

Wageningen IMARES

Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies

Vestiging IJmuiden
Postbus 68
1970 AB IJmuiden
Tel.: 0255 564646
Fax: 0255 564644

Vestiging Yerseke
Postbus 77
4400 AB Yerseke
Tel.: 0113 672300
Fax: 0113 573477

Vestiging Texel
Postbus 167
1790 AD Den Burg Texel
Tel.: 0222 369700
Fax: 0222 319235

Internet: www.wageningenimares.wur.nl
E-mail: imares@wur.nl

Rapport

Nummer: C064/06

Een experimentele veldstudie naar het intrekgedrag van glasaal op de grens van zout en zoet met implicaties voor het verbeteren van intrek mogelijkheden

T.P. Bult, W. Dekker

Opdrachtgever: Ministerie van LNV
Directie Visserij
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

Project nummer: 3.28.12400.06

Aantal exemplaren:	20
Aantal pagina's:	40
Aantal tabellen:	2
Aantal figuren:	23
Aantal bijlagen:	-

Wageningen IMARES is een samenwerkingsverband tussen Wageningen UR en TNO. Wij zijn geregistreerd in het Handelsregister Amsterdam nr. 34135929 BTW nr. NL 811383696B04



De Directie van Wageningen IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen IMARES; opdrachtgever vrijwaart Wageningen IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets van dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave.....	2
Samenvatting.....	4
1 Inleiding.....	5
1.1 Terugloop glasaalintrek.....	5
1.2 Intrekbarrières voor glasaal op de grens van zout en zoet.....	7
1.3 Probleemschets.....	9
1.4 Onderzoeksvragen.....	9
1.5 Hypotheses.....	9
1.6 Doel.....	9
2 Materiaal en methoden.....	11
2.1 Opzet.....	11
2.2 Locaties.....	13
2.2.1 Nieuwe Statenzijl.....	13
2.2.2 Bergse Diepsluis.....	14
2.3 Apparatuur.....	15
2.3.1 Hevel.....	15
2.3.2 Aalgoot.....	17
2.3.3 Kruisnet.....	17
2.4 Behandeling van de vangsten.....	18
2.5 Opwerken data.....	19
2.6 Duikwaarnemingen.....	20
3 Resultaten.....	22
3.1 Vangsten.....	22
3.2 Aalgoot versus Hevel, aantallen glasaal.....	23
3.3 Trends in lengte en ontwikkelingsstadium.....	25
3.3.1 Glasaal.....	25
3.3.2 Stekelbaars.....	26
3.4 Kruisnet versus aalgoot & hevel.....	27
3.4.1 Glasaal.....	27
3.4.2 Stekelbaars, wolhandkrab.....	27

3.5	Duikwaarnemingen	28
3.5.1	Hoogwater.....	28
3.5.2	Laagwater	29
3.5.3	Overgang hoogwater-laagwater	30
3.5.4	Gedrag voor aalgoot en hevel	31
4	Discussie.....	32
4.1	Belangrijkste bevindingen.....	32
4.2	Ander ontwerp, andere uitkomsten?	33
4.3	Seizoenseffecten	34
4.4	Kruisnet versus hevel & goot.....	34
4.5	Passage van sluizen	35
4.6	Beantwoording onderzoeksvragen.....	36
4.7	Aanbevelingen.....	36
4.8	Conclusies.....	37
4.9	Verantwoording.....	37
	Literatuur	38

Samenvatting

Sluiscomplexen op de grens van zout en zoet water kunnen een serieuze optrekbarrière vormen voor glasaal. Waterbeheerders proberen deze intrek te verbeteren door het aanleggen van vispassages en specifiek sluisbeheer.

Deze maatregelen gaan uit van glasaal die tegen een zoete lokstroom opzwemt. Echter, deze aanname strookt niet met dat wat bekend is uit wetenschappelijke literatuur over de glasaaltrek op zee: glasalen zullen in zout water vooral met de stroom mee willen zwemmen, niet er tegen in. Het schutten van glasaal, het op een kier zetten van sluisdeuren tijdens laagwater, of het aanbieden van aalgoten of andere lekstroompasages is daarmee ineffectief. Glasaal weet het binnenwater kennelijk vooral te bereiken ondanks, in plaats van dankzij, al deze goed bedoelde apparatuur en beheersmaatregelen.

Een systeem dat appelleert aan het natuurlijke intrekgedrag van glasaal (meezwemgedrag) zou dan ook meer voor de hand liggen. Dat betekent dat de vloedstroom naar binnen weer hersteld moet worden. Het is daarbij niet nodig om alle sluizen weer open te zetten. Een klein stroompje, bijvoorbeeld in de vorm van een hevel, kan al voldoende zijn.

Tegen deze achtergrond heeft Wageningen IMARES (voorheen RIVO) in het voorjaar van 2005 in samenwerking met het Waterschap Hunze en Aa's en studenten van de Hogeschool Zeeland een vergelijkende studie uitgevoerd op basis van een aalgoot (opzwemgedrag) en een hevel (meezwemgedrag). Deze studie vond plaats bij het sluiscomplex van Nieuwe Statenzijl in Groningen en de Bergse Diepsluis in Zeeland. Duikwaarnemingen voor de Bergse Diepsluis in 2005 en 2006 zijn gebruikt in aanvulling op de hevel- en gootwaarnemingen.

Doel van deze studie was om een beter beeld te krijgen van het intrekgedrag van glasaal voor sluisdeuren en om te bepalen of de intrek van glasaal op de grens van zoet en zout kan worden verbeterd door gebruik te maken van hevelsystemen.

In aanvulling op dit project is ook een aanzet gemaakt tot een apparaat dat glasaal automatisch kan herkennen en tellen en dat kan worden ingebouwd in dit hevelsysteem. De resultaten hiervan worden in een apart rapport gepresenteerd: "Ontwikkeling Automatisch Glasaaltelapparaat en Hevel".

De resultaten lieten zien dat bij hoogwater bijna 10 keer meer glasalen introkken via de hevel dan via de goot. Verder werden in de hevel grote hoeveelheden stekelbaarzen, steurgarnalen, aasgarnalen, vlokreeften, en wolhandkrabben gevangen, en ook andere vissen zoals grote zeenaald, pos, spiering, baars, grondel, bot en blankvoorn. In de goot, daarentegen, werden naast glasaal alleen kleinere hoeveelheden stekelbaarzen aangetroffen. De hevel was dus veel effectiever dan de goot, niet alleen voor de glasaal, maar ook voor veel andere vissen en kreeftachtigen.

Duikwaarnemingen lieten zien dat bij laagwater de glasaal zich concentreerde in de bovenste halve meter van de waterkolom, direct voor de sluisdeuren, als gevolg van zoetwaterlokstromen uit de kieren van het sluiscomplex. Echter, de stroomsnelheden in deze kieren waren dan te groot om doortrek mogelijk te maken. Bij hoogwater concentreerde de glasaal zich direct voor de deur van het sluiscomplex, verspreid over de waterkolom. Grote aantallen glasalen wisten dan door kieren met de stroom mee het achterland te bereiken.

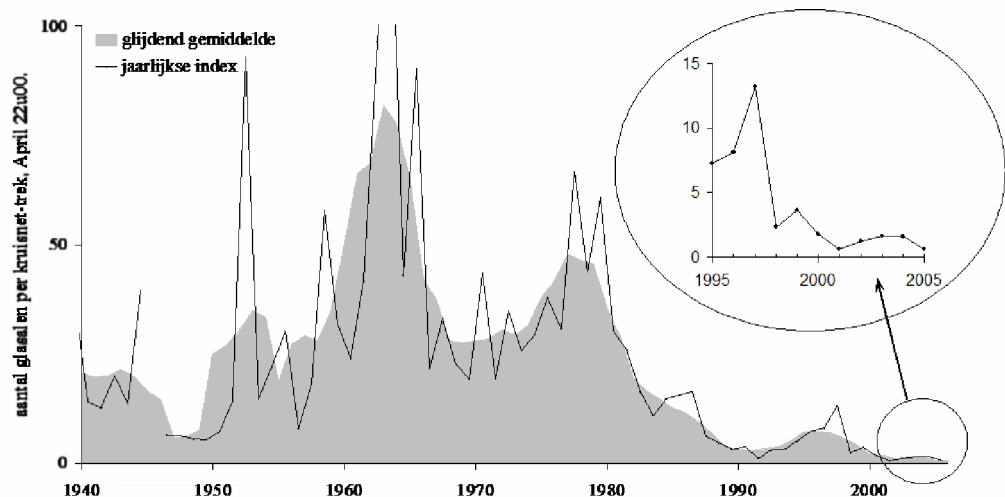
Deze resultaten impliceren dat de intrek van glasaal sterk kan worden verbeterd met relatief kleine openingen in en rond sluisdeuren en hevelsystemen, waardoor de glasaal bij hoogwater, met de zoutwaterstroom mee, het zoete water in kan trekken. Aanbevolen wordt om het hevelsysteem verder te optimaliseren en de ecologische effecten van een verbeterde intrek op de vispopulaties in het achterliggende binnenwater te testen in een veldsituatie.

1 Inleiding

1.1 Terugloop glasaalintrek

De intrek van glasaal in Nederland is sterk teruggelopen, met name in de periode na 1980 (Moriarty 1986; Dekker 2000; Dekker 2004b; ICES 2005). Figuur 1 illustreert deze achteruitgang voor Den Oever, de langst lopende monitoringsreeks in Nederland.

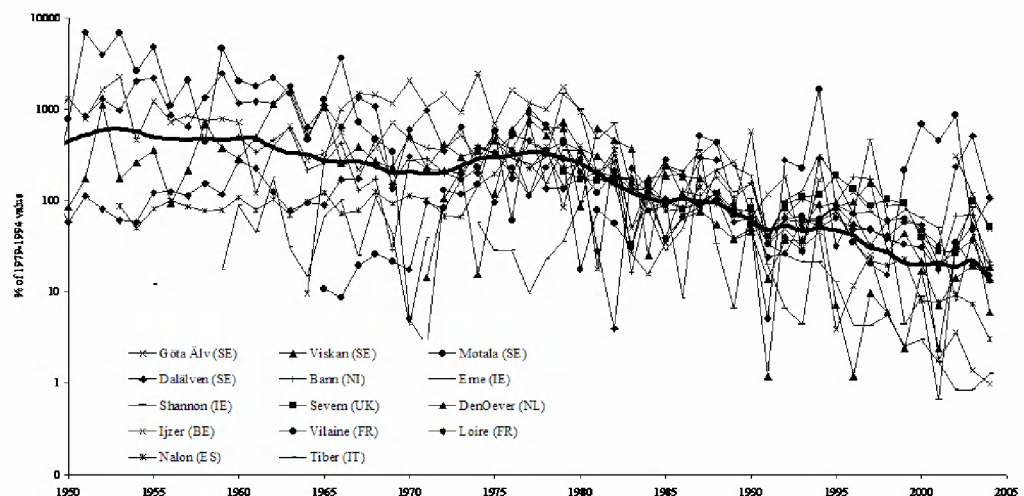
Glasaalintrek, Den Oever



Figuur 1. Glasaalintrek bij Den Oever, 1940-2005 (aantal glasalen per kruisnet-trek). (uit: (Dekker 2004b), met aanvulling voor 2005).

Deze achteruitgang is niet uniek voor Nederland, maar doet zich ook op veel andere locaties in Europa ((Dekker 2004b); Figuur 2).

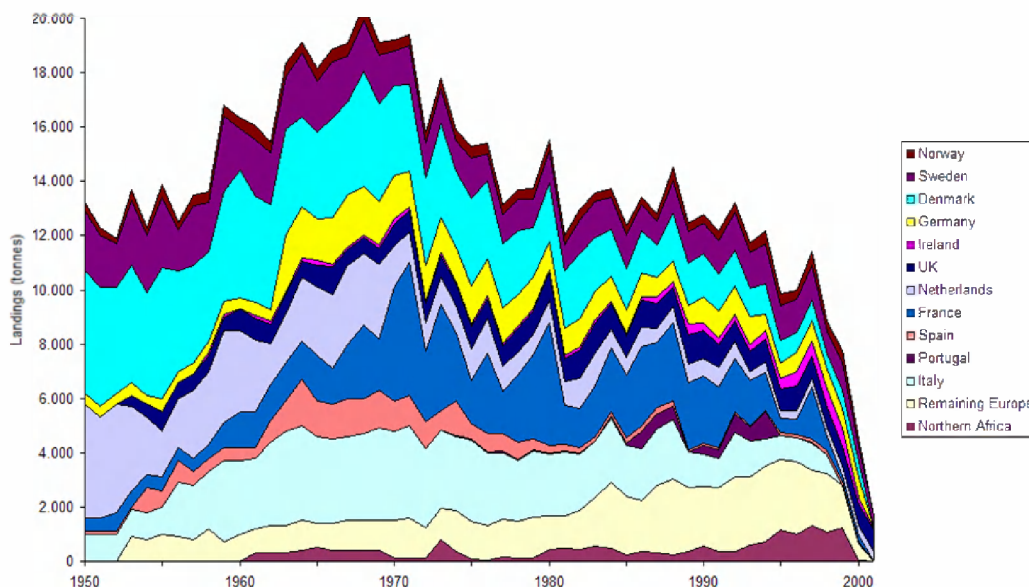
Glasaalintrek, Europese rivieren



Figuur 2. Glasaalintrek in een aantal Europese rivieren, 1950-2004 (% van gemiddelde intrek in 1979-1994) (uit: (Dekker 2004b)). N.B.: let op de logaritmische schaal.

