

237

## Glasaalmigratie ter hoogte van het Ganzepoot spuicomplex te Nieuwpoort

Ans Mouton, Emilie Gelaude, David Buysse, Maarten Stevens, Tom Van den Neucker,  
Seth Martens, Raf Baeyens, Yves Jacobs, Johan Coeck

INBO.R.2009.62

R

|||||



**Auteurs:**

Ans Mouton, Emilie Gelaude, David Buysse, Maarten Stevens, Tom Van den Neucker, Seth Martens, Raf Baeyens, Yves Jacobs, Johan Coeck  
Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

*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:**

Onderzoek naar glasaalmigratiemogelijkheden in de Ganzepoot (IJzermonding) in Nieuwpoort. Studie in opdracht van W&Z, Afdeling Bovenschelde. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2009 (INBO.R.2009.62). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

**D/2009/3241/524**

**INBO.R.2009.62**

**ISSN: 1782-9054**

**Verantwoordelijke uitgever:**

Jurgen Tack

**Druk:**

Managementondersteunende Diensten van de Vlaamse overheid.

**Foto cover:**

Glasaal waargenomen in Nieuwpoort

**Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van:**

W&Z, Afdeling Bovenschelde, Nederkouter 28, 9000 Gent



Waterwegen en Zeekanaal NV

211483

VLIZ (vzw)  
VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZE  
FLANDERS MARINE INSTITUTE  
Oostende - Belgium



# **Onderzoek naar glasaalmigratiemogelijkheden in de Ganzepoot (IJzermonding) in Nieuwpoort**

**Ans Mouton, Emilie Gelaude, David Buysse, Maarten  
Stevens, Tom Van den Neucker, Seth Martens, Raf  
Baeyens, Yves Jacobs, Johan Coeck**

Rapport van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

INBO.R.2009.62

Studie in opdracht van W&Z Afdeling Bovenschelde

## Dankwoord

Dit onderzoek startte ergens in een niet nader genoemd Italiaans-Brussels etablissement met een wedstrijdje gevangen glasaalaantallen voorspellen. De schattingen werden nauwkeurig te bierkaart neergepend, waarbij de meest optimistische schatter een slordige 3000 glasalen voorspelde. Het zijn er uiteindelijk meer dan 6000 geworden.

Dit resultaat was nooit bereikt zonder de spontane inzet van een heel team INBO medewerkers maar ook studenten en vrijwilligers. Oprechte dank aan Arnoud, Bart, Gino, Karen, Nico, Nicole, Stijn, Thomasz, Veronique, Ward en de medewerkers van de Onderzoeksgroep Aquatisch Beheer. Zelden zo een mooie samenwerking meegemaakt, ik heb er enorm van genoten.

Een welverdiende pluim gaat ook naar de spuiwachters in Nieuwpoort, voor hun enthousiaste medewerking bij de spuibediening, vaak met een kopje koffie of een gezellige babbel er bovenop.

Tot slot een bedankje voor de inwoners van Nieuwpoort, om te tonen dat er aan onze Belgische kust ook nog dorpen met een ziel te vinden zijn.



## Samenvatting

Reeds tientallen jaren wordt een sterke daling van de Europese aalpopulaties (*Anguilla anguilla* L.) waargenomen in Europa en de soort wordt nu zelfs beschouwd als één van de meest bedreigde Europese vissoorten. De beperking van de stroomopwaartse migratie van glasaal wordt nu algemeen beschouwd als één van de kritische factoren die de aalpopulaties in gevaar brengt. Eén van de belangrijkste intrekroutes voor glasaal in Vlaanderen betreft de IJzermonding. Daarom analyseert dit rapport glasaalmigratie en worden mogelijke mitigerende alternatieven geëvalueerd ter hoogte van de spuiconstructies in de Ganzepoot (IJzermonding) in Vlaanderen, België. Glasaal werd gevangen tijdens opkomend tij met sleep- en kruisnetten om hun verspreiding over het studiegebied na te gaan, terwijl een fuik werd gebruikt om de invloed van beperkte spui-opening tijdens opkomend tij op glasaalmigratie na te gaan. Migrerende glasalen bereikten de spuien vermoedelijk tijdens een vorige tijcyclus, en er werd een dichtheitspiek waargenomen in de tijstroom gedurende het laatste uur voor hoogtij. Support-vector machine analyse van de kruisnetdata toonde aan dat migrerende glasaal aangetrokken wordt door de zoetwaterstroom die lekt door de spuien, terwijl andere variabelen zoals de bemonsteringslocatie slechts een beperkt effect hadden op de glasaaldensiteit. Een artificiële lokstroom leidde niet tot significante veranderingen in de glasaaldensiteiten. Beperkte spui-opening gedurende het opkomend tij bleek een kostenefficiënte en effectieve mitigerende maatregel te zijn om stroomopwaartse glasaalmigratie te verbeteren, zonder significante instroom van zeewater. Aangezien dit aangepaste spui-beheer makkelijk kan geïmplementeerd worden en kan toegepast worden op talrijke gelijkaardige constructies, kunnen de resultaten in dit rapport bijdragen tot oplossingen voor het wereldwijd herstel van aalpopulaties en van belang zijn voor een groot aantal rivierbeheerders en stakeholders.

## Aanbevelingen voor beheer en/of beleid

De kruisnetbemonsteringen leren ons dat het glasaalaanbod ter hoogte van de spuien sterk varieert. Aangezien de data-analyse van deze gegevens aangaf dat er geen significant effect was van de bemonsteringslocatie, kunnen we besluiten dat glasaal relatief uniform verspreid is over de Ganzepoot. Hieruit volgt dat de oplossing van migratieknelpunten over de gehele Ganzepoot effectief kan zijn, en dat er dus geen preferentiële waterloop is waarvoor het migratieknelpunt prioritair zou moeten worden opgelost ten opzichte van de andere waterlopen in de Ganzepoot.

De data-analyse gaf ook aan dat er geen effect was van de artificiële zoetwaterlokstroom, maar wel van de huidige lokstroom die door de gesloten spuideuren ontsnapt. Hierdoor is een lokstroomgebaseerde migratie-oplossing, zoals een glasaalgoot, minder aangewezen. Concreet wordt het moeilijk om de glasaal naar deze goot te lokken zolang de sterke lokstroom door de gesloten deuren blijft bestaan. Dit werd ook bevestigd door de resultaten van een vorige studie. De aanwezige sterke lokstroom kan echter wel positief worden aangewend, door bijvoorbeeld een migratie-oplossing in de monding van de waterlopen te creëren.

Vergelijking van de sleepnetbemonsteringen en de fuikbemonsteringen toont aan dat glasaal lichtschuw is maar wel de hele dag aanwezig. Bijgevolg is het nuttig om een migratie-oplossing te creëren die zowel overdag als 's nachts werkzaam is.

De fuikbemonsteringen geven aan dat er nagenoeg geen glasaal migreert door de gesloten spuideuren, terwijl relatief hoge aantallen migreren door de licht geopende spui. Concreet kan dergelijk aangepast spui-beheer dus al een significante winst voor de glasaalinstroom in de IJzer bieden. Het effect van het instromende zoutwater is afhankelijk van het debiet van de waterloop waarop deze techniek wordt toegepast. Concreet zal de beheerder dus in functie van dit debiet een afweging moeten maken tussen verzilting en herstel van de palingpopulaties. Voor de IJzer werd aangetoond dat het risico op permanente verzilting nagenoeg onbestaande is.

Zoals aangetoond in dit rapport laat aangepast spui-beheer een efficiënte migratie van glasaal en andere vissoorten toe. Hierbij moet worden opgemerkt dat de andere vissoorten eerder soorten zijn die bentisch migreren; van soorten die pelagisch migreren, zoals spiering, kan verwacht worden dat deze minder geneigd zullen zijn om door de smalle kier onderaan de spuien te migreren. Verder onderzoek kan uitwijzen in hoeverre deze methode ook efficiënt is voor andere migrerende soorten. Aangepast beheer laat stroomafwaartse migratie toe en leidt niet tot energieverlies van de migrerende glasaal. Om de zoutwaterinstroom te beperken kan deze methode tijdelijk worden toegepast. Deze methode laat echter niet toe op het aantal migrerende glasalen eenvoudig te kwantificeren.

Aangepast spui-beheer laat toe om hoge peilverschillen te overbruggen, zolang het peil stroomafwaarts van de barrière maar geregeld het peil stroomopwaarts overschrijdt. Dit beheer zorgt voor een beperkte instroom van zoutwater maar vereist geen constructies, waardoor de esthetische kwaliteit hoog is. Bovendien is hierdoor ook geen bouwvergunning en ruimte vereist en kan deze methode direct geïmplementeerd worden. Een lokstroom is niet noodzakelijk maar de methode is niet toepasbaar bij lage debieten, tenzij verzilting van de stroomopwaartse waterloop mag optreden. Om de methode verder te optimaliseren, kan beperkt verder onderzoek worden uitgevoerd.

Deze methode heeft bijgevolg een gemiddelde voorstudiekost, maar een lage onderhouds- en werkingskost, terwijl de aanlegkost nihil is. De bediening kan geautomatiseerd worden, zodat ook hier geen extra kosten ontstaan.



## English abstract

During the last decades, European eel populations (*Anguilla anguilla* L.) have declined dramatically and are now assumed as some of the most critically endangered fish populations in Europe. The limitation of upstream migration of glass eel is considered to be one of the critical factors endangering eel populations. Therefore, this paper aims to analyse glass eel migration and to evaluate possible mitigation alternatives at a tidal barrier system of the IJzer river mouth in Flanders, Belgium. Glass eel were sampled during tidal rise with stow nets and lift nets to study their distribution over the study area, while a fyke net was used to evaluate the impact of limited barrier opening on glass eel migration. Glass eel migrating at the barriers appeared to have arrived during a previous tidal cycle, while a density peak was observed in the tidal flow during the last hour before high tide. Support-vector machine-based analysis of the lift net data indicated that migrating glass eel are attracted by the freshwater flow leaking from the barriers, whereas other variables such as the sampling location only had a small impact on the glass eel density. Adjusted barrier management creating an artificial attraction flow did not cause any significant changes in glass eel densities. Limited barrier opening during tidal rise appeared to be a cost-efficient and effective mitigation option to improve upstream glass eel migration, without significant penetration of sea water. Since the adjusted barrier management is easily implemented and could be applied on numerous tidal barriers, the presented results may contribute to restoration of eel populations worldwide and be of interest to a wide range of river managers and stakeholders.

