer heeft immers aangetoond dat bij voldoende debiet omgekeerd spuibeheer perfect toepasbaar is zonder verzilting.

Concreet zijn er vijf waterlopen die naast de IJzer in de Ganzepoot uitmonden (het Nieuw Gedelf, de Plassendalevaart, de Kreek van Nieuwendamme, het Kanaal Veurne Ambacht en het Kanaal van Duinkerke), waarvan er één waterloop een voldoende hoog debiet (= een debiet van dezelfde grootte-orde als de IJzer) voert om omgekeerd spuibeheer over een langere periode toe te passen zonder dat er verzilting optreedt. Hier zou dus, eventueel mits continue opvolging van de conductiviteit zoals nu op de IJzer het geval is, omgekeerd spuibeheer kunnen worden toegepast zonder risico op verzilting. Er moet echter opgemerkt dat stroomopwaarts van de spuiconstructie op het Kanaal Veurne Ambacht het gemaal van de Grote Beverdijk staat. Hierdoor kan de glasaal die de spuiconstructie passeert slechts een korte afstand stroomopwaarts zwemmen. Toepassing van omgekeerd spuibeheer op het Kanaal Veurne Ambacht lijkt dus enkel zinvol wanneer ook ter hoogte van het gemaal

voldoende maatregelen worden genomen om stroomopwaartse migratie te garanderen. Onderzoek in het Verenigd Koninkrijk heeft aangetoond dat aalgoten hier goede resultaten kunnen leveren (Environment Agency Eel Manual: Eel and Elver Passes, <http://www.environment-agency.gov.uk/business/topics/water/146448.aspx>).

Ter hoogte van de vier andere waterlopen die minder debiet voeren, kan omgekeerd spui-beheer eveneens worden toegepast, maar zal bij lagere debieten verzilting mogelijk zijn. Bovendien is het peil van deze waterlopen ook lager dan het peil van de IJzer, waardoor het tijdsvenster waarbinnen omgekeerd spui-beheer mogelijk is, korter is. Toch is omgekeerd spui-beheer hier niet uitgesloten om drie redenen: 1) in periodes van hogere afvoer kan omgekeerd spui-beheer zonder risico op verzilting worden toegepast op om het even welke waterloop, 2) mogelijks kan door beperkt openen van de spuien bij gelijk peil van de zee en de waterloop toch al een substantieel deel van de aanwezige glasalen worden binnengelaten, maar deze piste vereist nog verder onderzoek, en 3) het toelaten van beperkte verzilting is misschien mogelijk in sommige waterlopen, zoals de Kreek van Nieuwendamme die een relatief klein afstromingsgebied heeft.

Wanneer omgekeerd spui-beheer onmogelijk blijkt te zijn, kunnen ter hoogte van de andere waterlopen meer technische oplossingen geïmplementeerd worden, zoals getijdenkleppen die op een bepaald moment van de tijdcyclus een zeer beperkte hoeveelheid zout water binnenlaten. Deze getijdenkleppen hebben hun nut bewezen in het Verenigd Koninkrijk (Environment Agency Eel Manual: Eel and Elver Passes, <http://www.environment-agency.gov.uk/business/topics/water/146448.aspx>).

4.5 Impact van het aangepast spui-beheer op de palingpopulaties in de IJzer

Tenslotte werd de verwachte impact van het aangepast spui-beheer op de palingpopulaties in de IJzer voorspeld op basis van de waarnemingen en het populatiemodel beschreven door Dekker et al. (2008). Richtwaarde hierbij was een zilverpalingdensiteit van $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, zoals vooropgesteld in het palingbeheerplan (Dekker et al., 2008) en door de Aalverordening. Om deze densiteit te bekomen, is op basis van de oppervlakte aan bereikbare en voor de opgroei van paling geschikte waterlopen in het IJzerbekken (932.2 ha) een totale biomassa aan zilveraai van 9322 kg vereist in het IJzerbekken. Volgens het model van Dekker et al. (2008) is een glasaalinstroom van 639545 glasalen nodig om deze biomassa aan zilverpaling te bekomen.