Samen met deze achteruitgang in glasaalintrek zien we ook de aalvangsten afnemen in Europa (Figuur 3) (Moriarty and Dekker 1997; Dekker 2003; Dekker 2004c) en een verder afname in aalvangsten is te verwachten, gegeven de voornoemde achteruitgang in glasaalintrek (ICES 2004).

Aalvangsten, Europa & N-Afrika



Figuur 3. Aalvangsten (aanlandingen) in Europa en Noord Afrika (ton). (uit: (Dekker 2004b); Laatste jaren onvolledig).

Tegen deze achtergrond heeft de Internationale Raad voor Zeeonderzoek (ICES) in 1998 geconstateerd dat de aalstand zich niet meer binnen veilige biologische grenzen bevindt en geadviseerd dat maatregelen nodig zijn, zowel op Europees als nationaal niveau, om de aalstand te herstellen. Deze maatregelen zouden onderdeel moeten zijn van een internationaal aalherstelplan. (ICES 1999; ICES 2005)

Op Europees niveau zijn door de EU Commissie voorstellen gedaan voor een aalherstelplan. Dit plan voorziet in nationaal in te vullen en te implementeren maatregelen gericht op beperking van de visserij en terugdringing van de impact van andere factoren (aalscholvers, migratiebarrières, habitatverlies, waterkrachtopwekking) tot het laagst mogelijke niveau (zie ook: (ICES 2002)). Om een meer specifieke inhoud van dit plan te geven voor Nederland hebben een aantal belangengroepen, waaronder vissers en natuurorganisaties, een aalherstelplan voor Nederland uitgebracht (Aalcomité 2005). In dit aalherstelplan staat wat de belangenverenigingen verstaan onder een gezonde aalstand en een duurzame visserij, en worden aanbevelingen gedaan voor het beheer van de aalpopulaties in Nederlandse wateren.

Complicerende factor bij het formuleren van aalherstelmaatregelen is dat onbekend is welke de oorza(k)k(en) zijn van de verminderde glasaalintrek: Dekker (Dekker 2004b) heeft recent een overzicht gepresenteerd van mogelijke oorzaken, waaronder vervuiling, trekbarrières, habitatverlies, visserij en veranderde zeestromingen. Zijn conclusie was dat met de huidige gegevens het niet mogelijk is aan te geven wat de oorzaak of welke de combinatie van oorzaken is die heeft geleid tot deze achteruitgang.

Omdat het niet mogelijk is kwantitatief aan te geven wat de bijdrage is geweest van de voornoemde oorzaken in de achteruitgang van de aalstand, wordt veel beleid op dit moment geformuleerd vanuit het voorzorgprincipe en zonder dat precies bekend is wat de effectiviteit is van de voorgestelde maatregelen. Een van de speerpunten van dit beleid is een verbetering van

de op- en doortrekmogelijkheden voor de aal, vooral omdat deze relatief eenvoudig te beïnvloeden lijkt met technische maatregelen zoals vispassages en visvriendelijke gemalen.

Het lijkt niet waarschijnlijk dat verbetering van de optrekmogelijkheden voldoende is om de aalstand te herstellen. Een compleet pakket met veelzijdige maatregelen is gewenst. Verbetering van de optrekmogelijkheden is wat dit betreft slechts één van de knelpunten die aangepakt moeten worden. Verbetering van de optrekmogelijkheden heeft daarnaast ook betekenis voor de andere trekvis, en kan daarmee een wezenlijke bijdrage geven aan het herstel van de natuurlijke visstand en het kenmerkende aquatische ecosysteem van onze lage landen.

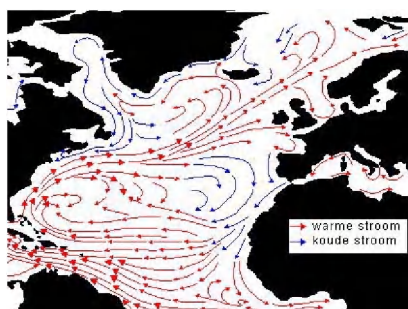
1.2 Intrekbarrières voor glasaal op de grens van zout en zoet

De Nederlandse kust wordt gekenmerkt door talrijke verbindingen tussen zee en binnenwater. In de oorspronkelijke situatie konden diadrome en estuariene vissen deze verbindingen relatief eenvoudig passeren (aal, bot, spiering, dieldoornige stekelbaars, elft, fint, zalm, forel, prik, steur, etc.). Echter, waterstaatkundige werken, waaronder dijken, sluisen en dammen hebben deze verbindingen slecht passeerbaar gemaakt voor deze vissen. Met name de modernere sluiscomplexen met vrijwel hermetisch sluitende deuren, rubberen afdichtranden en weinig lekverliezen, die alleen overdag gebruikt worden t.b.v. de scheepvaart maar 's nachts gesloten blijven, vormen een potentieel probleem voor de glasaalintrek omdat die vooral 's nachts plaatsvindt.

Om deze reden wordt op diverse plaatsen getracht de doortrekmogelijkheden te herstellen door aparte voorzieningen, waaronder vistrappen en aalgoten, of door specifieke beheersmaatregelen, zoals het op een kier zetten van sluisdeuren bij laagwater. Vanwege de landbouw en drinkwatervoorziening worden deze voorzieningen vaak zodanig ingericht dat de zoutwaterbelasting van het zoete binnenwater wordt geminimaliseerd. Vispassages waarbij vissen tegen een zoete lokstroom in moeten zwemmen hebben dan ook de voorkeur gehad boven bijvoorbeeld het tijdelijk openzetten van sluisdeuren.

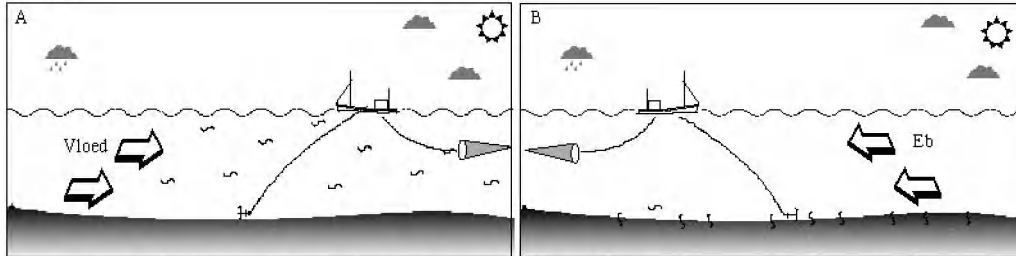
Dit betekent dat bij de huidige vispassages in Nederland op de grens van zoet en zout vooral rekening wordt gehouden met vissen die aangetrokken worden door zoete lokstromen en die vervolgens geneigd zijn actief tegen deze stroom in te zwemmen bij het passeren van zoet-zout overgangen. De huidige ontwerpen van vispassages lijken daarmee sterk gekleurd door kennis over vispassages en optrekgedrag van salmoniden in bergbeken.

De vraag is echter of het principe van lokstroom en kunstmatige bergbeek voor alle vissen effectief is. Zo is van glasaal bekend dat ze de Europese kusten bereiken via de golfstroom (Figuur 4). Eenmaal aangekomen bij de kustzone en estuaria wordt gebruik gemaakt van selectief getijtransport om stroomopwaarts te geraken, zoals aangetoond voor Europese aal (Gascuel 1986; Gascuel 1987; Dekker and van Willigen 2000) en voor Amerikaanse aal (Creutzberg 1958; Creutzberg 1961; McCleave and Kleckner 1982; McCleave and Wippelhauser 1987; Wippelhauser and McCleave 1987).



Figuur 4. Golfstroom

Dit betekent dat glasaal met de vloedstroom meezwemt en bij eb op de bodem wacht tot het tij weer keert (Figuur 5). Dit proces lijkt vooral 's nachts plaats te vinden aangezien de glasaaldichtheden in de waterkolom overdag lager zijn dan 's nachts (Gascuel 1987; Elie and Rochard 1994). De timing van dit gedrag is waarschijnlijk beïnvloedt door een endogene biologische klok (Tesch 1965; McCleave and Wippelhauser 1987), waarbij ook verschillen in smaak (zoutgehalte, humuszuren) tussen eb- en vloedstromen van invloed kan zijn (Creutzberg 1959).



Figuur 5. Illustratie selectief getijden transport (uit: (Dekker and van Willigen 2000)): Tijdens het opkomende water zwemt de trekvis hoog in de waterkolom en wordt meegenomen door de vloedstroom (A). Zodra het water afgaat, bij eb (B), kruipt de vis naar de bodem en wordt daardoor niet meegenomen door de ebstroom.

Selectief getijden-transport is dus zeer belangrijk voor de intrek van glasaal. Dit proces maakt het mogelijk voor glasaal om vrijwel zonder inspanning een rivier in te trekken, zo ver als het getij reikt. Door dit proces ontstaan er concentraties glasalen op de plaatsen waar het getij nog net reikt (tidal limit). Dit zijn doorgaans de locaties waar de commerciële visserij op de glasaal ook plaats vindt. Voor Nederland zijn aanwijzingen gevonden voor een dergelijke tidal limit in de Westerschelde ter hoogte van Bath (van Willigen 1992).

Veelal is verondersteld dat zoet water een attractieve werking heeft op de glasaal, hoewel experimenten een verwarrend beeld gaven (Deelder 1958; Creutzberg 1961). Realiseert men zich echter dat de vloedstroom in een estuarium relatief zout water naar binnen brengt, terwijl de ebstroom ruimte maakt voor het zoete rivierwater, dan wordt duidelijk dat het selectief getijden-transport slechts mogelijk is als de glasaal bij toenemend zoutgehalte gaat zwemmen en bij afnemend zoutgehalte in de bodem wegkruipt. Voor het zoete water wegkruipen in de bodem leidt ertoe dat de glasaal in het zoete water terecht komt!

Rond sluiscomplexen betekent dit dat glasaal vooral het zoete water kan bereiken wanneer tijdens hoogwater zout water het achterland instroomt, via kieren, een hevel of het (deels) openen van de sluisdeur. Echter, bij de huidige sluiscomplexen wil men juist deze situaties voorkomen, i.v.m. drinkwatervoorziening en landbouw. Op een aantal locaties worden sluisdeuren nog wel eens opengezet, maar dan alleen op een kier en tijdens laagwater, om de visintrek mogelijk te maken. De intrek van glasaal zal daarmee weinig geholpen zijn als de glasaal vooral met de stroom mee wil zwemmen.

Sluiscomplexen kunnen daarmee een serieuze optrekbarrière vormen voor glasaal, ondanks de aanwezigheid van vispassages. Deze problematiek wordt uitgebreider besproken door Dekker en van Willigen (Dekker and van Willigen 2000). Zij concluderen op basis van literatuurgegevens en aanvullende veldwaarnemingen rond Den Oever en het IJsselmeer dat glasaal zich ophoopt voor sluisdeuren als gevolg van selectief getijtransport, maar moeilijk verder komt door het ontbreken van mogelijkheden om met de stroom mee het binnenwater te bereiken. Selectief getijtransport zou tot direct voor de sluisdeuren zelf optreden. Zij concluderen verder dat het schutten van glasaal, het op een kier zetten van de sluisdeuren tijdens laagwater, of het aanbieden van aalgoten of andere lekstrooppassages weinig effectief zijn, en dat glasaal het binnenwater kennelijk vooral weet te bereiken ondanks, in plaats van dankzij, al deze goed bedoelde apparatuur en beheersmaatregelen.

Het gevolg hiervan is dat glasaal lange tijd voor sluisdeuren blijft hangen, zoals aangetoond bij de Afsluitdijk door (Dekker and van Willigen 1996; Dekker and van Willigen 1997): Glasalen die op 8 april 1997 gemerkt waren, bleken op 23 april nog voor de sluis gevangen te worden, terwijl de spuisluizen in de tussenliggende nachten telkens op een kiertje hadden gestaan, de glasaal de gelegenheid gevend naar binnen te zwemmen. Ook in vergelijking met locaties elders in Europa blijkt de glasaal zich lang voor de Nederlandse kust op te houden en is de glasaalintrek pas laat beëindigd (zie: (ICES 2005)). De glasaal die men dan ook voor sluisdeuren tegen een zoete waterstroom in kan zien zwemmen, lijkt daarmee vooral te bestaan uit individuen die ten langen leste opzwemgedrag zijn gaan vertonen, na lang en ineffectief meezwemgedrag.