# Inhoud

<b>Dankwoord</b> .....	<b>2</b>
<b>Samenvatting</b> .....	<b>3</b>
<b>Aanbevelingen voor beheer en/of beleid</b> .....	<b>4</b>
<b>English abstract</b> .....	<b>6</b>
<b>1</b> <b>Introductie</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b> <b>Materiaal en methodes</b> .....	<b>10</b>
2.1        Studiegebied: de Ganzepoot .....	10
2.2        Gegevensverzameling .....	11
2.3        Data analyse.....	15
<b>3</b> <b>Resultaten</b> .....	<b>16</b>
<b>4</b> <b>Bespreking</b> .....	<b>19</b>
<b>5</b> <b>Conclusies in functie van het beheer</b> .....	<b>22</b>
<b>6</b> <b>Afweging van verschillende alternatieven ter stimulatie van               glasaalmigratie</b> .....	<b>23</b>
<b>Literatuurlijst</b> .....	<b>29</b>
<b>Lijst van figuren</b> .....	<b>31</b>
<b>Lijst van tabellen</b> .....	<b>32</b>



# 1 Introductie

Reeds tientallen jaren wordt een sterke daling van de Europese aalpopulaties (*Anguilla anguilla* L.) waargenomen in Europa (Dekker, 1998; Dekker, 2000; Bonhommeau et al., 2008b) en de soort wordt nu zelfs beschouwd als één van de meest bedreigde Europese vissoorten. Oorzaken voor deze trend zijn de chemische waterkwaliteit, fysische habitatcondities, migratiebarrières, predatie, oceanische wijzigingen of klimaatsveranderingen (White and Knights, 1997; Knights, 2003; Friedland et al., 2007; Kettle et al., 2008; Bonhommeau et al., 2008a). Om deze problemen op te lossen heeft de Europese Unie recent de Aalverordening (EC No. 1100/2007) uitgevaardigd, die het behoud en het herstel van de soort beoogt. Verder vraagt de verordening een beheersaanpak die de ontsnapping van 40% van de schieraalbiomassa garandeert.

Dankzij de talrijke laaglandrivieren, meren en poelen wordt Vlaanderen beschouwd als een belangrijke regio voor opgroei van aal en de rekrutering van zilveraal. De laatste jaren verbeterde de chemische waterkwaliteit van de Vlaamse rivieren significant door intensieve afvalwaterzuivering en de implementatie van bemestingsnormen. Bovendien is de aal een relatief tolerante soort, waardoor de meeste van de Vlaamse waterlichamen een geschikt habitat vormen en de aal wijdverspreid is in Vlaanderen (<http://vis.milieuinfo.be/>). De rivierbeheerders focussen daarom op de mitigatie van predatie en migratiebarrières om de aalpopulaties te stimuleren.

Verschillende auteurs bevestigen dat de stroomopwaartse migratie van juveniele aal, hierna glasaal genoemd, één van de cruciale knelpunten is in het behoud van aalpopulaties (White & Knights, 1997; Feunteun et al., 1998; Briand et al., 2005; Laffaille et al., 2007; Bult and Dekker, 2007). *Leptocephalus* larven uit de Sargassozee transformeren tot glasaal tijdens hun migratie in de Golfstroom en deze bereiken vaak hun Europese zoetwaterhabitats niet door migratiebarrières als dammen, stuwen en sluisen. Deze gereduceerde glasaalmigratie kan leiden tot een daling van zilveraallittrek en dus resulteren in een vicieuze cirkel die de aalpopulaties bedreigt.

De meeste Europese estuaria kennen een hoge connectiviteit en dus een graduele overgang tussen zout en zoet water. Dit laat de glasaal toe om stroomopwaarts te migreren naar zoetwaterhabitats geschikt voor hun groei en ontwikkeling. Sommige riviermondingen werden echter kunstmatig afgesloten ter bescherming tegen overstromingen, vooral in de lager gelegen regio's van Europa zoals Vlaanderen en Nederland. Deze aanpak leidde tot scherpe zoet/zout overgangen en het verdwijnen van een brakke getijdenzone. Hoewel dergelijke abrupte overgangen geen osmoregulatorische problemen stellen voor glasaal (Wilson et al., 2004; Wilson et al., 2007) en dat sommige glasalen er mogelijks toch in slagen om stroomopwaarts te migreren, kan hun migratie beperkt, en op zijn minst vertraagd, worden. De energieverliezen die hiermee gepaard gaan kunnen gedragsveranderingen inleiden die de verdere stroomopwaartse migratie beperken of zelfs stopzetten (Edeline et al., 2005; Edeline et al., 2006; Du Colombier et al., 2007). De Vlaamse waterbeheerders proberen momenteel aalpopulaties te stimuleren door bepoting met glasaal, maar onderzoek toonde aan dat deze aanpak de verspreiding van schadelijke parasieten kan verhogen (Audenaert et al., 2003). Bijgevolg zijn geïntegreerde beheersopties vereist die de stroomopwaartse migratie van lokale glasalen bevorderen.

Dit rapport analyseert de abiotische factoren die de glasaalmigratie beïnvloeden ter hoogte van vijf spuicomplexen gelegen in het IJzerestuarium. De verspreiding van glasaal over de vijf riviermondingen werd gemonitord en de impact van verschillende spuibeheersopties op glasaalmigratie werd getest. De resultaten verlenen niet enkel waardevolle inzichten in de

abiotische factoren die estuariene glasaamigratie beïnvloeden, maar laten rivierbeheerders ook toe om estuariene migratiebarrières efficiënt en glasaalvriendelijk te beheren.



## 2 Materiaal en methodes

### 2.1 Studiegebied: de Ganzepoot

Glasaalmigratie werd bestudeerd aan de monding van de 76 km lange IJzer, een bevaarbare rivier in zuidwest Vlaanderen (Fig. 1). Het gemiddelde debiet tijdens de staalnameperiode was  $10.19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , terwijl het debiet varieerde tussen  $0.8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  en  $51.22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Het IJzerbekken heeft een oppervlakte van  $1101 \text{ km}^2$  en bevindt zich voor 33% in Frankrijk. Aan de riviermonding komen zes verschillende waterlopen samen in een kunstmatig bekken, de Ganzepoot, op ca. 3 km van de zee (Fig. 1). Elke waterloop wordt afgesloten door drie tot acht spuistuwen om de instroom van zout water te vermijden bij hoogwater. Op die manier wordt verzilting van de achterliggende landbouwgronden tegengegaan, wordt het hinterland tegen overstromingen beschermd en zijn sommige waterlopen bevaarbaar. Bij laag tij worden de spuien geopend en deze worden opnieuw gesloten wanneer het zeewaterniveau het peil benadert van de waterloop stroomopwaarts van het spuicomplex. Het volume van de zoetwateruitstroom hangt af van de buffercapaciteit nodig om overstromingen te vermijden op basis van de voorspelde watertoevoer verder stroomopwaarts van het spuicomplex. Verschillende zoetwatervolumes worden dus gespuid ter hoogte van de zes riviermondingen in functie van de (voorspelde) neerslag.

Het IJzerbekken is gekend als een belangrijke regio voor Europese aal en omvat waardevolle habitats voor groei en ontwikkeling (Denayer & Belpaire, 1996). De getijdenstuwen aan de riviermonding kunnen de stroomopwaartse migratie van glasaal echter significant beïnvloeden. Daarom werd de glasaalmigratie bestudeerd aan de monding van het IJzerbekken, de Ganzepoot. Eén van de waterlopen die in de Ganzepoot uitmondt, het Kanaal van Plassendale, werd niet in de analyse opgenomen omdat deze waterloop afgesloten was door een ander type barrière. Er werden geen significante variaties in waterkwaliteit of conductiviteit van de vijf overige waterlopen geobserveerd tijdens de staalnameperiode ([www.vmm.be](http://www.vmm.be)). Eerst werd de verspreiding van glasaal over het studiegebied bestudeerd, en vervolgens werd een beheersoptie ter stimulatie van glasaalmigratie getest en geëvalueerd.