De resultaten in dit werk geven aan dat het omgekeerd spui-beheer per tijdcyclus en bij 3 geopende spuien op 20 cm tussen de 2500 en de 10000 glasalen stroomopwaarts laat migreren. Rekening houdend met een migratieperiode tussen half februari en half mei (ca. 90 dagen) en twee tijdcycli per dag geeft dit dus een glasaalinstroom van minstens $2500 \times 2 \times 90 = 450000$ en maximaal $10000 \times 2 \times 90 = 1800000$ glasalen, of tussen de 70 en 280 % van het aantal glasalen vereist volgens het populatiemodel. De resultaten geven bijgevolg aan dat het mogelijk is om met omgekeerd spui-beheer het nodige aantal glasalen stroomopwaarts te laten migreren, met die voorwaarde dat er geen noemenswaardige conductiviteitsstijging wordt waargenomen.

5 Aanbeveling voor verder onderzoek

Naast het verder exploreren van toepassingsmogelijkheden van omgekeerd spuibeheer op andere waterlopen in de Ganzepoot en Vlaanderen, zijn er nog een aantal interessante pistes voor verder onderzoek. Zo zou de relatie tussen milieuvariabelen en de glasaaldensiteit verder kunnen worden uitgediept. Inzicht in deze relatie kan op termijn toelaten om het omgekeerd spuibeheer nog te verfijnen, wanneer bijv. op basis van milieucondities een glasaalpiek betrouwbaar kan voorspeld worden.

De waarnemingen in de aanbodfuiken geven aan dat verder onderzoek van het gedrag van glasaal in de Ganzepoot nuttig kan zijn. Wanneer de waargenomen hoogste densiteiten bij het begin van de bemonsteringen effectief het resultaat zijn van wachtgedrag ter hoogte van de spuiconstructies door glasaal die in de vorige tijcyclus aankwam, wordt het mogelijk om door korte opening van de spuien (rond gelijk waterpeil van de zee en de waterloop) toch een substantieel deel van de aanwezige glasaal binnen te laten. Op die manier wordt omgekeerd spuibeheer mogelijk toch toepasbaar op waterlopen die een lager debiet voeren.

De onderzoeken omtrent omgekeerd spuibeheer hebben tot nu toe steeds gefocust op glasaal. Deze beheersmaatregel kan echter ook een gunstige invloed hebben op andere soorten. Verder onderzoek is hier aangewezen, zeker wanneer we het potentieel van de IJzer als één van de laatste grote rivieren in Vlaanderen met een relatief goede water- en habitatkwaliteit beschouwen. Opmerkelijk waren bijvoorbeeld ook de vangsten van spiering en juveniele rivierprik larven, die het belang van de IJzer toch onderstrepen.

Toekomstig onderzoek kan ook focussen op het verder verfijnen van het huidige omgekeerd spuibeheer. We denken hier aan het nagaan van de relatie tussen de conductiviteit en het openen van 3 spuien, om te zien of de keerstroomhypothese effectief opgaat. Automatisatie van het omgekeerd spuibeheer zou de bedrijfszekerheid in elk geval verhogen, en ook toelaten om het beheer online te sturen op debiet en conductiviteitswaarnemingen. Op die manier heeft de Ganzepoot het potentieel om een testcase voor Vlaanderen te worden.

Tenslotte is het cruciaal om het effect van het omgekeerd spuibeheer op de visstand in de IJzer op te volgen, dit door middel van een aantal gestandaardiseerde densiteitsmetingen van paling over verscheidene jaren. Momenteel wordt door vissers de vangst van relatief veel kleine paling gecommuniceerd, maar wetenschappelijk onderbouwde gegevens zijn hier cruciaal om het succes van het omgekeerd spuibeheer te valideren. Het heeft immers weinig zin om tot 600 keer meer glasaal in de IJzer te laten als dit uiteindelijk niet leidt tot een meer duurzame palingpopulatie in de IJzer. Opnieuw liggen hier kansen om dit gebied te laten uitgroeien tot een voorbeeld voor andere waterbeheerders.