1.3 Probleemschets

De huidige vispassages en sluisbeheersmaatregelen zijn waarschijnlijk weinig effectief voor de glasaalintrek. De reden hiervan is dat deze apparatuur en beheersmaatregelen appelleren aan opzwemgedrag, terwijl glasaal op de grens van zoet en zout vooral meezwemgedrag vertoont.

De veronderstelling die bij veel waterbeheerders leeft dat glasaal effectief intrekt door opzwemgedrag wordt niet gesteund door de wetenschappelijke literatuur over dit onderwerp. Desondanks worden langs de gehele Nederlandse kust vispassages en aalgoten aangelegd of beheersmaatregelen genomen die uitgaan van opzwemgedrag van glasaal.

De verwachting is dat apparatuur of beheersmaatregelen die appelleren aan meezwemgedrag veel effectiever zullen zijn: een hevelsysteem zal beter werken dan een klassieke aalgoot. Directe waarnemingen aan het intrekgedrag van glasaal bij sluisdeuren of kwantitatieve gegevens over de effectiviteit van hevelsystemen versus aalgoten ontbreken echter. Deze informatie is nodig om te komen tot een verbetering van de glasaalintrek.

1.4 Onderzoeksvragen

- Wat is het gedrag van glasaal voor sluisdeuren op de grens van zoet naar zout, tijdens de intrek?
- In hoeverre werkt een vispassage die appelleert aan meezwemgedrag (hevel) beter dan een klassieke vispassage die appelleert aan opzwemgedrag (aalgoot).
- Wat zijn de mogelijkheden om de intrek van glasaal te optimaliseren door beter rekening te houden met het gedrag van glasaal op de grens van zoet naar zout?

1.5 Hypotheses

- Selectief getijdentransport en meezwemgedrag zijn belangrijker voor de intrek van glasaal op de grens van zoet naar zout dan lokstromen en opzwemgedrag.
- Vispassages gebaseerd op selectief getijdentransport en meezwemgedrag (hevel) zijn daardoor effectiever dan vispassages gebaseerd op lokstromen en opzwemgedrag (aalgoot).
- Het relatief belang van opzwemgedrag zal toenemen later in de intrekperiode, doordat een groter deel van de glasalen langer voor de sluisdeuren hebben moeten wachten waarmee de motivatie tot actief opzwemgedrag toeneemt en de drang tot selectief getijdentransport en meezwemgedrag afneemt.

1.6 Doel

Beantwoorden van de bovenstaande onderzoeksvragen met aanbevelingen voor alternatieve vispassages bij sluiscomplexen.

Naast dit project is ook een aanzet gemaakt tot een apparaat dat glasaal automatisch kan herkennen en tellen en dat kan worden ingebouwd in het hevelsysteem. De resultaten hiervan worden in een apart rapport gepresenteerd: "Ontwikkeling Automatisch Glasaaltelapparaat en Hevel".

2 Materiaal en methoden

2.1 Opzet

Het relatief belang van meezwem- versus opzwemgedrag is bestudeerd in een veldexperiment dat is uitgevoerd tijdens het belangrijkste deel van de de glassaalintrekperiode in het voorjaar van 2005. Hierbij is de effectiviteit van een experimentele vispassage in de vorm van een hevelsysteem vergeleken met die van een aalgoot (zie Figuur 6).



Figuur 6. Aalgoot en Hevel.

Met de aalgoot is een lokstroom gecreëerd waartegen de glassaal op kon zwemmen. Bij de hevel konden glasalen met de stroom mee het achterland bereiken. Deze waarnemingen zijn vooral gedaan tijdens hoogwatersituaties en in het donker, omdat de glassaal vooral 's nachts intrekt en dan met de stroom mee door de hevel het zoete binnenwater kan bereiken: Tijdens laagwater is de stroomrichting in de hevel van zoet naar zout. De verhouding in de vangsten met hevel en goot is vervolgens gebruikt als indicatie voor het relatief belang van meezwem en opzwemgedrag.

Deze werkzaamheden vonden plaats bij de Bergse Diepsluis en het sluiscomplex van Nieuw Statenzijl (zie Figuur 7). De werkzaamheden bij Nieuwe Statenzijl zijn uitgevoerd in samenwerking met het Waterschap Hunze en Aa's; de werkzaamheden bij de Bergse Diepsluis in samenwerking met studenten van de Hogeschool Zeeland.

Locaties

- Nieuwe Statenzijl
- Bergse Diepsluis



Figuur 7. Locaties Nieuwe Statenzijl en Bergse diepsluis.

In aanvulling hierop zijn duikwaarnemingen en kruisnetwaarnemingen gedaan:

De duikwaarnemingen waren bedoeld om directer waarnemingen aan het intrekgedrag van glasaal te verkrijgen. Deze duikwaarnemingen zijn alleen bij de Bergse Diepsluis uitgevoerd i.v.m. het geringe doorzicht bij Nieuwe Statenzijl.

De kruisnetwaarnemingen zijn uitgevoerd op een vergelijkbare wijze als de jaarlijkse standaard IMARES glasaalbemonsteringen (Dekker 2002; Dekker 2004a). Deze kruisnetbemonsteringen zijn vergeleken met de hevel- en aalgootwaarnemingen om te bepalen in hoeverre een correlatie tussen deze twee typen waarnemingen aanwezig was. Het belang van deze analyses is dat het hevelsysteem dat bij dit project ontwikkeld werd ook gebruikt zal worden in een aanverwante studie, waarin een continue en real-time vistelsysteem wordt ontwikkeld op basis van een camera en beeldherkenning. Als dit telsysteem werkt en als die voornoemde correlaties hoog zijn, dan kunnen eventuele toekomstige tellingen met dit telapparaat eenvoudig vertaald worden naar "traditionele" IMARES-glasaalmetingen op basis van het kruisnet. Dit zou betekenen dat een nieuwe opzet voor glasaalmetingen mogelijk wordt, op basis van een hevel i.p.v. een kruisnet, zonder nadelige gevolgen voor de continuïteit van de meetreeksen.

2.2 Locaties

2.2.1 Nieuwe Statenzijl

Het sluizencomplex bij Nieuwe Statenzijl is gelegen op het punt waar de Westerwoldse Aa uitmondt op de Eems-Dollard. Het complex bestaat uit een spuisluis ten behoeve van de afwatering en een schutsluis ten behoeve van de scheepvaart (zie Figuur 8).



Figuur 8. Overzichtsfoto's sluiscomplex Nieuwe Statenzijl.

Het experiment is uitgevoerd voor de lage sluisdeuren die de kolk van de schutsluis scheiden van de Westerwoldse Aa. In deze deuren zitten rinketten aan de kant van de Westerwoldse Aa. Dit betekent dat tijdens hoogwater deze rinketten enigszins uit hun sponningen worden gedrukt met als gevolg een lekstroom en zoutbelasting van het achterland. Tijdens laagwater sluiten de deuren en rinketten goed aan, waardoor nauwelijks lekken optreden.

De stormdeuren die de kolk scheiden van de Dollard bleken te hoog voor de hevel. Deze stormdeuren stonden gedurende het experiment open zodat glasaal en andere vis ongehinderd voor de andere sluisdeuren konden komen. In een normale situatie zijn de stormdeuren permanent gesloten. Van deze stormdeuren is bekend dat deze weinig lekken.

De schutsluis wordt 's nachts niet gebruikt en ook overdag worden de deuren van deze schutsluis vrijwel niet geopend omdat in het voorjaar slechts weinig (plezier)vaart langskomt. De spuisluizen stonden wel regelmatig open voor het spuien van overtollig water, maar alleen tijdens laagwater opdat geen zoutbelasting van de Westerwoldse Aa op zou treden.

De spuisluizen werden regelmatig geopend gedurende het glasaalintrekseizoen. Dit gebeurde tijdens laagwater tot het waterpeil aan de zoute kant net iets hoger was dan aan de zoete kant van de spuideuren. Hiermee wil het waterschap de intrek van glasaal optimaliseren zonder dat dit een te hoge zoutbelasting van het achterland geeft.

Gezien deze lekstromen is te verwachten dat aanzienlijke hoeveelheden glasaal het achterland wisten te bereiken zonder dat gebruik werd gemaakt van aalgoot of hevel. Hierdoor zal het aanbod van glasaal voor de deuren verminderen en de aantallen glasalen in hevel en goot zullen kleiner zijn dan in een situatie zonder lekken. Aangenomen werd dat de verhouding tussen de aantallen glasaal in aalgoot en hevel niet wezenlijk door dergelijke lekken zou worden beïnvloed. Een vergelijk van deze twee apparaten bleef daarmee mogelijk.

2.2.2 Bergse Diepsluis

Het Bergse Diep sluizencomplex vormt de scheiding tussen de Oosterschelde en het Schelde Rijnkanaal (zie Figuur 9).



Figuur 9. Locatie Bergse Diepsluis, met op de voorgrond de Oosterschelde en op de achtergrond het Schelde-Rijnkanaal.



Figuur 10. Overzichtsfoto's van de Bergse Diepsluis en de Zeeuwse vrijwilligers voor het nachtwerk.

De Bergse diepsluis bestaat uit twee deuren uitgevoerd met ringketten aan de onderzijde (zie Figuur 10-11). Gedurende het glasaalseizoen worden de ringketten in deze deuren geopend tijdens laagwater om de optrek van glasaal mogelijk te maken. Deze ringketten waren gesloten tijdens de veldexperimenten. De Bergse Diepsluis wordt 's nachts niet geopend. Alleen overdag wordt hij regelmatig gebruikt voor het schutten van vooral pleziervaart.

Goot en hevel werden in de Oosterschelde gepositioneerd, recht voor de deur tussen kolk en Oosterschelde. De deur tussen de kolk en het Schelde-Rijnkanaal stond open tijdens het experiment.

Tijdens laagwater drukt het zoete water de ringketten uit hun sponningen in de deur tussen Oosterschelde en kolk, met als gevolg een lekstroom. Tijdens hoogwater worden deze ringketten en deur in hun (kunststof) sponningen gedrukt, waardoor nauwelijks lekkage optreedt. Merk op dat deze situatie tegenovergesteld is aan die van Nieuwe Statenzijl.



Figuur 11. (Reserve)sluisdeur Bergse Diepsluis. Onderaan de sluisdeur zijn links en rechts de openingen zichtbaar van de rinketten.

2.3 Apparatuur

2.3.1 Hevel

De hevel werd opgebouwd met PVC pijpmateriaal van 110 mm Ø. Deze pijpen werden aan elkaar gekoppeld in de vorm van een omgekeerde U die over de sluisdeur kon worden geplaatst (zie Figuur 6, 12). Aan de uitstroombuizing van deze hevel werd een groot net bevestigd in de vorm van een sok van ongeveer 2 meter lang en 1 meter doorsnede en met een maaswijdte van 1 * 1 mm. In dit net werd al het overgehevelde materiaal en vis verzameld. Door gebruik te maken van koppelstukken met rubberen flens was dit apparaat volledig demontabel en ook de lengte van de hevel gemakkelijk aan te passen. De lengte van de hevel was zodanig dat tijdens laagwater de buis ongeveer een meter onder water stond. Bij Nieuwe Statenzijl stond deze buisopening op een diepte van ruim 1 meter van de bodem. Bij de Bergse Diepsluis was deze afstand ruim 2 meter. De afstand van het intrekpunt tot de deur was 1-2 meter.

Bovenop de hevel zat een elektronische watersnelheidsmeter, een handmatig te bedienen vacuümpomp, een ontluuchtingskraan en een klep waarmee de stroomsnelheid in de buis kon worden geregeld. Een deel van de buis tussen vacuümpomp en klep was van transparant PVC om een visuele inspectie mogelijk te maken van het doorstromende water, luchtbelletjes en ander materiaal. De watersnelheidsmeter werd gebruikt om het debiet en de stroomsnelheid te meten. Deze metingen werden gedurende het experiment elk half uur uitgevoerd. Met de vacuümpomp werd water aangezogen en de hevel in werking gesteld. De ontluuchtingskraan werd gebruikt om dit water uit de hevel te lozen, na afloop van de metingen, waarna de hevel kon worden gedemonteerd.

Om een idee te krijgen of dit hevelontwerp te verbeteren viel zijn een aantal variaties uitgevoerd op het voornoemde ontwerp:

- Flexbuis - De aanzuigpijp is flexibel gemaakt en voorzien van een drijflichaam, waardoor continu op een diepte van ongeveer een halve meter tot het wateroppervlak water kon worden aangezogen, ongeacht het tij.
- Fluit - De aanzuigmond werd afgedicht en aan de zijkant van de aanzuigpijp werden op regelmatige afstand kleinere gaten geboord: vanaf de onderkant 5 gaten, onder elkaar,

met een onderlinge afstand van 30 cm (centrum gat tot centrum gat) en een diameter van 5 cm. Hierdoor werd over een groter gebied kleinere intrekgaten gecreëerd.

- Positie - Tevens is de positie van de hevel voor de sluisdeur gevarieerd (links, rechts, midden).