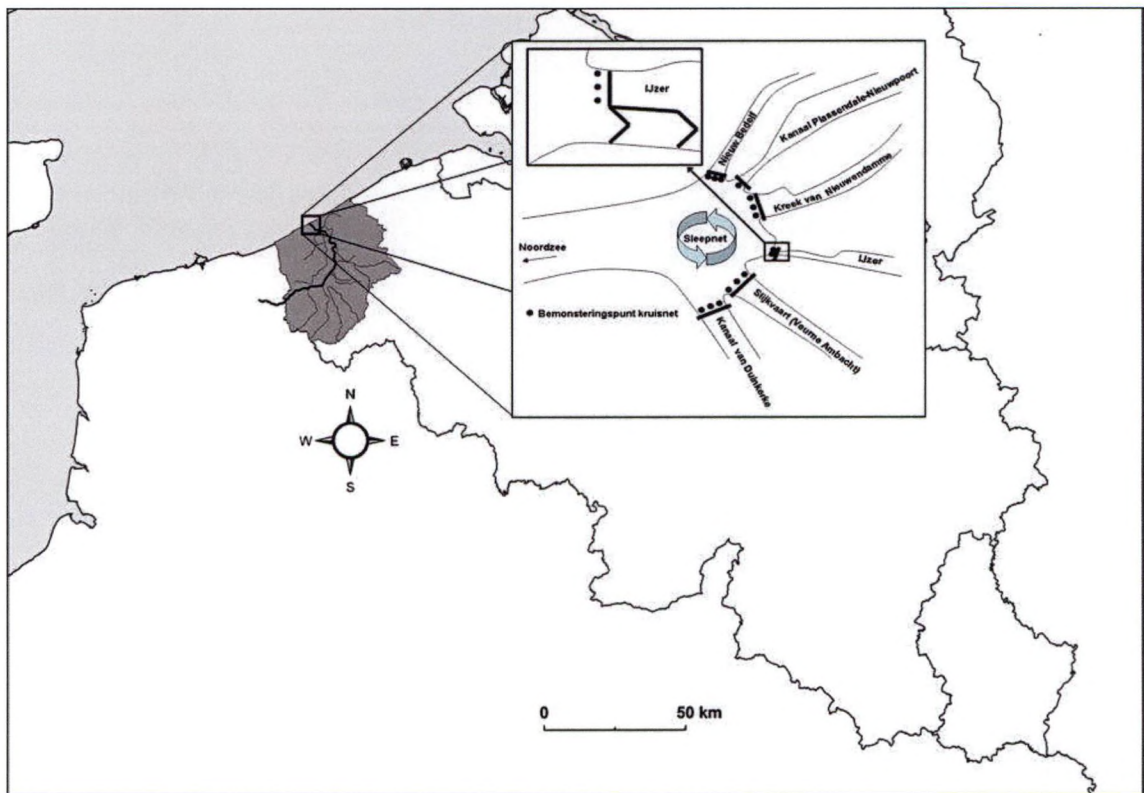


Fig. 1. Ligging van de vijf bemonsteringspunten aan de Ganzepoot in Vlaanderen, België. Het Kanaal van Plassendale werd niet in de analyses opgenomen omdat deze waterloop door een andere spuiconstructie werd afgesloten.

## 2.2 Gegevensverzameling

In maart en april 2009 werden glasalen gevangen met sleepnetten en een fuik tijdens het opkomend tij van negen tijcycli. De eerste zes achtereenvolgende cycli vonden afwisselend overdag en 's nachts plaats, terwijl de laatste drie cycli werden bemonsterd in de drie nachten volgend op de zesde cycli. Om het dag/nacht effect op glasaal na te gaan ter hoogte van het spuicomples, werden kruisnetstalen genomen aan elke monding gedurende de negen bemonsteringen. Tijdens deze bemonsteringen was het droog en werden geen significante schommelingen in rivier- en zeewatertemperatuur waargenomen. De invloed van de maancyclus op glasaaldensiteiten werd niet onderzocht in dit rapport, maar uit de beschikbare gegevens kon ook geen significante invloed worden afgeleid. Desalniettemin werden alle verlichting in het studiegebied uitgeschakeld tijdens de bemonsteringen.

Om de verspreiding van glasalen over het studiegebied te analyseren werden glasaaldensiteiten tijdens opeenvolgende tijcycli bemonsterd met twee verschillende staalnametechnieken: sleepnetten (Fig. 2) en kruisnetten (Fig. 3). Twee sleepnetten met netopening 0.5 x 0.5 m, 2m lengte en maaswijdte 1000 µm werden langs de twee zijden van een kleine boot gesleept. Deze netten bemonsterden de glasalen in de bovenste laag van de waterkolom, terwijl het totale bemonsterde volume werd berekend op basis van een stroomsnelheidsmeter, vastgemaakt in de netopeningen. In de laatste drie uur voor hoogtij werden glasalen gevangen in periodes van 15 minuten. Na elke bemonstering werden de netten leeggemaakt, de glasalen geteld en bewaard in een reservoir op de boot.





Fig. 2. Sleepnetbemonsteringen in de Ganzepoot bij opkomend tij.

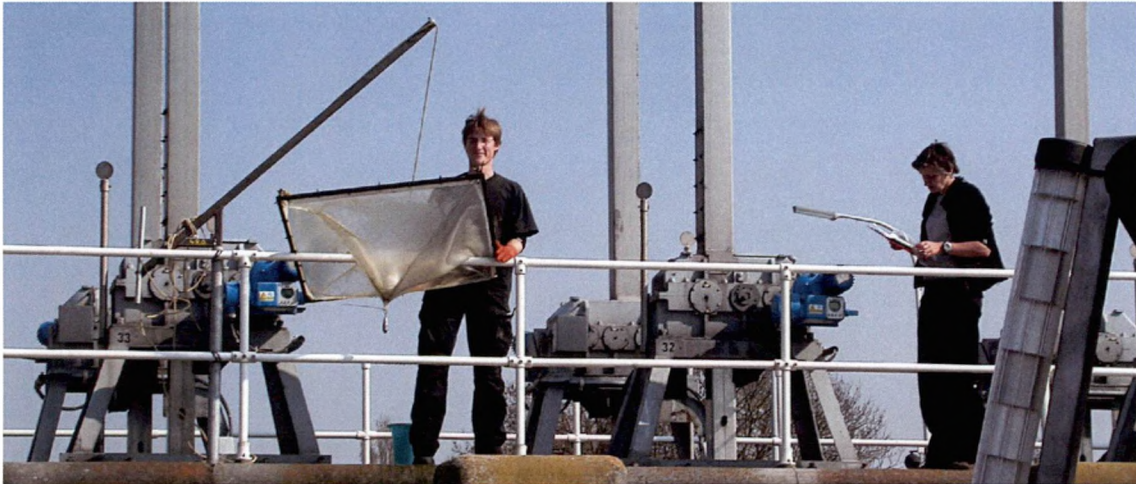


Fig. 3. Kruisnetbemonsteringen ter hoogte van een spui aan de Ganzepoot tijdens opkomend tij.

Ter hoogte van de spuien van de vijf bestudeerde waterlopen werden glasalen bemonsterd met kruisnetten met een opening van  $1 \times 1$  m, een lengte van 1 m en een maaswijdte van  $1000 \mu\text{m}$ . Deze netten werden op de waterbodem geplaatst aan de zeezijde van de spuien en na drie minuten opgehaald. De netten werden geleegd, glasalen geteld en bewaard in een reservoir. Deze procedure werd voortdurend herhaald tijdens elk bemonsteringsmoment. Het zeewaterpeil, tijdstip en waterpeil stroomopwaarts van de spui werden genoteerd elke keer dat het kruisnet werd opgehaald. Op basis van het zeewaterniveau kon het bemonsterde volume berekend worden, terwijl het peilverschil stroomopwaarts en -afwaarts van de spui de zoetwaterstroom kwantificeerde die door de spuischotten lekte. Kruisnetbemonsteringen werden aan beide oevers van de waterloopmonding simultaan uitgevoerd.

Om de impact van een kunstmatige zoetwaterlokstroom op glasaaldensiteiten na te gaan werd een verkennend experiment uitgevoerd tijdens twee nachtelijke tijcycli voor de negen staalnamemomenten. Tijdens dit experiment werd de spui aan de rechteroever 0.1 m geopend om een zoetwaterlokstroom te genereren, zolang het waterniveau stroomop van de spui hoger was dan het zeeniveau. Alle andere spuien bleven gesloten tijdens het experiment en glasalen werden tegelijkertijd bemonsterd met kruisnetten ter hoogte van de linker- en rechteroever volgens de eerder vermelde procedure.

Stroomopwaarts van één van de spuien op de IJzer werd een fuik (Fig. 4) vastgemaakt met een opening van  $2.0 \times 2.1$  m, een maasgrootte van  $1000 \mu\text{m}$  en een lengte van 10.5 m. Gedurende het opkomend tij werd de spui geopend voor 0.1 m zodat zeewater kon binnenstromen en glasalen konden migreren. Het peilverschil tussen beide zijden van de spui werd constant gemeten tijdens elke bemonstering. Op basis van dit verschil kon het debiet berekend worden volgens de HEC-RAS (USACE) methode voor debietsbenadering onder

spuien. Als het debiet niet werd beïnvloed door het waterpeil stroomafwaarts de spui, werd dit berekend volgens

$$Q = CWB\sqrt{2gH}$$

waarbij Q het debiet onder de spui is, C de debietscoëfficiënt, algemeen variërend tussen 0.5 en 0.7 en dimensieloos, W de breedte van de spuiopening is, B de hoogte van de spuiopening, g de valversnelling en H het hoogteverschil tussen de onderkant van de spui en het waterpeil stroomopwaarts. Als de verhouding tussen het waterniveau stroomopwaarts van de spui en H tussen 0.67 en 0.79 lag, werd de overgangsvergelijking toegepast:

$$Q = CWB\sqrt{2g3H}$$

terwijl de orificevergelijking werd toegepast wanneer deze verhouding groter was dan 0.79:

$$Q = cWB\sqrt{2gH}$$

waarbij c de orificecoëfficiënt is, meestal verondersteld 0.8 en dimensieloos. Uiteindelijk werden enkel de laatste twee vergelijkingen gebruikt om het debiet onder de spui te berekenen. Integratie van de berekende debieten over de tijd liet toe om het totale bemonsterde volume en de glasaaldensiteiten te berekenen.

Tijdens de eerste negen bemonsteringen werd de spui geopend kort voor het moment waarop de zee en de IJzer hetzelfde peil bereikten. Bij hoog tij werd de fuik opgehaald en gelegegd, glasalen geteld en bewaard in een reservoir. Tijdens de drie nachten volgend op de negen bemonsteringsmomenten, werd het fuikexperiment herhaald maar werden glasalen bemonsterd gedurende opeenvolgende periodes van 15 minuten om de schommelingen in glasaalmigratie tijdens de tijcyclus te observeren. Om staalnamebias te vermijden, werden alle gevangen glasalen stroomopwaarts van de spui uitgezet na een acclimatisatieperiode.