6 Literatuurlijst

- Belpaire, C. (2002). Monitoring van de glasaalrekrutering in België. Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer .
- Bonhommeau, S., Chassot, E., Planque, B., Rivot, E., Knap, A. H., Le Pape, O. (2008a). Impact of climate on eel populations of the Northern Hemisphere. *Marine Ecology-Progress Series*. 373, 71-80.
- Briand, C., Fatin, D., Fontenelle, G., Feunteun, E. . (2005). Effect of re-opening of a migratory pathway for eel (*anguilla anguilla*, L.) at a watershed scale. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture*. 67-86.
- Bult, T.P. , Dekker, W. (2007). Experimental field study on the migratory behaviour of glass eels (*Anguilla anguilla*) at the interface of fresh and salt water. *Ices Journal of Marine Science*. 64, 1396-1401.
- Denayer, B., Belpaire, C. (1996). Bottle-necks for restoration of the eel population, *Anguilla anguilla* (L.) of the river Yser basin (Flanders). *Archives of Polish Fisheries* 4, 175-186.
- Edeline, E., Lambert, Rigaud, C., Ellie, P. (2006). Effects of body condition and water temperature on *Anguilla anguilla* glass eel migratory behavior. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 217-225.
- Feunteun, E., Acou, A., Guillouet, J., Laffaille, P., Legault, A. (1998). Spatial distribution of an eel populatioe (*Anguilla anguilla* L) in a small coastal catchment of northern Brittany (France). Consequences of hydraulic works. *Bulletin Francais de La Peche et de la Pisciculture*. 349, 129-139.
- Friedland, K.D., Miller, M.J., Knights, B. (2007). Oceanic changes in the Sargasso Sea and declines in recruitment of the European eel . *ICES journal of Marine Science*, 64, 519-530.
- Jellyman, D.J. (1979). Upstream migration of glass-eels (*Anguilla* spp.) in the Waikato River. *New Zealand Journal of Marine & Freshwater Research* 13, 13-22.
- Kettle, A.J., Bakker, D.C.E., Haines, K. (2008). Impact of the North Atlantic Oscillation on the trans Atlantic migrations of the European eel (*Anguilla anguilla*). *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*. 113, G03004.
- Knights, B. (2003). A review of the possible impacts of long-term oceanic and climate changes and fishing mortality on recruitment of anguillid eels of the Northern Hemisphere. *Science of the Total Environment* 310, 237-244.
- Laffaile, P., Caraguel, J.M., Legault, A. (2007). Temporal patterns in the upstream migration of European glass eels (*Anguilla anguilla*) at the Couesnon estuarine dam. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 73, 81-90.
- Mouton, A., Gelaude, E., Buysse, D., Stevens, M., Van den Neucker, T., Martens, S., Baeyens, R., Jacobs, Y., Coeck, J. (2009). Glasaalmigratie ter hoogte van het Ganzepoot spuicomples te Nieuwpoort. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
- Mouton, A., Gelaude, E., Buysse, D., Stevens, M., Van den Neucker, T., Martens, S., Baeyens, R., Jacobs, Y., Coeck, J. (2010). Optimalisatie van glasaalmigratie in de Ganzepoot (IJzermonding) in Nieuwpoort. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek .
- Onbekend . (2013, Februari 6). Achteruitgang paling (glasaal). Opgeroepen op Maart 17, 2013, van Compendium voor de leefomgeving: <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl1227-Achteruitgang-paling.html?i=4-29>

onbekend. (2010, april 8). vlaamse rivieren verwelkomen verse paling. Opgehaald van natuur en bos: http://www.natuurenbos.be/nl-BE/Topmenu/Pers/2010/100408_vlaamse_rivieren_verwelkomen_verse_paling.aspx

White, E.M., Knights, B. (1997). Environmental factors affecting migration of the European eel in the Rivers Severn and Avond, England. *Journal of Fish Biology*. 50, 1104-1116.