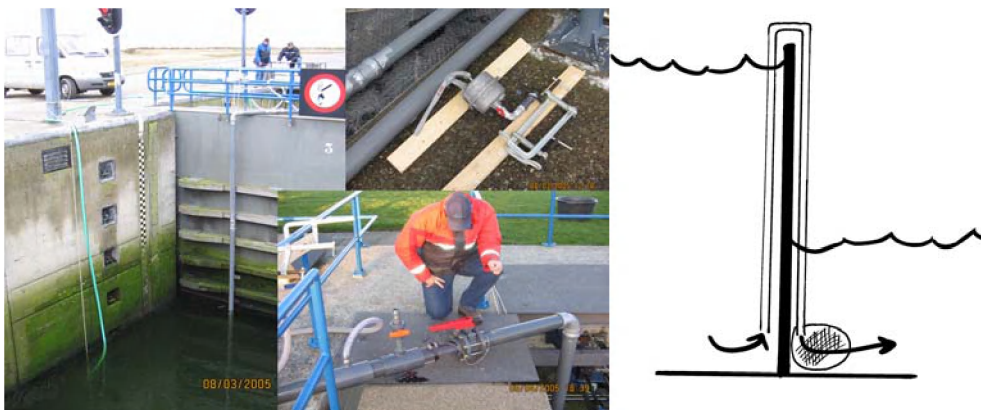
Voor aanvang van het experiment was al duidelijk dat het niet mogelijk was om voldoende waarnemingen te doen aan elk van deze variaties om mogelijke verschillen ook statistisch te onderzoeken. Desondanks zijn deze variaties uitgevoerd om meer gevoel te krijgen van de werking van de apparatuur en verbetermogelijkheden.

Het merendeel van de waarnemingen werd uitgevoerd met het eerste ontwerp (vaste buis, vaste locatie voor de deur). Hierdoor werd een schatting mogelijk van de variatie in de vangsten van deze hevel en konden seizoensinvloeden beter worden bestudeerd:

In de eerste week werd gedurende 4 nachten achtereenvolgende de volledige nacht gemeten met een hevel van het eerste ontwerp. Deze nachten begonnen voor het invallen van de schemer in een situatie rond hoogwater (voor 22.00 h.). De hevel stroomde dan van zout naar zoet. In de loop van de nacht keerde uiteraard deze stroomrichting. Voor dit moment werd de werking van hevel en goot beëindigd en de vangsten geteld en gewogen. Daarna werden beide apparaten weer ingezet. Aldus werd de proef voortgezet tot de vroege ochtend (rond 7.00 h.) Deze eerste week leverde dus vergelijkende waarnemingen op waarbij zowel richting zoet als zout werd geheveld, en waarbij de positionering en ontwerp van de goot en hevel steeds exact hetzelfde waren.

Deze gegevens zijn in eerste instantie gebruikt om een indruk te krijgen van de variatie in de vangsten en of deze veranderden doordat nachten achtereenvolgende goot en hevel aanwezig waren. Er werden echter geen duidelijke aanwijzingen gevonden dat de vangsten of de verhouding in de vangsten van goot en hevel veranderden in de loop van deze eerste week van waarnemingen. Daarom is besloten dat het niet nodig was om vele nachten achtereenvolgende de metingen uit te voeren, ook omdat de inzet van vrijwilligers moeilijk realiseerbaar bleek bij een dergelijk inspannend monsterprogramma.

Vervolgens zijn om de twee weken twee nachten achtereenvolgende metingen uitgevoerd. Deze metingen werden alleen uitgevoerd tijdens hoogwater, wanneer de hevel in de juiste (zout naar zoet) richting stroomt. Hevel en goot waren aldus in werking van vóór 22.00 h tot rond 1.00 h. 's nachts. In één van deze nachten werden de metingen uitgevoerd, exact als in de eerste week. In de andere nacht werd de plaatsing of het ontwerp van de apparatuur gevarieerd, zoals hierboven besproken. Op deze manier bleef een analyse van seizoensinvloeden mogelijk (vaste opzet) en kon ook een indruk worden verkregen of het ontwerp of de plaatsing van de apparatuur kon worden verbeterd (variabele opzet). In totaal zijn aldus drie keer in achtereenvolgende nachten metingen verricht en zijn voor vier perioden data beschikbaar (4 dagen, 2 dagen, 2 dagen, 2 dagen).

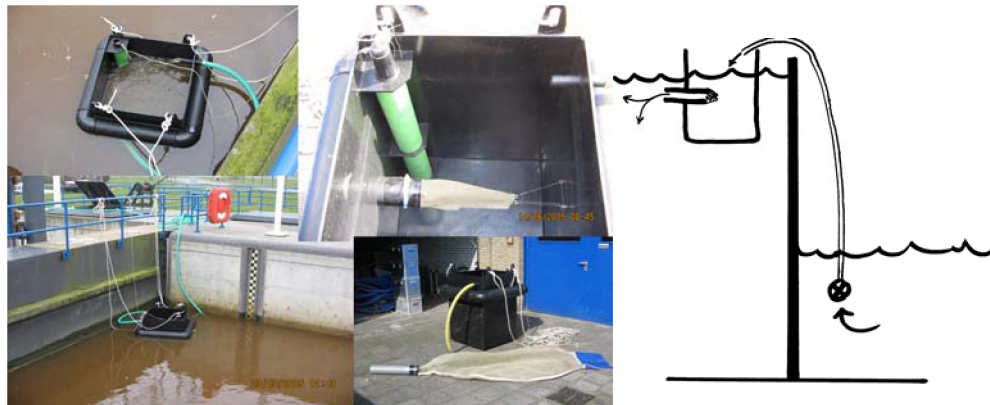


Figuur 12. Impressie van de hevel.

2.3.2 Aalgoot

De aalgoot bestond uit een kunststof bak voorzien van een drijflichaam. Een 110 mm PVC buis, voorzien van een klein fuikje, vormde de uitstroomopening en optrekmogelijkheid voor glasaal. Zoet water werd met een pomp uit het achterland naar de aalgoot gepompt en verliet deze bak als lokstroom via de voornoemde PVC buis. Deze uitstroomopening bevond zich op een diepte van zo'n 30 cm onder het wateroppervlak, ongeacht het tij. (Figuur 6, 13) De afstand van het intrekpunt tot de deur was 1-2 meter.

In tegenstelling tot de hevel is dit ontwerp niet gevarieerd. Wel is gevarieerd met de positie van de hevel voor de deur (dichtbij, verderaf, links, midden, rechts) en is het debiet incidenteel verhoogd. Deze variaties werden toegepast na de eerste week van vaste waarnemingen, zoals besproken bij de hevel.

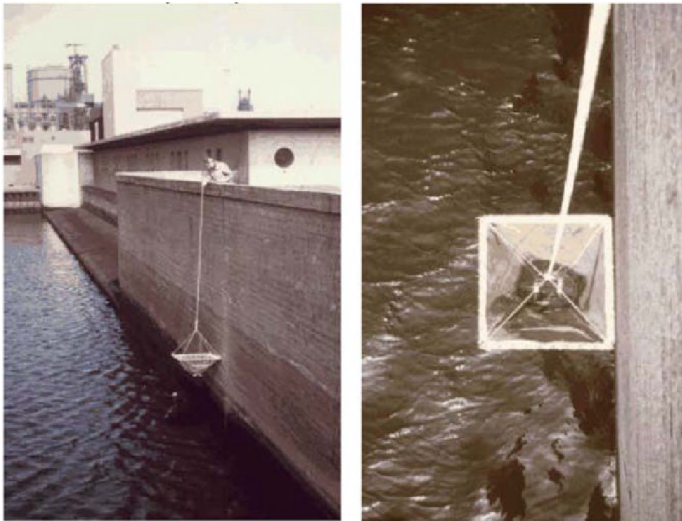


Figuur 13. Impressie van de aalgoot.

2.3.3 Kruisnet

Het kruisnet bestond een vierkant metalen frame van 1*1 m, waarin een ietwat conisch net was bevestigd, met een maaswijdte van 1*1 mm. Aan dit frame zijn op de hoeken vier lijnen gebonden die na een knoop, gezamenlijk naar boven lopen. In het midden van het net is een gewicht bevestigd (Figuur 6, 14).

Het net werd aan het touw naar beneden gelaten voor de sluis, totdat de bodem is bereikt. Na ongeveer 5 minuten werd het net handmatig opgehaald, met een snelheid van ongeveer 1 meter per seconde, waarna de vangst werd genoteerd. Deze procedure werd elk uur herhaald zolang aalgoot en hevel in werking waren.

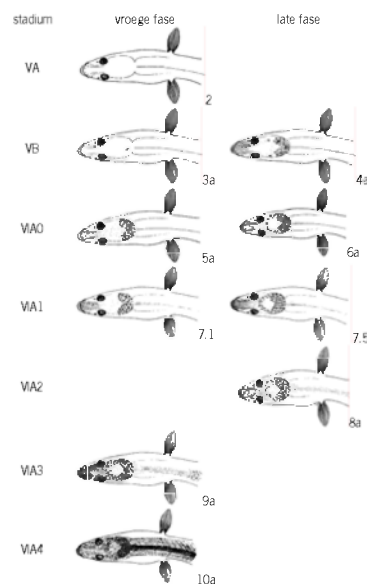


Figuur 14. Foto-Impressie van het kruisnet.

2.4 Behandeling van de vangsten

De gevangen vissen werden geteld en gemeten (totale lengte, mm). Wanneer de vangsten erg groot waren werd een subsample genomen. Wolhandkrabben werden alleen geteld. Van de bijgevangen Crustaceeën werd het volume bepaald en een monster genomen voor het bepalen van de soortsaanstelling later in het lab. De glasalen werden geteld en (deels) ingevroren. Later in het lab werden de lengtes en pigmentatiestadia van (een subsample van) deze glasalen bepaald. De pigmentatie werd bepaald zoals beschreven in (Elie, Lecomte-Finiger et al. 1982), vereenvoudigd naar de volgende 4 stadia:

1. VA
2. VB
3. VIA0, VIA1, VIA2
4. VIA3, VIA4



Figuur 15 Pigmentatie-stadia van glasaal, volgens (Elie, Lecomte-Finiger et al. 1982). Pigmentatie van de kop in rugaanzicht, in een vroege en een late fase van de onderscheiden stadia.

2.5 Opwerken data

Variantieanalyses en databewerkingen werden uitgevoerd in SAS. Een selectie criterium van “p=0.05” werd gebruikt om “significante” effecten van “niet-significante” effecten te onderscheiden, met gebruikmaking van de GLM-procedure (type III).

De verhouding in de aantallen vis in hevel en goot (HvG#) werd bepaald volgens:

$$HvG\#_{s,i} = \log_{10}(HEVEL\#_{s,i} + 1) - \log_{10}(GOOT\#_{s,i} + 1) \quad (a)$$

waarin:

- $HEVEL\#_{s,i}$ = vangst in aantallen vis van soort s in de hevel tijdens meting i
- $GOOT\#_{s,i}$ = vangst in aantallen vis van soort s in de goot tijdens meting i
- $HvG\#_{s,i}$ = verhouding in de vangsten in hevel en goot van soort s tijdens meting i

Deze vangsten zijn niet gecorrigeerd voor verschillen in meetperiode tussen verschillende avonden of locaties (tijdperiode waarin hevel en goot achtereenvolgens in werking waren). De reden hiervan was dat voor elke locatie en nacht, de hevel en goot een zelfde tijdperiode in werking waren. De voornoemde verhoudingsgetallen zijn daardoor goed vergelijkbaar, ondanks verschillen in meetperiode.

Vergelijkbare analyses zijn uitgevoerd m.b.t. de verhouding in de lengte en het pigmentatiestadium van glasalen, met dit verschil dat deze verhouding niet werd bepaald op basis van individuele metingen, maar op basis van alle glasalen gevangen per meetperiode (4 perioden totaal). De reden voor deze aggregatie is dat tijdens een aantal van de individuele metingen geen of slechts weinig glasalen werden gevangen en doorgemeten, met als gevolg een grote variatie in de voornoemde verhoudingsgetallen indien deze aggregatie niet werd uitgevoerd.

$$HvGI_{s,i} = \log_{10}(HEVELI_{s,i}) - \log_{10}(GOOTI_{s,i}) \quad (b)$$

waarin:

- $HEVELI_{s,i}$ = gemiddelde lengte van de vis van soort s in de hevel tijdens meetperiode i
- $GOOTI_{s,i}$ = gemiddelde lengte van de vis van soort s in de goot tijdens meetperiode i
- $HvGI_{s,i}$ = verhouding in de lengtes van de vis in hevel en goot van soort s tijdens meetperiode i

$$HvGp_i = \log_{10}(HEVELp_i) - \log_{10}(GOOTp_i) \quad (c)$$

waarin:

- $HEVELp_i$ = gemiddeld pigmentatiestadium van glasalen in de hevel tijdens meetperiode i
- $GOOTp_i$ = gemiddeld pigmentatiestadium van glasalen in de goot tijdens meetperiode i
- $HvGp_i$ = verhouding in het pigmentatiestadium van glasalen in hevel en goot tijdens meetperiode i

2.6 Duikwaarnemingen

Tijdens vier nachten is gedoken voor de sluisdeuren van de Bergse Diepsluis. Deze locatie is bij uitstek geschikt voor het doen van duikwaarnemingen, omdat het zicht over het algemeen goed is (enkele meters) en voldoende glasalen aanwezig waren tijdens de glasaaltrek.