Fig. 4. De fuik waarmee stroomopwaarts migrerende glasaal bemonsterd werd.



Fig. 5. Plaatsing van de fuik in een spui-opening van de IJzer, stroomopwaarts van het spuicomplex.



## 2.3 Data analyse

Support vector machines (SVM) werden gebruikt om het effect na te gaan van vijf variabelen op de glasaaldensiteiten geobserveerd met kruisnetten ter hoogte van de spuien: de bemonsterde riviermonding, het bemonsteringstijdstip, de tijdsduur tussen hoogtij en het bemonsteringstijdstip (tijd voor hoogtij), de oever waar de bemonstering werd uitgevoerd en de zoetwaterlokstroom die door de bemonsterde spui lekte. SVMs zoeken naar het optimale scheidingsvlak dat maximaal  $\epsilon$  afwijkt van de observaties en dat tegelijkertijd zo vlak mogelijk is (Vapnik, 1995). Concreet projecteren SVMs de trainingsdata niet lineair in een feature ruimte met een hogere dimensie, waarna ze het optimale scheidingsvlak in deze ruimte zoeken. In tegenstelling tot de lineaire scheidingsgrenzen toegepast door andere technieken zoals classificatiebomen, is dit scheidingsvlak effectief een niet lineaire beslissingsgrens in de invoerruimte. Het algoritme dat dit optimale scheidingsvlak berekent houdt enkel rekening met de punten in de trainingsset die relevant zijn voor de ligging van het vlak, de support vectors. Eerst identificeert de SVM de datapunten die op het scheidingsvlak liggen en wordt dit vlak benaderd op basis van deze datapunten. Als het resulterende model onvoldoende presteert, zoekt de SVM meer grenspunten en wordt een nieuw model berekend tot een voldoende prestatie bereikt wordt.

Data-analyse werd uitgevoerd met het intelligent leren pakket WEKA 3.6.1 (Waikato Environment for Knowledge Analysis; Witten and Frank, 2000), dat SVM algoritmes implementeert. Het SMO algoritme voor SVM regressie werd toegepast met standaard instellingen (Witten and Frank, 2000), waarbij de parameters getraind werden met het optimalisatie-algoritme van Shevade et al. (2000). Om de robuustheid van de ontwikkelde modellen na te gaan, werd three-fold crossvalidatie en trainingssetrandomisatie toegepast op de kruisnetdataset met 616 waarnemingen. De modellen werden geëvalueerd op basis van de correlatiecoëfficiënt tussen de observaties en de modelvoorspellingen.

### 3 Resultaten

Het verschil in glasaaldensiteit tussen dag en nacht werd getest door zes tijcycli te bemonsteren gedurende drie opeenvolgende dagen. Glasaaldensiteiten waren significant hoger 's nachts dan overdag, zowel op basis van kruis- als sleepnetten (t-test,  $p = 0.00$ ,  $n = 556$ ). Verder was de maximale densiteit geobserveerd overdag steeds lager dan de minimale densiteit 's nachts. Daarom werden de dagbemonsteringen niet opgenomen in de verdere analyses en werden enkel de data gebruikt die verzameld waren tijdens de zes nachtelijke tijcycli. Op basis van de fuikvangsten bleek echter dat de hoogste glasaaldensiteit overdag werd waargenomen (Fig. 6). Bovendien toonden alle glasaaldensiteiten berekend uit de kruisnetstalen overdag een stijgende trend tijdens opkomend tij, terwijl in 87% van de nachtelijke bemonsteringen een dalende densiteitstrend werd waargenomen.

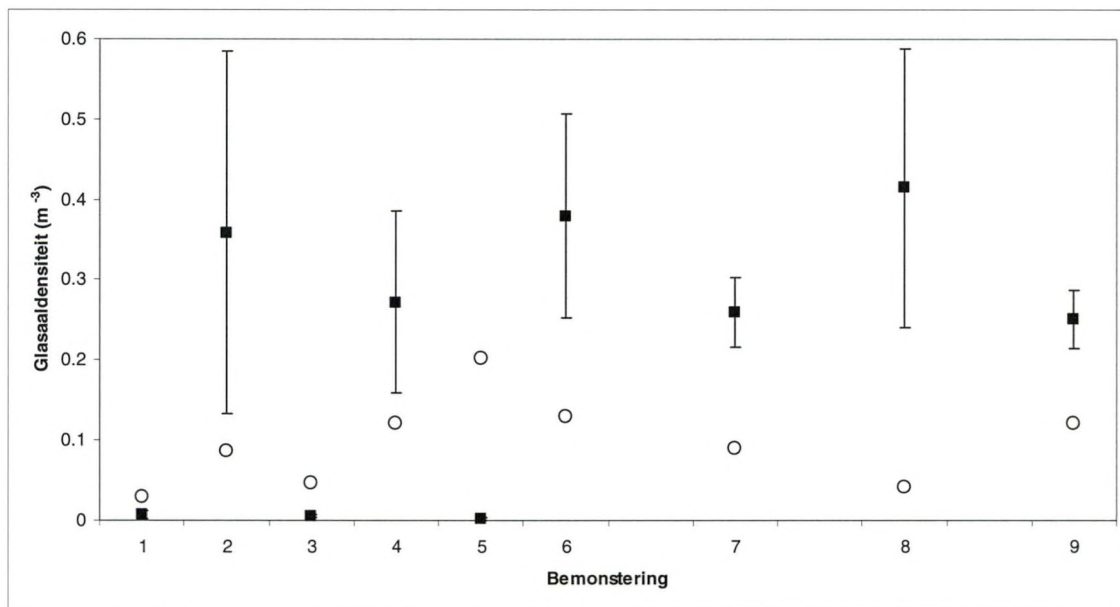


Fig. 6. Glasaaldensiteiten waargenomen door sleepnet- (zwarte vierkantjes) en fuikbemonsteringen (witte cirkels) gedurende negen opeenvolgende bemonsteringen in de Ganzepoot. Bemonsteringen 1, 3 en 5 werden overdag uitgevoerd, terwijl alle andere bemonsteringen 's nachts plaatsvonden

De sleepnetstalen tonen de trend van glasaaldensiteit in de toplaag van de tijstroom die de riviermonding bereikt tijdens opkomend tij. Gedurende de eerste vier bemonsteringen vertoonde de glasaaldensiteit een piek in het laatste uur voor hoogtij (Fig. 7). Deze piek werd niet waargenomen gedurende de laatste twee bemonsteringen en de piek viel op andere tijdstippen in de tijcyclus van verschillende bemonsteringen. Er werd geen significante correlatie waargenomen tussen deze densiteiten en de glasaaldensiteit waargenomen door kruisnetbemonstering ter hoogte van de spuien.



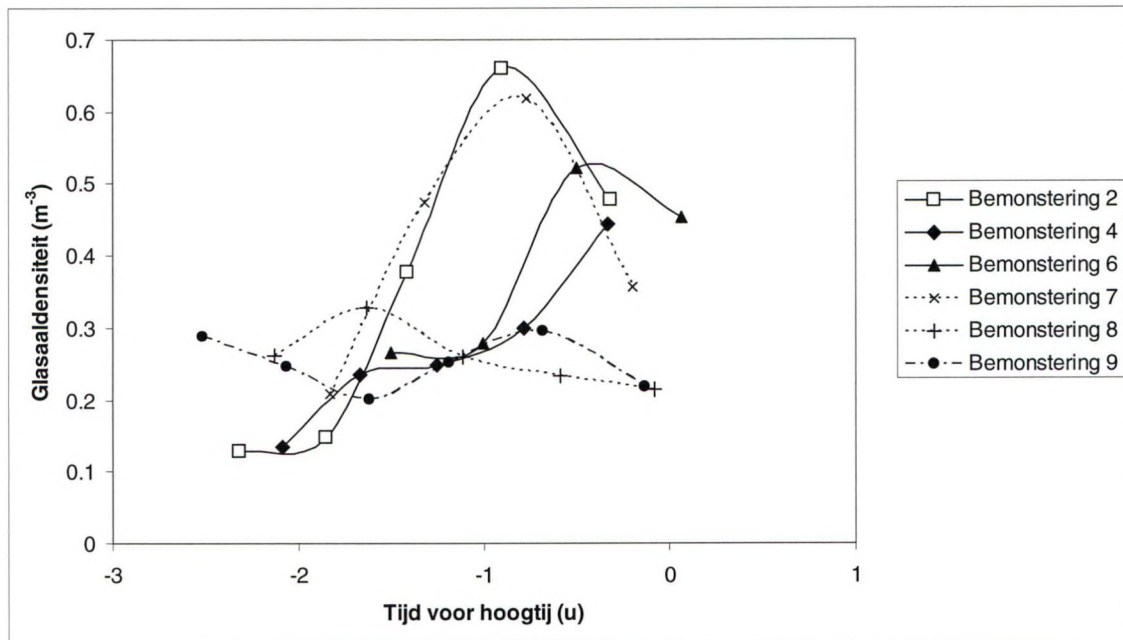


Fig. 7. Glasaaldensiteiten waargenomen met sleepnetten op verschillende momenten tijdens het opkomend tij van zes nachtelijke bemonsteringen.