Lijst van figuren

Fig. 1. Relatie tussen de hoeveelheid migrerende glasaal en het aantal geopende spuien. In vorig onderzoek (Mouton et al., 2010) is een lineair verband tussen het aantal geopende spuien en het aantal migrerende glasaal gevonden. Of er een saturatiepunt bereikt kan worden, moet dit onderzoek uitwijzen (zodat het deel van de curve onder het vraagteken kan bepaald worden.	11
Fig. 2. Het Ganzepoot spuicomplex met zes waterlopen die er in uitmonden: 1. Nieuw Bedelf, 2. Kanaal Nieuwpoort-Plassendale, 3. Kreek van Nieuwendamme, 4. De IJzer, 5. Veurne Ambacht, 6. Kanaal Nieuwpoort-Duinkerke.	12
Fig. 3. De Iepersluis met 5 spuisluizen.....	14
Fig. 4. Eén van de fuiken die gebruikt werd om de spuiopeningen te bemonsteren. De fuiken hebben een opening van 2.0 x 2.1 m, een maasgrootte van 1000 µm en een lengte van 10.5 m.	14
Fig. 5. Eén van de aanbodfuiken die onder de brug van het Ganzepoot spuicomplex is geplaatst om het aanbod glasaal te kwantificeren.	15
Fig. 6. De ligging van de aanbodfuiken in de Ganzepoot buiten de vaargeul stroomafwaarts de IJzerspuien. De rode pijlen geven de locaties aan waar de aanbodfuikjes geplaatst zijn.	15
Fig. 7. De werking van de Venturi-zuiger: een pomp pompt water door een buis (blauw) en veroorzaakt hierdoor een venturi-aanzuigefect ter hoogte van een vernauwing (zwart). Hierdoor wordt glasaal aangezogen uit de fuik (via de gele buis) en komt de glasaal in het opvangnet terecht (via de groene buis).	16
Fig. 8. De locaties waar de CTD conductiviteitsdivers werden geplaatst.....	16
Fig. 9. Gemiddelde en standaarddeviatie van de glasaaldensiteit (m^{-3}) en watertemperatuur per dag over een periode van 4 weken bemonstering.....	18
Fig. 10. Gemiddelde en standaarddeviatie van glasaaldensiteit (m^{-3}) en het gemiddelde met standaarddeviatie van het aantal glasaal in de aanbodfuiken per dag over een periode van 4 weken bemonstering.	19
Fig. 11. Gemiddelde glasaaldensiteit (m^{-3}), windrichting en maanstand. De zwarte en witte maan zijn resp. volle en nieuwe maan, 360°/0° is noordelijke windrichting, 90° oost, 180° zuid en 270° west.....	19
Fig. 12. Gemiddelde en standaarddeviatie van glasaaldensiteit (m^{-3}) in functie van het aantal geopende spuien.	20
Fig. 13. Aantal glasaal in functie van het aantal geopende spuien.	21
Fig. 14. Het aantal glasaal in functie van het aantal geopende spuien, gesplitst in enerzijds het aantal glasalen waargenomen tijdens bemonsteringen met een lage densiteit (a) en anderzijds het aantal glasalen waargenomen tijdens bemonsteringen met een hoge densiteit (b). Het bereik van de y-as verschilt tussen de twee grafieken.....	22
Fig. 15. Conductiviteitsgegevens gemeten ter hoogte van de Yserstarsteiger (a), de Sint Jorisbrug (b) en de Tervatebrug (c). De grafieken van de verschillende locaties zijn in stroomopwaartse richting weergegeven. De Yserstarsteiger bevindt zich het dichtst bij de spuien.	25
Fig. 16. Het aantal glasaal dat tussen 2 u voor en 3 u na hoogtij binnenkomt tijdens een tijdcyclus met omgekeerd spuibeheer. Het cijfer staat voor het aantal spuien dat die dag open stond en de letter staat voor de week (A = week 1, B = week 2 en C = week 3).	26

Fig. 17. De glasaaldensiteit waargenomen tussen 2 u voor en 3 u na hoogtij tijdens een
 tijcycclus met omgekeerd spui-beheer. Het cijfer staat voor het aantal spuien dat
 die dag open stonden en de letter staat voor de week (A = week 1, B = week 2
 en C = week 3). 27

Lijst van tabellen

Tabel 1. Het aantal spuien dat geopend werd op iedere dag van de week. Dit schema werd vier weken aangehouden.	12
Tabel 2. De spuien van de Iepersluis die werden opengezet op de verschillende staalnamedagen.	13

Begin hier met de tekst van het rapport

Referenties

Bijlage 1: Titel