Doel van deze duiken was een indruk te krijgen van het natuurlijke gedrag van de aal voor sluisdeuren. In het bijzonder waren we geïnteresseerd in hoeverre de glasaal gebruik wist te maken van kieren en gaten die altijd in sluisdeuren te vinden zijn. Van dit gedrag zijn ook video-opnamen gemaakt en foto's door Joris Geurts van Kessel. Een elektronische kopie van opnames is te verkrijgen door contact op te nemen met de eerste auteur van deze rapportage.

De duiken vonden plaats op 1 april 2005, 28 april 2005, 20 mei 2005 en 5 april 2006. De sluisdeuren waren op deze nachten gepositioneerd zoals tijdens het experiment en de vistrap was buiten werking. De aalgoot en de hevel waren die nachten niet aanwezig.

De duik van 1 april betrof een hoogwatersituatie. Het zoute water uit de Oosterschelde stond toen hoger dan in het zoete water in de kolk achter de sluisdeur. Doel van deze duik was om te bepalen in hoeverre de glasaal gebruik weet te maken van kieren in de deur.

De duik van 28 april betrof een laagwatersituatie. Op dat moment stond het zoete water in de kolk hoger dan het zoute water van de Oosterschelde. Doel van deze duik was om te bepalen hoe de glasalen gebruik weet te maken van zoete lokstromen en of zij ook tegen deze lokstromen in het achterland wisten te bereiken.

De duik van 20 mei betrof een nachtduik van ruim een uur, op een moment halverwege het tij: Aan het begin van de duik was het water in de Oosterschelde lager dan in de kolk. Aan het einde van de duik was het water in de Oosterschelde hoger dan in de kolk. Specifiek doel van deze duik was om te kijken in hoeverre de glasaal in staat was om gebruik te maken van kieren in de deur in een situatie waarbij op het ene moment lokstroompjes aanwezig waren, maar met een te grote stroomsnelheid om tegenin te kunnen zwemmen, en waarbij op het andere moment de stroomrichting door die kieren omkeerde en de glasaal met de stroom mee het zoete water van de kolk kon bereiken. Aandachtspunten waren of de glasaal zich ophoopte voor deze kieren of door de kieren en tegen de stroom in wist te zwemmen, met name rond het moment voor het omslagpunt wanneer de stroomsnelheden door de kieren minimaal waren.

De duik van 5 april betrof een nachtduik van 1 uur en drie kwartier, op een moment halverwege het tij: Aan het begin van de duik was het water in de Oosterschelde hoger dan in de kolk. Aan het einde van de duik was het water in de Oosterschelde lager dan in de kolk. Specifiek doel van deze duik was om te kijken hoe de glasaal reageerde op de aalgoot en hevel.

3 Resultaten

In totaal zijn 25 waarnemingen gedaan aan hevel en de goot in de periode 4 april - 20 mei, gedurende 20 nachten. 13 van deze waarnemingen hadden betrekking op Nieuwe Statenzijl (10 laagwatersituaties, 3 hoogwatersituaties), 12 hadden betrekking op de Bergse Diepsluis (10 laagwatersituaties, 2 hoogwatersituaties).

3.1 Vangsten

Tabel 1 geeft een overzicht van de totale vangsten in kruisnet, aalgoot en hevel bij Nieuwe Statenzijl en de Bergse Diepsluis. Bij Nieuwe Statenzijl werd een veel groter aantal vissoorten gevangen en in grotere aantallen dan bij de Bergse Diepsluis, en dan met name in de hevel. Niet alleen glasaal en stekelbaars werden gevangen, maar ook andere vissoorten, waaronder zowel zoutwatersoorten als zoetwatersoorten, en kreeftachtigen.

Tabel 1. Overzicht van de totale vangsten in kruisnet, aalgoot en hevel bij Nieuwe Statenzijl en de Bergse Diepsluis.

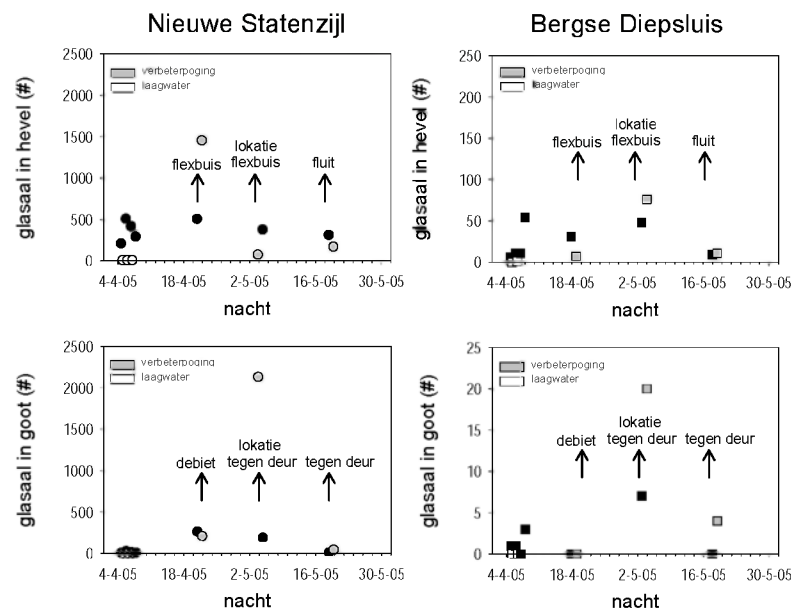
soort	Nieuwe Statenzijl		Bergse Diepsluis			
	goot	hevel	kruisnet	goot	hevel	kruisnet
glasaal (#)	2872	4317	354	36	265	117
stekelbaars (#)	433	1431	1508		1	
wolhandkrab (#)		2606	249			12
gepigmenteerde aal (#)	2	70	2		1	
brakwatergrondel (#)		13				
pos (#)		13	1			
zeenaald (#)		8				
botlarve (#)		4				
spiering (#)		2	5			
baars (#)		1				
blankvoorn (#)		1	2			
kreeftachtigen (l)		140				
bot (#)			20			
brasem (#)			1			
strandkrab (#)			1		1	9
ribkwal (l)					0,8	

Tabel 2 en Figuur 16 geven een overzicht van de aantallen glasalen en stekelbaarzen op beide locaties, in aalgoot en hevel. Duidelijk is dat bij de Bergse diepsluis minder glasalen zijn gevangen dan bij Nieuwe Statenzijl (resp. 7189 en 301) en dat in de hevel meer werd gevangen dan in de goot (resp. 4582 en 2908; ratio = 1.6 : 1). In slechts één enkel geval werd in de goot meer glasaal gevangen dan in de hevel (3 mei, Nieuwe Statenzijl). De achtergrond hiervan bleef onduidelijk (hierover later meer). Als we deze ene unieke waarneming weglaten dan zijn er in de hevel in totaal 4510 glasalen gevangen en in de goot 780 (ratio = 5.8 : 1). Tijdens laagwater werden in de goot nooit glasalen gevangen en in de hevel slechts enkele (16 in totaal).

Bij Nieuwe Statenzijl zijn meer stekelbaarzen gevangen dan bij de Bergse Diepsluis (resp. 1864 en 1). Deze stekelbaarzen zaten meer in de hevel dan in de goot (resp. 1432 en 433). Tijdens laagwater werden slechts enkele stekelbaarzen gevangen (0 in de goot en 3 in de hevel).

Tabel 2. Overzicht van de vangsten van glasaal en stekelbaarzen in hevel en goot bij Nieuwe Statenzijl en de Bergse Diepsluis. S: standaard opstelling; zout: laagwater, hevel stroomt naar zee; E: uitvoering/opstelling van hevel en goot gevarieerd.

Nieuwe Statenzijl						Bergse Diepsluis					
	glasaal	stekelbaars					glasaal	stekelbaars			
datum	hevel	goot	hevel	goot	meting	datum	hevel	goot	hevel	goot	meting
4-apr-05	208	2	83	0	S	4-apr-05	6	1	0	0	S
5-apr-05	6	0	0	0	zout	5-apr-05	0	0	0	0	zout
5-apr-05	506	24	347	7	S	6-apr-05	11	1	0	0	S
6-apr-05	5	0	1	0	zout	6-apr-05	1	0	0	0	zout
6-apr-05	416	10	296	1	S	7-apr-05	11	0	0	0	S
7-apr-05	5	0	2	0	zout	8-apr-05	54	3	0	0	S
7-apr-05	289	5	104	0	S	17-apr-05	31	0	0	0	S
20-apr-05	504	262	396	2	S	18-apr-05	7	0	0	0	E
21-apr-05	1452	206	198	313	E	2-mei-05	48	7	0	0	S
3-mei-05	72	2128	4	110	E	3-mei-05	76	20	1	0	E
4-mei-05	376	186	0	0	S	17-mei-05	9	0	0	0	S
18-mei-05	311	7	0	0	S	18-mei-05	11	4	0	0	E
19-mei-05	168	42	0	0	E						
totaal	4317	2872	1431	433		totaal	265	36	1	0	



Figuur 16. Aantallen glasaal in hevel en goot bij de Bergse Diepsluis en Nieuwe Statenzijl, voorjaar 2005. Aangegeven zijn de standaard waarnemingen en de waarnemingen waarbij het ontwerp of de uitvoering van de apparatuur is gevarieerd:

fluit = meerdere kleinere aanzuigopeningen in de hevel i.p.v. een enkele grote

lokatie = hevel en goot op een andere plek voor de sluisdeur gepositioneerd

debiet = verdubbeling van het debiet van de lokstroom uit de goot

tegen deur = opening van goot en hevel direct tegen de deur (ongeveer 30 cm afstand).

3.2 Aalgoot versus Hevel, aantallen glasaal

Voor Nieuwe Statenzijl en de Bergse Diepsluis waren de verhoudingen in de vangsten van glasaal in goot en hevel vergelijkbaar (Figuur 17), en varieerden niet met het seizoen (julian daynummer), ondanks duidelijke verschillen in gevangen glasalen (zie Figuur 1 en Tabel 2). Statistische analyses ondersteunen deze conclusie:

Statistische analyse van HvG op basis van alle data, d.w.z. inclusief verbeterpogingen en laagwatermetingen lieten zien dat HvG significant positief was met een gemiddelde van 0.8 ($n=25$; $sd=0.68$; $t=5.9$; $p > t < 0.0001$). D.w.z. dat er zes keer meer glasalen in de hevel zaten dan in de goot. Locatie- en seizoenseffecten waren niet-significant:

- model: $HvG = F(\text{locatie}, \text{seizoen}, \text{locatie} \times \text{seizoen})$
- $n=25$, $r^2=0.12$, $p=0.42$
- effect locatie: $F_{21}^1=1.56$, $p=0.22$
- effect seizoen: $F_{21}^1=1.17$, $p=0.29$
- effect locatie* seizoen: $F_{21}^1=1.47$, $p=0.24$

Statistische analyse van HvG op basis van alle data, exclusief de laagwatermetingen lieten zien dat HvG significant positief was met een gemiddelde van 0.9 ($n=20$; $sd=0.73$; $t=5.3$; $p < 0.0001$). D.w.z. dat er 8 keer meer glasalen in de hevel zaten dan in de goot. Locatie- en seizoenseffecten waren niet-significant:

- model: $HvG = F(\text{locatie}, \text{seizoen}, \text{locatie} \times \text{seizoen})$
- $n=20$, $r^2=0.18$, $p=0.35$
- effect locatie: $F_{16}^1=0.85$, $p=0.37$
- effect seizoen: $F_{16}^1=2.52$, $p=0.13$
- effect locatie* seizoen: $F_{16}^1=0.87$, $p=0.37$

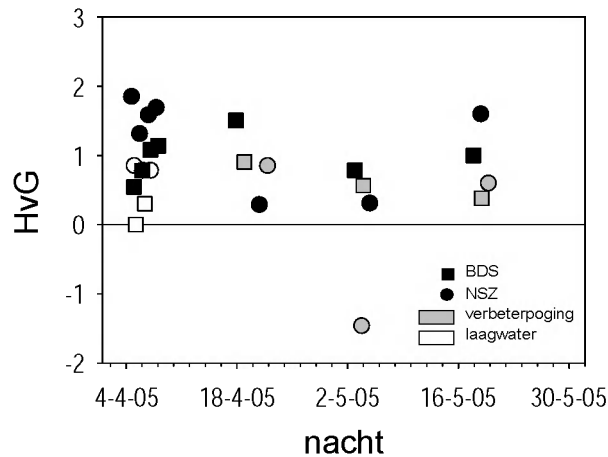
Statistische analyse van HvG op basis van alle data, exclusief de laagwatermetingen en de mogelijke "outlier" van 3 mei bij Nieuwe Statenzijl lieten zien dat HvG significant positief was met een gemiddelde van 1.0 ($n=19$; $sd=0.49$; $t=8.8$; $p < 0.0001$). D.w.z. dat er 10 keer meer glasalen in de hevel zaten dan in de goot. Locatie- en seizoenseffecten waren niet-significant:

- model: $HvG = F(\text{locatie}, \text{seizoen}, \text{locatie} \times \text{seizoen})$
- $n=19$, $r^2=0.25$, $p=0.23$
- effect locatie: $F_{15}^1=0.78$, $p=0.39$
- effect seizoen: $F_{15}^1=2.98$, $p=0.10$
- effect locatie* seizoen: $F_{15}^1=0.53$, $p=0.48$

Statistische analyse van HvG op basis van alle data, exclusief de laagwatermetingen en alle verbeterpogingen lieten zien dat HvG significant positief was met een gemiddelde van 1.1 ($n=14$; $sd=0.51$; $t=8.07$; $p < 0.0001$). D.w.z. dat er 13 keer meer glasalen in de hevel zaten dan in de goot. Locatie- en seizoenseffecten waren niet-significant:

- model: $HvG = F(\text{locatie}, \text{dagnummer}, \text{locatie} \times \text{dagnummer})$
- $n=14$, $r^2=0.17$, $p=0.59$
- effect locatie: $F_{10}^1=0.96$, $p=0.35$
- effect seizoen: $F_{10}^1=0.41$, $p=0.53$
- effect locatie* seizoen: $F_{10}^1=0.74$, $p=0.41$

De "verbeterpogingen" lijken verder weinig succes te hebben gehad in die zin dat de vangsten in de goot of de hevel duidelijk verbeterden als gevolg van de aanpassingen, met als uitzondering een enkele waarneming bij Nieuwe Statenzijl. Er zijn toen 2128 glasalen gevangen in de goot en 72 in de hevel. Dit betrof een situatie waarbij aalgoot en hevel op een andere locatie voor de deur waren gepositioneerd en waarbij de openingen van beide apparaten zo dicht mogelijk tegen de deur waren geplaatst. Omdat door de duikobservaties het vermoeden bestond dat dit resultaat vooral voortkwam uit de positionering van de goot dicht tegen de deur en niet zozeer doordat de goot nu links van de sluisdeur stond i.p.v. rechts, is in de volgende periode deze positionering dicht tegen de deur herhaald maar werden de aalgoot en hevel verder opgesteld zoals bij de standaard metingen gebruikelijk was. Vergelijkbare resultaten bleven echter uit. Het blijft daarmee onduidelijk of dit resultaat is bepaald door de positionering van de apparatuur op een heel specifieke locatie dicht tegen de sluisdeur of natuurlijke variatie en toeval.

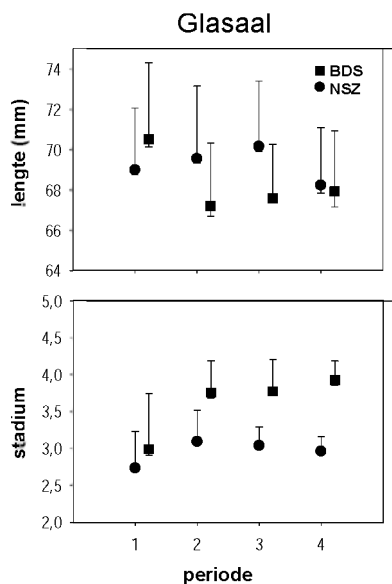


Figuur 17. Verhouding in de aantallen glasalen in hevel versus goot, met:
 $HvG = \log_{10}(\text{aantallen in hevel} + 1) - \log_{10}(\text{aantallen in goot} + 1)$

3.3 Trends in lengte en ontwikkelingsstadium

3.3.1 Glasaal

De lengtes en de ontwikkelingsstadia van de glasalen varieerden significant met de meetperiode en de locatie (zie Figuur 18). Deze figuur laat tevens zien dat zowel bij Nieuwe Statenzijl als bij de Bergse Diepsluis later in het seizoen kleinere glasalen zijn gevangen. Bij Nieuwe Statenzijl lijkt dit later op te treden dan bij de Bergse Diepsluis: Bij de Bergse Diepsluis zijn al na de eerste periode kleinere glasalen gevangen; bij Nieuwe Statenzijl pas na de derde meetperiode. Het ontwikkelingsstadium van de glasaal lijkt bij zowel de Bergse Diepsluis als bij Nieuwe Statenzijl aan het begin van het meetseizoen snel toe te nemen maar dan constant te blijven.



Figuur 18. Lengte en ontwikkelingsstadium van glasaal bij de Bergse Diepsluis en Nieuwe Statenzijl (Gemiddelde, sd & se).

Er zijn geen duidelijke aanwijzingen gevonden dat de glasalen in de goot groter of kleiner waren dan die in de hevel: Na correctie voor de meetperiode en locatie was er geen significant effect meer van "apparaat" m.b.t. de lengte ($n=948$, $F_{1939}=0.01$, $p=0.94$).

Er waren wel aanwijzingen dat de glasalen in de goot een later ontwikkelingsstadium hadden dan in de hevel: Na correctie voor de meetperiode en de locatie was er een significant effect van "apparaat" ($n=948$, $F_{1939}=4.24$, $p=0.04$). Het gemiddelde verschil in ontwikkelingsstadium tussen goot en hevel was 0.08.

Er zijn geen duidelijke aanwijzingen gevonden dat HvGI of HvGs varieerde over het meetseizoen:

- model: HvGI = $F(\text{locatie, periode (continue variabele), locatie*periode})$
- $n=7$, $r^2=0.45$, $p=0.56$
- effect locatie: $F^1_3=0.23$, $p=0.67$
- effect periode: $F^1_3=0.01$, $p=0.94$
- effect locatie* periode: $F^1_3=0.04$, $p=0.86$

- model: HvGs = $F(\text{locatie, periode (continue variabele), locatie*periode})$
- $n=7$, $r^2=0.26$, $p=0.79$
- effect locatie: $F^1_3=0.76$, $p=0.11$
- effect periode: $F^1_3=0.41$, $p=0.92$
- effect locatie* periode: $F^1_3=0.76$, $p=0.11$

3.3.2 Stekelbaars

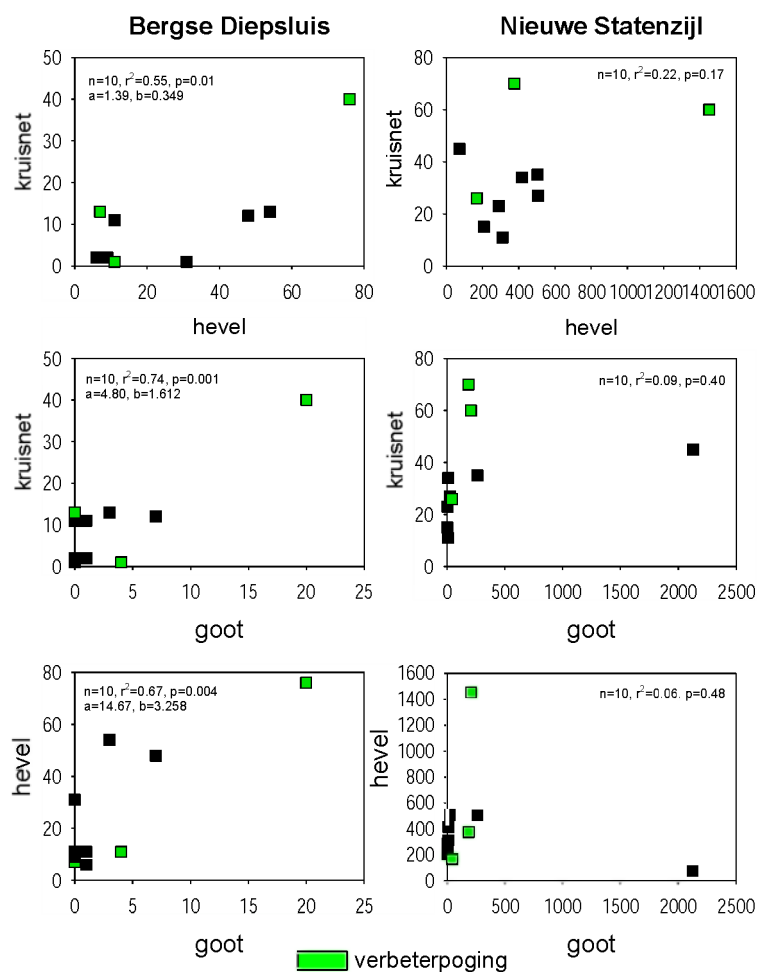
Stekelbaarzen zijn alleen in voldoende aantallen gevangen voor nadere analyse bij Nieuwe Statenzijl. Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat deze stekelbaarzen groter of kleiner waren later in het seizoen, of dat in de goot stekelbaarzen werden gevangen met lengtes anders dan in de goot:

- model: lengte = $F(\text{periode, apparaat, apparaat*periode})$
- $n=248$, $r^2=0.02$, $p=0.17$
- effect apparaat: $F^1_{244}=0.19$, $p=0.66$
- effect periode: $F^1_{244}=2.33$, $p=0.13$
- effect apparaat* periode: $F^1_{244}=0.16$, $p=0.69$

3.4 Kruisnet versus aalgoot & hevel

3.4.1 Glasaal

Wanneer we de analyses beperken tot de hoogwater-waarnemingen dan blijken de totale aantallen glasalen in kruisnet, goot en hevel bij de Bergse Diepsluis significant te correleren. Voor Nieuwe Statenzijl bleken deze correlaties niet significant. (zie Figuur 19)

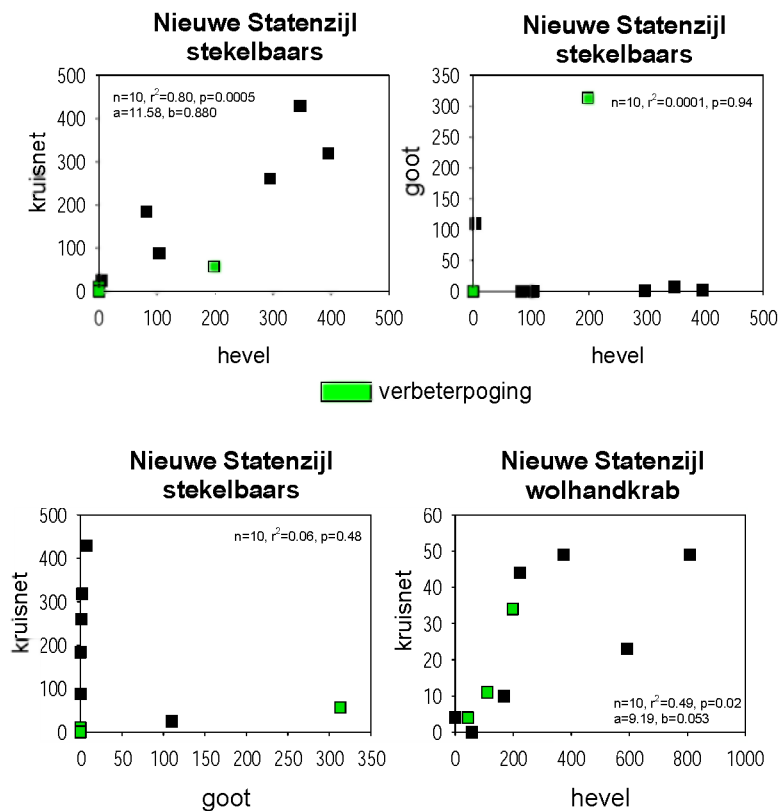


Figuur 19. Aantallen glasalen in Goot, Hevel en Kruisnet bij Nieuwe Statenzijl en de Bergse Diepsluis (hoogwater).

3.4.2 Stekelbaars, wolhandkrab

Bij de Bergse Diepsluis zijn te weinig stekelbaarzen gevangen voor zinnige analyse. Wanneer we de analyses beperken tot de hoogwater-waarnemingen bij Nieuwe Statenzijl, dan blijken de aantallen stekelbaarzen in het kruisnet positief gecorreleerd met die van de hevel. Goot en kruisnet waren niet significant gecorreleerd, goot en hevel evenmin. (zie Figuur 20)

Wolhandkrabben werden bij Nieuwe Statenzijl alleen gevangen in het kruisnet en de hevel, bij de Bergse Diepsluis alleen in het kruisnet (12 stuks). Wanneer we de analyses beperken tot de hoogwater-waarnemingen met hevel en kruisnet bij Nieuwe Statenzijl, dan blijken de aantallen wolhandkrabben in het kruisnet positief gecorreleerd met die van de hevel. (zie Figuur 20)

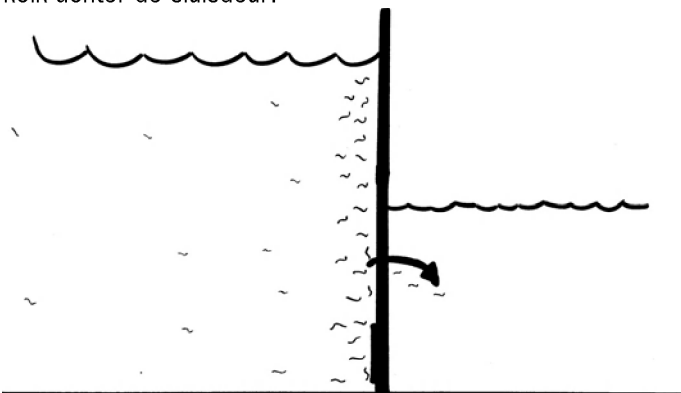


Figuur 20. Aantallen stekelbaarsen en wolhandkrabben in Goot, Hevel en Kruisnet bij Nieuwe Statenzijl (hoogwater).