Data-analyse van de densiteiten waargenomen door kruisnetbemonsteringen ter hoogte van de spuien gaf aan dat de zoetwaterlokstroom de grootste impact had op glasaaldensiteiten (Tabel 1). Het tijdstip waarop de bemonstering werd uitgevoerd, de bemonsteringsdatum en de bemonsteringslocatie hadden ook effect op de glasaaldensiteiten, hoewel stepwise backward variabelenselectie aangaf dat enkel de bemonsteringslocatie de densiteiten substantieel bleek te beïnvloeden. Concreet konden de oever waar de bemonstering werd uitgevoerd, de tijd voor hoogtij en de bemonsteringsdatum uit het model verwijderd worden zonder een significante daling van modelperformantie. De beperkte impact van temporele variabelen geeft aan dat de verzamelde data niet sterk temporeel geautocorreleerd zijn. Er werden geen significante verschillen waargenomen tussen de densiteiten geobserveerd ter hoogte van verschillende oevers. Stepwise forward variabelenselectie leverde vergelijkbare resultaten op als de weergegeven stepwise backward procedure en er werden geen significante correlaties tussen de verschillende variabelen waargenomen. Het zoetwaterlokstroomexperiment toonde geen significante impact van de lokstroom op de glasaaldensiteiten, noch voor (gepaarde t-test;  $p = 0.22$ ;  $n = 42$ ) en na (gepaarde t-test;  $p = 0.10$ ;  $n = 273$ ) gelijkstand van het waterpeil aan beide zijdes van de spui.

Tabel 1. Resultaten van de stepwise backward variabeleselectie die de invloed nagaat van zes variabelen op glasaaldensiteiten met kruisnetten waargenomen ter hoogte van de spuien. Het rangnummer en het gemiddelde gewicht van elke variabele in vijf modellen wordt weergegeven, samen met de gemiddelde performantie van deze modellen, gekwantificeerd door de correlatiecoëfficiënt. Voor categorische variabelen werd het hoogste gewicht geselecteerd.

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
Variabele					
Zoetwaterlokstroom	1 (0.297 ± 0.002)	1 (0.280 ± 0.002)	1 (0.326 ± 0.006)	1 (0.396 ± 0.001)	1 (0.269 ± 0.001)
Tijd voor hoogtij	2 (0.083 ± 0.001)	2 (0.097 ± 0.001)	3 (0.058 ± 0.005)	x	x
Bemonsteringslocatie	3 (0.061 ± 0.001)	3 (0.054 ± 0.001)	2 (0.062 ± 0.001)	2 (0.066 ± 0.001)	x
Bemonstering	4 (0.047 ± 0.001)	4 (0.051 ± 0.000)	x	x	x
Oever	5 (0.0018 ± 0.000)	x	x	x	x
Correlatiecoëfficiënt	0.606 ± 0.008	0.606 ± 0.009	0.606 ± 0.010	0.598 ± 0.017	0.435 ± 0.019

Om mogelijke alternatieven om de glasaalmigratie te verbeteren ter hoogte van een getijdenspui te evalueren, vergeleken we fuikbemonsteringen genomen tijdens drie nachtelijke tijcycli met een gesloten spui en drie cycli met een spui die licht geopend was. Gedurende de gesloten spuibemonsteringen werden gemiddeld slechts  $2.67 \pm 2.08$  glasalen gevangen, terwijl  $632.18 \pm 367.71$  glasalen gevangen werden gedurende de bemonsteringen met open barrière. Vervolgens werd het geopende spui-experiment verdergezet en werden de resultaten vergeleken met deze van de sleepbemonsteringen (Fig. 6). Nachtelijke sleepnetdensiteiten waren hoger dan de fuiknetdensiteiten maar in tegenstelling tot de fuiknetdensiteiten bleken fuiknetdensiteiten onafhankelijk van dag/nacht veranderingen. In totaal migreerden 6216 glasalen stroomopwaarts gedurende de laatste negen fuikbemonsteringen. Op basis van een laag, gemiddeld en piekdebiet van de IJzer van respectievelijk  $1.57 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $6.09 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  and  $20.37 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  tijdens de glasaalmigratieperiode (maart-april), zou de stroomopwaartse instroom van zeewater gemiddeld 2.8 % bedragen en variëren tussen 0.7 en 13.2 % van de dagelijkse afvoer wanneer één spui licht zou worden geopend tijdens elk opkomend tij.



## 4 Bespreking

Het glasaaldensiteitsverschil overdag en 's nachts was hoger bij de sleepnetbemonsteringen dan bij de kruisnetbemonsteringen, wat het negatieve fototactisch gedrag van glasaal bevestigt. Concreet bleek glasaal overdag de bovenste 0.5 m van de waterkolom te vermijden, en deze laag werd nu net bemonsterd door de sleepnetten. De kruisnetstalen overdag bevestigen deze resultaten aangezien alle densiteiten overdag daalden wanneer het zeeniveau steeg en de bodemilluminatie dus daalde. Deze resultaten suggereren bijgevolg dat de lagere belichtingscondities aan de bodem bij hoge waterstanden de activiteit van glasaal kunnen stimuleren. Ondanks deze negatieve fototaxis geven de fuikvangsten aan dat de glasaaldensiteiten hoog waren gedurende de hele dag. Het negatieve fototactische gedrag werd niet waargenomen tijdens de nachtelijke kruisnetbemonsteringen, waarbij glasaaldensiteiten vaak daalden bij een stijgend zeewaterniveau.

De sleepnetbemonsteringen toonden aan dat glasaaldensiteiten vermoedelijk pieken tijdens het laatste uur voor hoogtij. Aangezien alle bemonsteringen gedurende vergelijkbare belichtingscondities gebeurden, is een fototaxiseffect onwaarschijnlijk en suggereren deze resultaten dus dat de meeste glasaal in de tijstroom in de Ganzepoot aankomen tijdens het laatste uur voor hoogtij. Dit stemt overeen met eerder onderzoek dat stroomopwaartse migratie bestudeerde van Europese glasaal ter hoogte van een estuariene dam (Laffaille et al., 2007; Crivelli et al., 2008). Er werden geen pieken waargenomen tijdens de laatste twee bemonsteringen. Deze resultaten bevestigen de algemeen waargenomen glasaaldensiteitsvariatie in de tijd. Concreet bevestigen verschillende auteurs dat migrerende glasaal in pulsen aan de Europese riviermondingen aankomt (Laffaille et al., 2007).

De glasaaldensiteiten op basis van sleepnetbemonsteringen verschilden significant van deze op basis van kruisnetbemonstering ter hoogte van de spuien. De verschillende bemonsteringstechnieken zijn mogelijk verantwoordelijk voor deze observatie, aangezien de bemonsteringsefficiëntie van beide technieken kan verschillen en dat de sleepnetten enkel de glasaaldensiteit in de bovenste laag van de waterkolom waarnemen, terwijl de kruisnetten de hele waterkolom bemonsteren. Zowel het glasaalaantal als de glasaaldensiteit waargenomen met kruisnetten vertoonden een dalende trend in 87% van de bemonsteringen, wat sterk contrasteert met de trend in de sleepnetdensiteiten. Als glasaaldensiteiten in de Ganzepoot gerelateerd zouden zijn met glasaaldensiteit ter hoogte van de stuwen, zouden de sleepnetobservaties en de kruisnetobservaties tenminste een vergelijkbare trend moeten vertonen. Concreet bemonsteren beide technieken de toplaag van de waterkolom, en het is algemeen geweten dat de meeste glasaal zich 's nachts in deze laag ophoudt (De Casamajor et al., 1999). Het ontbreken van een correlatie tussen de kruisnet- en de sleepnetresultaten kan aantonen dat de meeste glasaal die ter hoogte van een spui probeert te migreren tijdens opkomend tij, reeds aan deze spui aankwam tijdens een vorige tijcyclus. Bovendien suggereert de dalende trend in de kruisnetdensiteiten dat enkel een klein aantal glasalen aan de spui aankomt tijdens opkomend tij en dat de meeste glasalen die gevangen werden ter hoogte van een spui daar al zaten sinds minstens twee uur voor hoogtij.

Het is onduidelijk of de positieve impact van de zoetwaterstroom op glasaaldensiteiten veroorzaakt wordt door het zoetwater of door de stromingscondities. Het laatste is echter minder waarschijnlijk aangezien de zoetwaterstroom door de lekken en kieren van de spuien vrij diffuus is en bijgevolg ontbraken sterke stromingscondities tijdens de bemonsteringen. De zoetwaterlokstroomexperimenten met geopende spuien bevestigde deze hypothese. Tijdens deze experimenten werd een sterke lokstroom gegenereerd, maar er werd geen verschil in glasaaldensiteiten waargenomen, noch voor noch na gelijkstand van de waterniveaus aan beide zijdes van de spui. Dit benadrukt niet alleen dat de kunstmatige



lokstroom geen impact heeft op glasaaldensiteiten, maar ook dat deze stroom geen effect heeft nadat hij verdwenen is door gelijkstand van de waterpeilen. Bijgevolg blijkt de beperkte hoeveelheid zoetwater die momenteel door de spuien lekt voldoende om glasaal aan te trekken, terwijl de resultaten aangeven dat grotere hoeveelheden zoetwater of sterkere lokstromingen de glasaalaantrekkingskracht niet verhogen. Vorig onderzoek toonde zelfs aan dat sterke stroomafwaartse stromingen positieve rheotaxis in glasalen kunnen induceren en bijgevolg hun energieverbruik laten toenemen (Bolliet et al., 2007; Du Colombier et al., 2009). Stroomopwaarts instromend zeewater ter hoogte van een licht geopende spui kan daarentegen glasaal aantrekken en onnodige energieverlies vermijden. Het energetische voordeel is een pluspunt voor het aangepast spui-beheer tegenover andere beheersopties zoals het plaatsen van een aalgoot (Edeline et al., 2006; Du Colombier et al., 2007).