3.5 Duikwaarnemingen

3.5.1 Hoogwater

Figuur 21 geeft een samenvatting van de situatie zoals die werd aangetroffen tijdens de hoogwaterduik van 1 april 2005. Er is gedoken na het invallen van de schemer tot ruim 2 uur daarna. Het zoute water uit de Oosterschelde stond toen hoger dan in het zoete water in de kolk achter de sluisdeur.



Figuur 21. Schematische weergave van glasaal voor de Bergse Diepsluis tijdens hoogwater. Oosterschelde/zout: links; kolk/zoet: rechts. De deur/rinketten werden in hun sponningen gedrukt waardoor kieren minimaal aanwezig waren; glasaal trok in groten getale door twee ronde gaten van ongeveer 7 cm.

Glasaal was in grote aantallen aanwezig: In de meter direct voor de deur in dichtheden van naar schatting 10 per m². Deze glasalen leken gelijkmatig over de waterkolom verdeeld. De glasaaldichtheden namen sterk af met de afstand tot de deur: 1 per 10 m² op een afstand van 10-20 meter, verder weg werd slechts incidenteel glasaal waargenomen. De zwemrichting van de glasalen direct voor de deur leek willekeurig. Het geheel deed daarmee vooral denken aan een zwerm vliegen rond een lamp in de nacht.

Doordat de rinketten en de sluisdeur op dat moment met kracht in hun sponningen werden gedrukt waren kieren slechts minimaal aanwezig. Glasalen konden daardoor de kolk slecht bereiken. Desondanks zijn meerder glasalen waargenomen die gebruik wisten te maken van kieren die nauwelijks groter waren dan hun eigen doorsnede om de kolk te bereiken: Door actief met de stroom mee te zwemmen wisten zij zich door deze kieren te persen.

Grote aantallen glasalen wisten de kolk te bereiken door twee ronde openingen (ongeveer 7 cm doorsnede) bovenin de sponningen van de rinketten. Hiervan zijn ook filmopnamen beschikbaar. Op deze film is te zien dat per minuut een zestal glasalen en 10-15 aasgarnalen de kolk wisten te bereiken (Figuur 22).



Figuur 22. Intrekkende glasaal bij de Bergse Diepsluis (hoogwater, 1-4-2005).

In eerste instantie was onduidelijk wat de functie was van deze gaten. De reservedeur die bij de Bergse Diepsluis stond liet zien dat ook bij deze deur dergelijke gaten aanwezig waren. Echter, bij de reservedeur waren deze gaten gedicht met houten peggen. Kennelijk zijn deze gaten het resultaat van het normale productieproces van de deur, maar worden ze later provisorisch afgedicht om zoutbelasting te voorkomen. Bij de deur in de kolk zijn de houten peggen schijnbaar verloren gegaan, uitgespoeld of weggerot: een buitenkans voor onze proefopzet, zo bleek.

Glasalen die binnen de invloedssfeer van de voornoemde gaten kwamen werden meegezogen naar de kolk. Het aantal glasalen dat de kolk achter de sluisdeur wist te bereiken leek daarbij minder bepaald te worden door het totale debiet dat door de opening ging, dan door het eigen zwemgedrag voor de deur en die bepalend is voor de kans om voor een van de openingen terecht te komen.

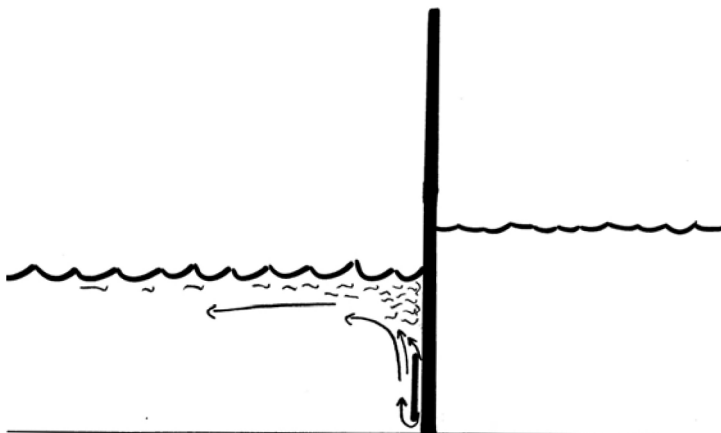
Vrijwel alle glasalen gingen door de openingen met de staart eerst (zie ook Figuur 22). Deze oriëntatie was duidelijk het resultaat van actief zwemgedrag. Incidenteel vertoonden glasalen plotseling en heftig zwemgedrag weg van de opening. Dit leken vooral glasalen die vrij abrupt waren overvallen door de aanzuigende werking. Al met al levert dit de indruk op dat de glasaal zich bewust met de stroom mee laat voeren.

3.5.2 Laagwater

Figuur 23 geeft een samenvatting van de situatie zoals die werd aangetroffen tijdens de laagwaterduik van 28 april 2005. Er werd gedoken vanaf de schemer tot 2 uur daarna.

Op dat moment stond het zoete water in de kolk hoger dan het zoute water van de Oosterschelde. De deur en de rinketten werden dan enigszins uit hun sponningen gedrukt, met als gevolg een aanzienlijke lokstroom van zoet water die zich direct voor de deur naar het bovenste deel van de waterkolom begaf en vandaar de Oosterschelde op stroomde.

Bij aanvang van de duik waren nauwelijks glasalen aanwezig. Met het invallen van het duister werden echter tientallen glasalen waargenomen die tegen de zoete lokstroom in naar de sluisdeur zwommen, in de bovenste halve meter van de waterkolom. Aldaar aangekomen hoopten de glasalen zich op direct voor de deur, op afstanden van veelal minder dan een halve meter en in de bovenste halve meter van de waterkolom, in dichtheden tot enkele tientallen per m^3 . Herhaaldelijk zijn individuele glasalen waargenomen die trachtten tegen de lokstromen in en door de kieren van deur en rinketten de kolk te bereiken. Nooit is waargenomen dat dit lukte, omdat de stroming in de kieren te groot was om tegenin te zwemmen. Een tweetal zeedonderpaden predeerden op de glasaal die zich in de bovenste halve meter direct voor de deur bevonden.



Figuur 23. Schematische weergave van glasaal voor de Bergse Diepsluis tijdens laagwater. Oosterschelde/zout: links; kolk/zoet: rechts; De deur/rinketten werden uit hun sponningen gedrukt waardoor kieren en lokstroom aanwezig waren; glasaal trok niet naar binnen door te grote stroomsnelheden in de kieren.

3.5.3 Overgang hoogwater-laagwater

Omdat bij de voorgaande twee duiken opvallende verschillen zijn waargenomen in het gedrag en de verdeling van de glasaal voor de sluisdeuren is een derde duik uitgevoerd rond het omslagpunt van laag naar hoogwater.

Deze duik is uitgevoerd op 20 mei 2005 en betrof een nachtduik van ruim een uur, op een moment halverwege het tij: Aan het begin van de duik was het water in de Oosterschelde lager dan in de kolk. Aan het einde van de duik was het water in de Oosterschelde hoger dan in de kolk. Omdat de glasaalintrek sterk aan het afnemen was zijn duidelijk minder glasalen waargenomen dan in de voorgaande duiken (een tiental versus vele honderden).

Aan het begin van de duik was de situatie verder vergelijkbaar met de laagwatersituatie hierboven en het latere deel van de duik met de voornoemde hoogwatersituatie. Opvallend was de snelle overgang tussen deze twee situaties: Op het ene moment werd zoetwater met kracht door de kieren geperst, waarna in een oogwenk de situatie omkeerde. Dit betekent dat de tijdperiode waarin glasalen tegen een verzwakte zoetwaterlokstroom in naar de kolk zouden kunnen zwemmen, erg kort was (enkele seconden - ruim binnen 1 minuut). Er zijn geen glasalen waargenomen die tegen de lokstroom in zwommen. Wel zijn enkele glasalen waargenomen die met de stroom mee de kolk wisten te bereiken.

3.5.4 Gedrag voor aalgoot en hevel

Op 5 april 2006 is een duik uitgevoerd om het gedrag te bestuderen van de glasaal voor de aalgoot en de hevel. Dit betrof een nachtduik van 1 uur en drie kwartier, op een moment halverwege het tij: Aan het begin van de duik was het water in de Oosterschelde hoger dan in de kolk. Aan het einde van de duik was het water in de Oosterschelde lager dan in de kolk.

De glasaaltrek was op dat moment nog maar net op gang gekomen, omdat de watertemperaturen erg laag waren dat voorjaar. Het zicht was vrij slecht (1-2 meter maximaal) in vergelijking met de voorgaande duiken. Er werden dan ook slechts een gering aantal glasalen aangetroffen (een vijftigtal), die zich vooral direct voor de sluisdeuren bevonden. Een vijftal glasalen zijn waargenomen direct voor de opening van de aalgoot. Geen van deze glasalen leek te reageren op de lokstroom, ondanks dat deze glasalen op een gegeven duidelijk door de lokstroom heen zwommen. Er werden dan ook geen glasalen met de aalgoot gevangen. Er zijn geen glasalen waargenomen voor de opening van de hevel. De afstand van de hevelopening tot de deur kan hierbij een rol hebben gespeeld (1 meter). Er werden geen glasalen in de hevel gevangen.

4 Discussie

4.1 Belangrijkste bevindingen

De duikwaarnemingen suggereren dat glasalen voor de sluisdeuren terechtkomen door een combinatie van actief opzwemgedrag, lokstromen, meezwemgedrag en mogelijk selectief getijtransport. Een getijstroom voor de sluisdeur of selectief getijtransport, in die zin dat glasaal bij hoogwater meer glasalen in de waterkolom aanwezig waren en bij laagwater meer aan de bodem, is niet waargenomen. Mogelijk dat dit gedrag verder op zee een rol speelt. Het gedrag voor de sluisdeuren en de doortrek was echter wel degelijk actief en afhankelijk van het tij:

- Bij laagwater concentreerde de glasaal zich in de bovenste halve meter van de waterkolom direct voor de sluisdeuren (< 1 m), als gevolg van zoetwaterlokstromen uit de kieren van het sluiscomplex. Echter, de stroomsnelheden in deze kieren waren dan te groot om doortrek mogelijk te maken.
- Bij hoogwater concentreerde de glasaal zich direct voor de deur van het sluiscomplex (< 1 m), verspreid over de waterkolom. Grote aantallen glasalen wisten dan door kieren met de stroom mee het achterland te bereiken.
- De omslag van deze laagwatersituatie naar de hoogwatersituatie lijkt vrij abrupt plaats te vinden: Een lekstroom door de kieren van het sluiscomplex waartegen glasaal het achterland wist te bereiken is niet waargenomen.

Dit betekent dat in een situatie met een gesloten sluis, glasaal tijdens laagwater nauwelijks tegen de zoetwaterstroom in het achterland zal bereiken, ondanks lekken en kieren. Bij hoogwater zal glasaal het achterland goed weten te bereiken, zelfs als alleen kleine kieren beschikbaar zijn.

De duikwaarnemingen suggereren dat deze intrek niet zozeer door het debiet door deze kieren wordt bepaald, maar meer door actief zwemgedrag van de alen voor de deur. Dit zwemgedrag bepaalt immers de kans dat een glasaal in de invloedssfeer van een kier komt. Dit betekent dat de intrek mogelijk is te verbeteren met behulp van relatief kleine openingen in en rond sluisdeuren, of een hevelsysteem, waardoor de glasaal bij hoogwater kan intrekken. Grotere openingen lijken niet nodig, wat gunstig kan zijn in situaties waar zoutbezwaren een rol spelen. De hypothese, dat een groter aantal kleinere openingen beter werkt dan een enkele grote, werd echter niet bevestigd door de hevelwaarnemingen: De vangsten met de “fluit” leken niet substantieel groter dan die met de standaard hevel.