Hoewel een zwakke relatie tussen de bemonsteringslocatie (spuiconstructie) en de glasaaldensiteit werd waargenomen, bleek de invloed van de zoetwaterlokstroom veel groter. Glasalen migreerden naar een spui vooral op basis van de zoetwaterlokstroom ter hoogte van deze spui en minder op basis van andere variabelen zoals windrichting, verlichting, waterkwaliteit of bodemstructuur direct stroomafwaarts van de spui. De waterkwaliteit, belichting en bodemstructuur verschilden inderdaad niet significant tussen de verschillende bemonsteringslocaties en alle stalen werden genomen in kalme weersomstandigheden. Een vergelijkbare positieve invloed van zoetwaterlokstroom op Amerikaanse glasaaldensiteiten (*Anguilla rostrata* Lesueur) werd waargenomen (Sullivan et al., 2006). De voorgestelde resultaten geven ook de beperkte invloed van complexe stromingscondities in de Ganzepoot aan en suggereren dus actieve migratie van glasaal naar de spuien. Concreet wordt de meeste glasaal op basis van getijdentransport verwacht ter hoogte van de bemonsteringslocaties die in de richting van de tijdstroom liggen (Fig. 1). Aangezien er echter geen significant verschil in glasaaldensiteiten werd waargenomen tussen de vijf bemonsteringslocaties, migreren glasalen vermoedelijk actief naar deze locaties, wat overeenstemt met de resultaten van Du Colombier et al. (2007).

De beperkte invloed van de bemonsteringslocatie geef ook aan dat glasaal de sterke zoetwaterstroming kan weerstaan bij laagtij. Significante debietsverschillen tussen de verschillende bemonsteringslocaties werden waargenomen bij laagtij en zoals eerder vermeld was de meeste glasaal die probeerde stroomopwaarts te migreren ter hoogte van de spuien daar vermoedelijk al aangekomen tijdens een vorige tijcyclus. Bijgevolg suggereren de waarnemingen dat de sterke stromingsomstandigheden tijdens het spuien van zoetwater geen significante drift van glasaal veroorzaakten. Mogelijks kunnen glasalen zich schuilhouden tussen het stenige bodemsubstraat stroomafwaarts van de spuien, dat vrij veel schuilhabitat biedt. Tot slot benadrukt het beperkte effect van de bemonsteringslocatie ook dat rivierbeheer zou moeten focussen op alle spuien, op voorwaarde dat de habitatkwaliteit stroomopwaarts van de spuien vergelijkbaar is.

Vergelijking van fuikbemonsteringen ter hoogte van een gesloten spui en een licht geopende spui toonde duidelijk aan dat getijdenspuien de stroomopwaartse migratie van glasaal sterk kunnen beperken. De resultaten van de fuikbemonsteringen met geopende sluis toonden echter aan dat aangepast spui-beheer dit probleem kan verhelpen. Concreet liet een beperkte spuiopening tijdens het opkomend tij een significante stroomopwaartse migratie van glasaal toe zonder substantiële instroom van zeewater. In tegenstelling tot de sleepnetdensiteiten bleken de fuikdensiteiten ook onafhankelijk van dag/nacht veranderingen en daarom zou het aangepast spui-beheer dus continu kunnen worden toegepast.

Hoewel de beperkte spui-opening een kostenefficiënte en effectieve beheersoptie blijkt te zijn, kan de instrooming van zeewater die hiermee gepaard gaat het meest cruciale knelpunt vormen. Concreet kan de instroom van zeewater nadelig zijn voor verschillende belangen



zoals landbouw, milieu of recreatie. De resultaten benadrukken echter dat zelfs bij een constant aangepast spuibeheer, waarbij één spui op de IJzer constant licht geopend blijft, de zeewaterinstroom beperkt blijft en dat dit zeewater hoogstwaarschijnlijk opnieuw uitgespoeld wordt wanneer de spui bij laagtij volledig geopend wordt. Wanneer de instroom van zeewater toch een probleem zou vormen, kan op basis van verder onderzoek het aangepast spuibeheer mogelijk in een korter tijdsinterval toegepast worden om stroomopwaartse migratie van het gros van de migrerende glasaal toe te laten.

Verder onderzoek kan zich bijgevolg richten op de verdere afstemming van het voorgestelde aangepast spuibeheer. Concreet werden de fuikexperimenten in dit rapport enkel uitgevoerd ter hoogte van één spui aan één riviermonding. De invloed van aangepast spuibeheer ter hoogte van verschillende spuien binnen dezelfde monding of ter hoogte van verschillende mondingen zou geanalyseerd kunnen worden om de voorgestelde aanpak verder te optimaliseren en zoutwaterinstroom te minimaliseren. Bovendien kunnen intensievere fuikbemonsteringen ook aantonen als er een drempel is waarbij de meeste glasaal stroomopwaarts gemigreerd is. Wanneer bijvoorbeeld het aangepast spuibeheer ter hoogte van alle spuien in dezelfde riviermonding zou worden toegepast, bekomen we mogelijk een hogere efficiëntie en dus een korter tijdsinterval waarbinnen de spuien geopend zijn. Tot slot kan verder onderzoek de invloed van een zoetwaterlokstroom op de efficiëntie van het voorgestelde spuibeheer nagaan.

Dit rapport benadrukt de negatieve impact van getijdenspuien op de stroomopwaartse migratie van glasaal en toont aan dat aangepast spuibeheer een kosteneffectieve en efficiënte mitigerende maatregel kan zijn. Binnen de Ganzepoot kan deze maatregel glasaalmigratie verbeteren ter hoogte van alle waterloopmondingen, gezien de vrij uniforme verdeling van glasaal over de verschillende mondingen. Verder onderzoek kan het aangepast spuibeheer verder optimaliseren en zo de efficiëntie van de voorgestelde aanpak verbeteren. Aangezien het aangepast spuibeheer eenvoudig kan geïmplementeerd worden ter hoogte van talrijke getijdenspuien, kunnen de voorgestelde resultaten bijdragen tot het wereldwijde herstel van aalpopulaties en van nut zijn voor een brede waaier van waterbeheerders en stakeholders.

## 5 Conclusies in functie van het beheer

De kruisnetbemonsteringen leren ons dat het glasaalaanbod ter hoogte van de spuien sterk varieert. Aangezien de data-analyse van deze gegevens aangaf dat er geen significant effect was van de bemonsteringslocatie, kunnen we besluiten dat glasaal relatief uniform verspreid is over de Ganzepoot. Hieruit volgt dat de oplossing van migratieknelpunten over de gehele Ganzepoot effectief kan zijn, en dat er dus geen preferentiële waterloop is waarvoor het migratieknelpunt prioritair zou moeten worden opgelost ten opzichte van de andere waterlopen in de Ganzepoot.

De data-analyse gaf ook aan dat er geen effect was van de artificiële zoetwaterlokstroom, maar wel van de huidige lokstroom die door de gesloten spuideuren ontsnapt. Hierdoor is een lokstroomgebaseerde migratie-oplossing, zoals een glasaalgoot, minder aangewezen. Concreet wordt het moeilijk om de glasaal naar deze goot te lokken zolang de sterke lokstroom door de gesloten deuren blijft bestaan. Dit werd ook bevestigd door de resultaten van een vorige studie. De aanwezige sterke lokstroom kan echter wel positief worden aangewend, door bijvoorbeeld een migratie-oplossing in de monding van de waterlopen te creëren.

Vergelijking van de sleepnetbemonsteringen en de fuikbemonsteringen toont aan dat glasaal lichtschuw is maar wel de hele dag aanwezig. Bijgevolg is het nuttig om een migratie-oplossing te creëren die zowel overdag als 's nachts werkzaam is.

De fuikbemonsteringen geven aan dat er nagenoeg geen glasaal migreert door de gesloten spuideuren, terwijl relatief hoge aantallen migreren door de licht geopende spui. Concreet kan dergelijk aangepast spui-beheer dus al een significante winst voor de glasaalinstroom in de IJzer bieden. Het effect van het instromende zoutwater is afhankelijk van het debiet van de waterloop waarop deze techniek wordt toegepast. Concreet zal de beheerder dus in functie van dit debiet een afweging moeten maken tussen verzilting en herstel van de palingpopulaties. Voor de IJzer werd aangetoond dat het risico op permanente verzilting nagenoeg onbestaande is.



## 6 Afweging van verschillende alternatieven ter stimulatie van glasaalmigratie

Om stroomopwaartse glasaalmigratie toe te laten en te stimuleren ter hoogte van het Ganzepootspuicomplex en gelijkaardige getijdenspuien, bestaan vijf verschillende alternatieven: een vistrap, een glasaalgoot, een hevel, aangepast spuibeheer en vangst/uitzet van glasaal. Het **aangepast spuibeheer** werd eerder in dit rapport reeds uitvoerig besproken.

V-vormige **bekkenvistrappen** worden in Vlaanderen vaak toegepast en bestaan uit een reeks lage V-vormige drempels met een pool stroomopwaarts ervan. In kleine stapjes wordt zo het hoogteverschil van de stuw overbrugd. Het water dat over de drempels van de vistrap stroomt vormt kleine stroomversnellingen die de vissen moeten doorzwemmen. De drempels kunnen uit hout of stortsteen gemaakt worden. Vaak wordt geopteerd voor drempels uit ruwe stortstenen die vastgelegd worden met beton. Door deze ruwheid wordt een meer divers stromingspatroon gecreëerd over de drempels wat passage mogelijk maakt voor een groot aantal vissoorten. Dit type visdoorgang kan worden aangelegd als een korte bypass langs een bestaand knelpunt.

Een **hevelvistrap** bestaat uit een vistrap in een gesloten bak, die door buizen verbonden is met het water aan weerszijden van de stuw. Met behulp van een vacuümpomp wordt het water over het hoogste punt in de hevelvistrap gebracht, waarna de passage water begint te hevelen. Het water stroomt vervolgens over een vistrap: een reeks compartimenten met een klein onderling peilverschil. De vistrap stelt vissen in staat om een groot peilverschil via een reeks kleine stappen te overbruggen. De vacuümpomp zorgt in de hevelvistrap voor de aanwezigheid en instandhouding van een luchtbel. De grootte van de luchtbel is bepalend voor het debiet over de vistrap. Bij een rustige stroming kunnen zowel grote als kleine vissen tegen de stroom in de vistrap op zwemmen.

**Aalgoten** bestaan uit lange hellende goten stroomafwaarts van de migratiebarrières, waarlangs glasaal kruipend stroomopwaarts kan migreren. Om de voortbeweging in de hellende goot te stimuleren, is deze vaak gevuld met een borstelachtig substraat. Bovendien wordt ter hoogte van de aalgoot vaak ook een zoetwaterlokstroom gecreëerd om de glasaal in de goot te lokken. Glasaalgoten worden succesvol toegepast op verschillende locaties in Europa (Nederland, Denemarken, Ierland, ...) en ter hoogte van de IJzermonding werd enige jaren geleden ook reeds een aalgoot geplaatst, die ondertussen verwijderd is.

**Vangst en uitzet** van glasaal kan eveneens stroomopwaartse migratie stimuleren. Hierbij kan glasaal stroomafwaarts van de barrière gevangen worden, waarna de gevangen glasaal stroomopwaarts de barrière wordt uitgezet.

De vijf alternatieven werden vergeleken op basis van hun **werking, technische gegevens en kostprijs**. Om deze elementen concreet te beschrijven, werden 21 criteria gedefinieerd. De werking werd beschreven aan de hand van de efficiëntie voor stroomopwaartse glasaalmigratie, de mogelijkheid tot stroomafwaartse migratie, de mogelijkheid tot controle van het aantal migrerende glasaal, de periode waarbinnen de methode werkzaam is, de mogelijkheid tot migratie van andere vissoorten en de energie die glasaal verliest bij migratie met behulp van de methode. De technische gegevens omvatten het overbrugbaar peilverschil, de hoeveelheid zout water die stroomopwaarts stroomt, de esthetische kwaliteit van de constructie, het overstromingsrisico hiermee verbonden, de vereiste van een bouwvergunning, het benodigde ruimtegebruik, de opstarttijd, de toepasbaarheid bij lagere debieten, de noodzaak van een lokstroom en van verder onderzoek vooraleer de methode betrouwbaar kan geïmplementeerd worden. De kostprijs bestaat uit de kost van een



mogelijke voorstudie, de aanleg, het onderhoud, de werking en de bediening van de constructie (of de uitvoering van de methode).

**Aalgoten** kunnen een hoge efficiëntie halen wanneer ze op de juiste locatie geplaatst zijn. De goten laten toe om het aantal migrerende glasaal te controleren maar moeten dan wel manueel bediend worden (dagelijkse lediging). De goten kunnen continu actief zijn maar laten geen stroomafwaartse migratie toe, en ook geen migratie van andere vissoorten. Bovendien verliest de glasaal behoorlijk wat energie bij de passage door deze goot, waardoor hij mogelijk minder ver stroomopwaarts kan migreren.

Aalgoten laten toe om een hoog peilverschil te overbruggen, vereisen geen zoutwaterinlaat, gebruiken weinig ruimte en zijn esthetisch aanvaardbare constructies. Bovendien zijn deze goten toepasbaar bij lage debieten en kunnen ze relatief snel geconstrueerd worden. De constructie vereist echter wel een bouwvergunning en een uitgebreid vooronderzoek. Concreet is de locatie van de aalgoot, en meer bepaald de effectiviteit van een zoetwaterlokstroom cruciaal voor zijn werking. De eerder geplaatste aalgoot ter hoogte van de IJzermonding was vermoedelijk inefficiënt door de sterke zoetwaterlokstroom door de spuien (zoals aangetoond in dit rapport), waardoor de glasaal eerder in de richting van de spui dan naar de aalgoot wordt gelokt.

Aangezien een grondige voorstudie de meest geschikte locatie van een aalgoot moet bepalen, is deze studie relatief kostelijk, hoewel aanleg, onderhoud en werking van de goot eerder gemiddeld zijn. Afhankelijk van de bediening van de goot kan deze relatief goedkoop en automatisch gebeuren. Manuele uitzet van de gevangen glasaal laat echter wel toe om de migrerende glasaal te kwantificeren.

**Hevelvistrappen** hebben hun hoge efficiëntie reeds eerder bewezen, zowel voor glasaal als voor andere vissoorten. Mits enige aanpassing laten ze eveneens (vrij arbeidsintensieve) controle van het aantal migrerende vissen toe. Ze kunnen tijdelijk ingezet worden om de werkingskost te drukken en zorgen voor een lager energieverlies van glasaal dan glasaalgoten. Hevelvistrappen laten in theorie stroomafwaartse migratie toe, op voorwaarde dat de migrerende vissen voldoende worden aangetrokken naar de inlaat, wat in de praktijk vaak problematisch is.

Hevelvistrappen kunnen een hoog peilverschil overbruggen op een relatief kleine ruimte en zorgen niet voor instroom van zout water. De esthetische kwaliteit van de buisvormige constructie is eerder laag en er is een bouwvergunning vereist. Hevelvistrappen kunnen wel relatief snel geïmplementeerd worden en zijn toepasbaar bij lage debieten. Net als bij glasaalgoten is hier ook de locatie van de inlaat en de effectiviteit van de lokstroom cruciaal voor een goede werking, en is een uitgebreide voorstudie dus vereist.

Uiteraard brengt deze voorstudie relatief hoge kosten met zich mee, hoewel de aanleg en het onderhoud van de hevelvistrap relatief goedkoop zijn. De werkingskost is iets hoger dan deze van glasaalgoten, maar nog steeds aanvaardbaar, terwijl de bediening automatisch kan.

Zoals aangetoond in dit rapport laat **aangepast spuibeheer** een efficiënte migratie van glasaal en andere vissoorten toe. Hierbij moet worden opgemerkt dat de andere vissoorten eerder soorten zijn die bentisch migreren; van soorten die pelagisch migreren, zoals spiering, kan verwacht worden dat deze minder geneigd zullen zijn om door de smalle kier onderaan de spuien te migreren. Verder onderzoek kan uitwijzen in hoeverre deze methode ook efficiënt is voor andere migrerende soorten. Aangepast beheer laat stroomafwaartse migratie toe en leidt niet tot energieverlies van de migrerende glasaal. Om de zoutwaterinstroom te beperken kan deze methode tijdelijk worden toegepast. Deze methode laat echter niet toe op het aantal migrerende glasalen eenvoudig te kwantificeren.



Aangepast spuibeheer laat toe om hoge peilverschillen te overbruggen, zolang het peil stroomafwaarts van de barrière maar geregeld het peil stroomopwaarts overschrijdt. Dit beheer zorgt voor een beperkte instroom van zoutwater maar vereist geen constructies, waardoor de esthetische kwaliteit hoog is. Bovendien is hierdoor ook geen bouwvergunning en ruimte vereist en kan deze methode direct geïmplementeerd worden. Een lokstroom is niet noodzakelijk maar de methode is niet toepasbaar bij lage debieten, tenzij verzilting van de stroomopwaartse waterloop mag optreden. Om de methode verder te optimaliseren, kan beperkt verder onderzoek worden uitgevoerd.

Deze methode heeft bijgevolg een gemiddelde voorstudiekost, maar een lage onderhouds- en werkingskost, terwijl de aanlegkost nihil is. De bediening kan geautomatiseerd worden, zodat ook hier geen extra kosten ontstaan.

Een **bekkenvistrap** kan een hoge efficiëntie voor migrerende vis halen en laat bovendien niet enkel stroomafwaartse migratie maar ook migratie van alle vissoorten toe. Het aantal migrerende vissen kan echter niet eenvoudig gecontroleerd worden, en de stroomopwaartse migrerende vissen verliezen vrij veel energie. De methode kan continu worden toegepast.

Vistrappen kunnen een gemiddeld peilverschil overbruggen, afhankelijk van de beschikbare ruimte. Het is technisch haalbaar om de instroom van zoutwater te vermijden, maar dan moet de vistrap worden afgesloten rond de hoogtijpeilpiek, terwijl dit onderzoek uitwees dat de meeste glasaal juist binnen deze piek migreert. Afhankelijk van de constructie kan het ruimtegebruik worden beperkt en de esthetische kwaliteit vrij hoog zijn, maar deze methode vereist wel de meeste ruimte en is daarom vaak moeilijk implementeerbaar. Hierbij moet ook rekening gehouden worden met de beschermde status van de Ganzepootspuiconstructie. De constructie van een nevengeul vereist een bouwvergunning en relatief veel tijd. Bovendien is net als bij de glasaalgoot en de hevelvistrap de locatie van de inlaat en de effectiviteit van de lokstroom cruciaal voor een goede werking, en is een uitgebreide voorstudie dus vereist.

Bijgevolg brengt niet enkel de voorstudie, maar ook de aanleg van een bekkenvistrap hoge kosten met zich mee. Bovendien zijn aan dergelijk vistratype vaak vrij hoge onderhoudskosten verbonden, hoewel de werkings- en de bedieningskost laag zijn.

Tot slot is er de **vangst/uitzet** van glasaal, die qua efficiëntie beduidend lager scoort dan de andere opties en zeer arbeidsintensief is. Voordeel van deze methode is dat de bouw van een constructie, net als bij het aangepast spuibeheer, vermeden wordt. Bijgevolg is deze methode eenvoudig implementeerbaar en zijn de kosten voor de aanleg van een constructie nihil. Toch wordt met deze methode ook enkel glasaalmigratie gestimuleerd, en blijft stroomafwaartse migratie onmogelijk of problematisch door sterke schommelingen in saliniteit. Bovendien zorgt de arbeidsintensieve vangst voor een hoge werkingskost, en moet vermeden worden dat gebiedsvreemde glasaal wordt uitgezet, om verspreiding van ziektes tegen te gaan.

Tabel 2 vat de voor- en nadelen van de verschillende alternatieven ter stimulatie van glasaalmigratie aan een getijdenspui samen. Dit onderzoek toonde aan dat de constructie van een glasaalgoot, hevelvistrap of bekkenvistrap ter hoogte van de Ganzepoot minder aangewezen is aangezien een sterke lokstroom vereist is. Momenteel wordt de glasaal door de sterke lokstroom uit de mondingen te sterk aangetrokken naar de spuien. Door de sterke zoetwateruitstroom in de Ganzepoot is een constructie in deze spuiomdingen echter technisch zeer moeilijk haalbaar. Bijgevolg zou de inlaat van een constructie zich in een stromingsarme zone moeten bevinden, maar de lokstroom in dergelijke zone is te zwak ten opzichte van deze ter hoogte van de spuien. Dit werd ook bevestigd door de lage efficiëntie van de eerder geplaatste glasaalgoot in de Ganzepoot.

Op basis van deze analyse en door de hoge arbeidsintensiteit van de vangst/uitzetmethode, lijkt het aangepast spui-beheer ons de meest aangewezen oplossing voor de glasaalmigratieproblematiek in de IJzermonding en eventueel in de Slijkvaartmonding van de Ganzepoot. Mogelijks kan de aanleg van hevelvistrappen overwogen worden ter hoogte van de mondingen waar onvoldoende debiet is om het aangepast spui-beheer toe te passen. Door het lage uitstroomdebet kan de uitlaat van deze constructies eventueel in de monding worden geplaatst, waardoor een aanvaardbare efficiëntie kan worden bereikt. Bovendien laten dergelijke constructies meteen ook migratie van andere vissoorten toe.



Tabel 2. Voor- en nadelen van de vijf verschillende alternatieven ter stimulatie van glasaalmigratie ter hoogte van getijdenspuien, op basis van hun werking, technische kenmerken en kostprijs.

	<b>Glasaalgoot</b>	<b>Hevelvistrap</b>	<b>Aangepast beheer</b>	<b>Bekkenvistrap</b>	<b>Vangst en uitzet</b>
<b>Werking</b>					
Efficiëntie	Hoog	Hoog	Hoog	Hoog?	Gemiddeld
Stroomafwaartse migratie mogelijk	Nee	Theoretisch	Ja	Ja	Nee
Controle aantal migrerende glasaal	Ja	Mogelijk	Nee	Nee	Ja
Werkzame periode	Continu	Tijdelijk	Tijdelijk	Continu	Tijdelijk
Migratie andere vissoorten mogelijk	Nee	Ja	Ja, beperkt	Ja	Nee
Energieverlies glasaal	Hoog	Gemiddeld	Nihil	Gemiddeld	Mogelijk
<b>Technische gegevens</b>					
Overbrugbaar peilverschil	Hoog	Hoog	Hoog	Gemiddeld, afhankelijk van beschikbare ruimte	Hoog
Zoutwaterinlaat	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee
Esthetische kwaliteit	Gemiddeld	Laag	Hoog	Gemiddeld	Hoog
Overstromingsrisico	Laag	Laag	Laag	Laag	Laag
Bouwvergunning vereist?	?	?	Nee	Ja	Nee

Ruimtegebruik	Laag	Laag	Nihil	Hoog	Nihil
Opstarttijd	Gemiddeld	Gemiddeld	Direct implementeerbaar	Hoog	Direct implementeerbaar
Toepasbaar bij lage debieten?	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja
Noodzaak lokstroom	Ja	Ja	Nee	Ja	Nee
Verder onderzoek noodzakelijk	Uitgebreid	Uitgebreid	Beperkt	Uitgebreid	Beperkt
<b>Kostprijs</b>					
Voorstudie	Hoog	Hoog	Gemiddeld	Hoog	Gemiddeld
Kostprijs aanleg	Gemiddeld	Gemiddeld	Nihil	Hoog	Laag
Onderhoud	Gemiddeld	Gemiddeld	Laag	Gemiddeld	Laag
Werkingskost	Gemiddeld	Gemiddeld/hoog	Laag	Laag	Hoog
Bediening	Manueel/automatisch	Automatisch	Automatisch	Automatisch	Manueel



## Literatuurlijst

- Audenaert, V., Huyse, T., Goemans, G., Belpaire, C., Volckaert, F. A. M. 2003. Spatio-temporal dynamics of the parasitic nematode *Anguillicola crassus* in Flanders, Belgium. *Diseases of Aquatic Organisms*. 56, 223-233.
- Bolliet, V., Lambert, P., Rives, J., Bardonnnet, A. 2007. Rhythmic swimming activity in *Anguilla anguilla* glass eels: Synchronisation to water current reversal under laboratory conditions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 344, 54-66.
- 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.
- Bonhommeau, S., Chassot, E., Rivot, E. 2008b. Fluctuations in European eel (*Anguilla anguilla*) recruitment resulting from environmental changes in the Sargasso Sea. *Fisheries Oceanography*. 17, 32-44.
- 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.
- Crivelli, A. J., Auphan, N., Chauvelon, P., Sandoz, A., Menella, J. Y., Poizat, G. 2008. Glass eel recruitment, *Anguilla anguilla* (L.), in a Mediterranean lagoon assessed by a glass eel trap: factors explaining the catches. *Hydrobiologia*. 602, 79-86.
- De Casamajor, M. N., Bru, N., Prouzet, P. 1999. Influence of night brightness and turbidity on the vertical migratory behaviour of glass-eels (*Anguilla anguilla* L.) in the Adour estuary. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture*. 355, 327-347.
- Dekker, W. 1998. Long-term trends in the glasseels immigrating at Den Oever, the Netherlands. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture*. 349, 199-214.
- Dekker, W. 2000. The fractal geometry of the European eel stock. *Ices Journal of Marine Science*. 57, 109-121.
- 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.
- Du Colombier, S. B., Bolliet, V., Bardonnnet, A. 2009. Swimming activity and behaviour of European *Anguilla anguilla* glass eels in response to photoperiod and flow reversal and the role of energy status. *Journal of Fish Biology*. 74, 2002-2013.
- Du Colombier, S. B., Bolliet, V., Lambert, P., Bardonnnet, A. 2007. Energy and migratory behavior in glass eels (*Anguilla anguilla*). *Physiology & Behavior*. 92, 684-690.
- Edeline, E., Dufour, S., Elie, P. 2005. Role of glass eel salinity preference in the control of habitat selection and growth plasticity in *Anguilla anguilla*. *Marine Ecology-Progress Series*. 304, 191-199.
- Edeline, E., Lambert, P., Rigaud, C., Elie, P. 2006. Effects of body condition and water temperature on *Anguilla anguilla* glass eel migratory behavior. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 331, 217-225.

Feunteun, E., Acou, A., Guillouet, J., Laffaille, P., Legault, A. 1998. Spatial distribution of an eel population (*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.  
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.

Laffaille, 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.

Shevade, S. K., Keerthi, S. S., Bhattacharyya, C., Murthy, K. R. K. 2000. Improvements to the SMO algorithm for SVM regression. *IEEE Transactions on Neural Networks*. 11, 1188-1193.

Sullivan, M. C., Able, K. W., Hare, J. A., Walsh, H. J. 2006. *Anguilla rostrata* glass eel ingress into two, US east coast estuaries: patterns, processes and implications for adult abundance. *Journal of Fish Biology*. 69, 1081-1101.

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

Wilson, J. M., Antunes, J. C., Bouca, P. D., Coimbra, J. 2004. Osmoregulatory plasticity of the glass eel of *Anguilla anguilla*: freshwater entry and changes in branchial ion-transport protein expression. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 61, 432-442.

Wilson, J. M., Leitao, A., Goncalves, A. F., Ferreira, C., Reis-Santos, P., Fonseca, A. V., da Silva, J. M., Antunes, J. C., Pereira-Wilson, C., Coimbra, J. 2007. Modulation of branchial ion transport protein expression by salinity in glass eels (*Anguilla anguilla* L.). *Marine Biology*. 151, 1633-1645.

Witten, H., Frank, E. 2000. *Data mining: practical machine learning tools and techniques with Java implementations*. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco. 371 pp.



## Lijst van figuren

Fig. 1. Ligging van de vijf bemonsteringspunten aan de Ganzepoot in Vlaanderen, België. Het Kanaal van Plassendale werd niet in de analyses opgenomen omdat deze waterloop door een andere spuiconstructie werd afgesloten.....	11
Fig. 2. Sleepnetbemonsteringen in de Ganzepoot bij opkomend tij. ....	12
Fig. 3. Kruisnetbemonsteringen ter hoogte van een spui aan de Ganzepoot tijdens opkomend tij. ....	12
Fig. 4. De fuik waarmee stroomopwaarts migrerende glasaal bemonsterd werd. ....	14
Fig. 5. Plaatsing van de fuik in een spui-opening van de IJzer, stroomopwaarts van het spuicomplex. ....	14
Fig. 6. Glasaaldensiteiten waargenomen door sleepnet- (zwarte vierkantjes) en fuikbemonsteringen (witte cirkels) gedurende negen opeenvolgende bemonsteringen in de Ganzepoot. Bemonsteringen 1, 3 en 5 werden overdag uitgevoerd, terwijl alle andere bemonsteringen 's nachts plaatsvonden .....	16
Fig. 7. Glasaaldensiteiten waargenomen met sleepnetten op verschillende momenten tijdens het opkomend tij van zes nachtelijke bemonsteringen.....	17

## Lijst van tabellen

- Tabel 1. Resultaten van de stepwise backward variabelenselectie die de invloed nagaat van zes variabelen op glasaaldensiteiten met kruisnetten waargenomen ter hoogte van de spuien. Het rangnummer en het gemiddelde gewicht van elke variabele in vijf modellen wordt weergegeven, samen met de gemiddelde performantie van deze modellen, gekwantificeerd door de correlatiecoëfficiënt. Voor categorische variabelen werd het hoogste gewicht geselecteerd. .... 18
- Tabel 2. Voor- en nadelen van de vijf verschillende alternatieven ter stimulatie van glasaalmigratie ter hoogte van getijdenspuien, op basis van hun werking, technische kenmerken en kostprijs. .... 27