Verder is in een enkel geval een school van enkele tientallen glasalen direct voor de opening van de goot waargenomen, die toch niet dit apparaat binnentrokken. De stroomsnelheden in de goot leken laag genoeg om opzwemgedrag mogelijk te maken. (Er zijn die nacht ook glasalen in de goot gevangen.) Onduidelijk was waarom deze glasaal niet de goot inzwom op dat moment, anders dan dat glasaal vooral meezwemgedrag wil vertonen, i.p.v. opzwemgedrag (zie ook: (Dekker and van Willigen 2000)): Als glasaal voor een zoete lokstroom afwacht tot het tij weer keert kunnen ze zonder moeite het achterland bereiken door met de stroom mee te zwemmen. Het is mogelijk dat glasaal hierop anticipeert.

Opgemerkt moet worden dat de lokstroom vanuit de aalgoot juist bij hoogwater veel duidelijker aanwezig was dan bij laagwater, omdat bij laagwater omvangrijke andere lokstromen via rinketten en kieren aanwezig zijn. Bij hoogwater was geen andere lokstroom aanwezig en het water verder ook niet waarneembaar gestratificeerd. Dit betekent dat als lokstromen belangrijk zijn, de aalgoot juist bij hoogwater beter zou moeten werken dan de hevel, die immers op dat moment geen lokstroom genereert. Het feit dat de hevel toch beter werkt (8-10 keer)

onderstreept hoe gemakkelijk het is om glasaal in te laten trekken door het aanbieden van mogelijkheden die appelleren aan meezwemgedrag.

Samengevat geven deze resultaten het beeld dat glasaal effectief weet op te trekken naar het zoete water tijdens hoogwater door gaten en kieren in sluisdeuren en meezwemgedrag. Opzwemgedrag en lokstromen tijdens laagwater blijken in dit experiment nauwelijks glasaal op te laten trekken. Vispassages gebaseerd op meezwemgedrag (hevel) zijn daardoor effectiever dan vispassages gebaseerd op lokstromen en opzwemgedrag (aalgoot).

Deze conclusies lijken ook te worden ondersteund door waarnemingen bij de Prommelsuis op 7 april 2006, uitgevoerd in het kader van een ander project. Tijdens deze nacht is een hevel aangelegd over de zeedijk (75 m buis met een binnendiameter van 4 cm) naast de daar bestaande aalgoot die continu wordt bediend door het Waterschap Zeeuwse Eilanden. Op dit moment waren nog nauwelijks glasalen aanwezig, omdat het koude voorjaar de intrek had verlaat. Desondanks werden in deze hevel in een periode van 3,5 uur 3 glasalen en 40 stekelbaarzen gevangen. In de aalgoot echter, werd deze nacht geen enkele glasaal aangetroffen: pas na half april werden de eerste glasalen in deze goot aangetroffen.

4.2 Ander ontwerp, andere uitkomsten?

Er zijn geen duidelijke aanwijzingen gevonden dat de performance van de hevel ten opzichte van de goot afhankelijk was van de locatie (Bergse Diep, Nieuwe Statenzijl). Verder zijn er geen duidelijke aanwijzingen gevonden dat variaties in het ontwerp van de hevel en de goot (flexbuis, fluit, debiet, positionering) grote effecten hadden op de performance van de hevel ten opzichte van de goot. De resultaten laten daarmee vooral zien dat ondanks alle variatie in ontwerp, gebruik en positionering het relatief eenvoudiger is om grotere aantallen glasalen via een hevelsysteem het achterland te laten bereiken dan via een aalgoot.

Hierbij moet wel de kanttekening geplaatst worden dat de mogelijkheid om het ontwerp van de hevel en de goot te variëren beperkt was en dat een aantal waarnemingen suggereren dat zowel de gootvangsten als de hevelvangsten te verbeteren zijn:

Op de duikwaarnemingen baseren wij het vermoeden dat de hevel te verbeteren is door de zuigopening dichter tegen de deur te positioneren dan met de huidige apparatuur mogelijk was: Zelfs met de flexbuis bleven we op vaak meer dan 1 meter afstand van de deur, wat mogelijk al te ver is. Dit vermoeden is vooral gebaseerd op de aantallen glasalen die direct voor de deur van de Bergse Diepsluis werden gezien tijdens de duikwaarnemingen en waarbij grote aantallen glasalen door de openingen bij de rinketten de kolk van de Bergse Diepsluis wisten te bereiken. Gezien deze waarnemingen hadden we meer glasalen in de goot verwacht.

In een enkel geval is voor de deur van Nieuwe Statenzijl veel meer glasaal gevangen in de goot dan in de hevel. De opening van de goot was toen direct voor de deur gepositioneerd, wat ook weer suggereert dat de positionering van de apparatuur op specifieke plekken direct voor de deur belangrijk is. Dit resultaat hebben we echter niet kunnen herhalen.

Verdere optimalisatie van zowel de hevel als de goot lijken dus mogelijk. Hierbij kan gedacht worden aan ontwerpvarianties met meerdere kleinere instroomopeningen in de hevel, een nog dichtere positionering van de apparatuur tegen de sluisdeuren, en het gebruik van licht en zoetwaterstromen om glasaal te lokken in combinatie met een hevelsysteem. Directe duikwaarnemingen aan de hevel en goot in werking zouden hierbij vooral effectief kunnen zijn, i.p.v. een benadering op basis van trial and error en vangsten in goot en hevel.

4.3 Seizoenseffecten

Er zijn geen duidelijke aanwijzingen gevonden dat de performance van de hevel ten opzichte van de goot afhankelijk was van het intrekseizoen (vroeg, laat). Wel lijken de glasalen later in het seizoen kleiner van stuk te zijn dan eerder in het seizoen. Bij de Bergse Diepsluis lijkt deze trend naar kleinere glasalen zich eerder voor te doen dan bij Nieuwe Statenzijl. Verder lijken de glasalen later in het seizoen van een later ontwikkelingsstadium en lijken de glasalen bij de Bergse Diepsluis van een later ontwikkelingsstadium zijn dan bij Nieuwe Statenzijl.

Verscheidene andere auteurs vermelden een vergelijkbaar seizoenspatroon in de waargenomen glasaallengtes (Heldt and Heldt 1929; Tesch 1977; Dekker 1998) en het ontwikkelingsstadium (Tesch 1977). De oorzaak van deze seizoenspatronen zou kunnen liggen bij verschillen in tijdstip van aankomst voor de Nederlandse kust en de duur van het transformatieproces van leptocephalus larve naar glasaal:

De glasaal verschijnt aan de Europese kusten in een golfbeweging die zich verplaatst van zuid naar noord (Tesch 1999) onder invloed van de golfstroom en actief zwemgedrag (Tesch 1999). Glasalen komen voor de Nederlandse kust aan in de winterperiode. De glasaal zal vervolgens naar de kust en estuaria toebewegen door selectief getijden-transport (Creutzberg 1961; McCleave and Kleckner 1982; Dekker and van Willigen 2000; Dekker 2002). Na aankomst in de estuaria zal deze migratie waarschijnlijk gevolg worden door een periode van rust, totdat de watertemperaturen gaan stijgen in het voorjaar en de glasaal tegen de stroom in de rivier op gaat zwemmen (Deelder 1952; Deelder 1958; Creutzberg 1961; Schmeidler 1963; Tesch 1971; Gascuel 1986).

De glasalen die later in het seizoen in de estuaria arriveren hebben daarmee langer gedaan over dit transport en hun transformatie tot glasaal. Ook de periode waarin niet werd gegeten zou daardoor langer zijn geweest, waardoor meer energie is gestoken in onderhoudsmetabolisme en minder in lichaamsweefsel. Glasalen die later in het seizoen arriveren zouden daardoor kleiner van stuk zijn (zie: (Dekker 1998; Dekker 2004b)). Ook zullen deze glasalen een later ontwikkelingsstadium hebben, met name als deze intrek wordt vertraagd door barrières zoals dammen of sluizen.

4.4 Kruisnet versus hevel & goot

De kruisnetwaarnemingen bleken beperkt bruikbaar om een inschatting te kunnen maken van de hevel en gootvangsten: Alleen bij de Bergse Diepsluis bleken de totale aantallen glasalen in kruisnet, goot en hevel significant te correleren, waarbij 55% en 74% van de variatie in kruisnetvangsten te beschrijven was vanuit respectievelijk de hevel en gootvangsten. Bij Nieuwe Statenzijl waren deze vangsten niet gecorreleerd. Verder bleken de aantallen wolhandkrabben en stekelbaarzen in het kruisnet positief gecorreleerd met die van de hevel bij Nieuwe Statenzijl ($r^2=0.80$ en 0.49 respectievelijk).

Het ontbreken van correlaties tussen kruisnet en hevel impliceert dat de klassieke IMARES-kruisnetmetingen, die worden uitgevoerd t.b.v. de jaarlijks terugkerende glasaalmonitoring, niet eenvoudig statistisch kunnen worden omgezet in "hevelwaarnemingen" met de gegevens die in deze studie zijn verzameld. Dit betekent echter niet dat het onmogelijk is om een "hevelmonitoringsprogramma" op te zetten in aanvulling of zelfs als vervanging van het "kruisnetprogramma": Op het niveau van individuele nachten zijn kruisnet en hevel niet altijd duidelijk gecorreleerd (Bergse Diepsluis wel, Nieuwe Statenzijl niet), maar over het seizoen als geheel is dat nog steeds mogelijk (bij Nieuwe Statenzijl waren de kruisnet en hevelvangsten beiden groter dan in geval van de Bergse Diepsluis). M.a.w. afhankelijk van het schaalniveau van de onderliggende data zijn hevel en kruisnetwaarnemingen meer of minder gecorreleerd en is die voornoemde omzet meer of minder mogelijk. De kruisnetmethode wordt nu vooral gebruikt als jaar-index (schaalniveau: Nederland, jaar). Om de totaalvangsten over het seizoen per

locatie uit de IMARES monitoring statistisch zinvol te kunnen vergelijken met hevelwaarnemingen zijn meer dan twee locaties nodig. Om verschillen in deze vangsten tussen jaren vanuit de IMARES monitoring om te kunnen zetten in verschillen in hevelwaarnemingen zijn meerdere jaren hevelwaarnemingen nodig.

Kortom: Met deze studie zijn aanwijzingen gevonden dat kruisnet en hevelwaarnemingen onderling uitwisselbaar zijn voor de Bergse Diepsluis. Een hevelmonitoringsprogramma op ook andere locaties, dat aansluit op het standaard IMARES monitoringsprogramma, vereist aanvullende hevelwaarnemingen op meer locaties (>2) en over meerdere jaren (>2).

Verder moet men zich realiseren dat met de kruisnetmethode slechts glasaal-dichtheden ($\# \cdot \text{m}^{-2}$) worden bepaald, en niet de doortrek ($\# \cdot \text{uur}^{-1}$) als zodanig: Lage kruisnetvangsten kunnen duiden op zowel goede doortrekmogelijkheden als een laag aanbod van glasaal. Een methode die de intrek kwantificeert en ook appelleert aan het intrekgedrag van glasaal (meezwemgedrag) zou dan ook meer voor de hand liggen dan een monitoringsprogramma op basis van kruisnetwaarnemingen. Ook om deze reden is een monitoring van de glasaalintrek op basis van hevelwaarnemingen aantrekkelijk als alternatief of aanvulling op de huidige kruisnetmethode. (zie ook: (Dekker and van Willigen 2000))

4.5 Passage van sluizen

Het beheer van sluizen in Nederland is gericht op het voorkomen van binnendringend zeewater, de afvoer van overtollig water naar zee en een goede doorgang voor schepen. Op een aantal locaties probeert men in aanvulling hierop ook rekening te houden met de glasaalintrek. De meest voorkomende beheersmaatregelen in dit verband zijn:

1. Loze schuttingen
2. Glasaalinlaten tijdens laagwater
3. Glasaalinlaten tot net voorbij laagwater

In het geval van loze schuttingen wordt de sluis gesloten alsof er een schip aanwezig is tussen de (spui)sluisdeuren. Dit gebeurt nadat de zeewaartse deuren langere tijd open hebben gestaan. Het idee hierbij is dat de glasaal zich tijdens laagwater voor de gesloten sluisdeuren ophoopt, waarna het schutten de doorgang van deze glasaal mogelijk maakt. Dit regime is o.a. toegepast bij de spuisluizen van Den Oever. Echter, dit systeem is aldaar verlaten na 1960, waarna men is overgestapt op glasaalinlaten. De reden hiervan was dat uit onderzoek uit de jaren 50 bleek dat glasaal bovenal op waterstromen reageert. Dergelijke waterstromen zijn uiteraard afwezig bij gesloten sluisdeuren. (Dekker and van Willigen 2000)

Bij het glasaalinlaten worden de sluisdeuren of de rinketten op een kiertje gezet tijdens laagwater, zodat glasaal tegen de stroom in naar binnen kan zwemmen. Dit kiertje wordt gesloten ruim voordat het waterniveau aan de zeezijde hoger wordt dan aan de binnenzijde om verzilting te voorkomen. Een dergelijk regime wordt o.a. toegepast bij de spuisluizen bij Den Oever en de Bergse Diepsluis te Tholen. Op grond van de resultaten van onze studie kan men verwachten dat dit niet zal leiden tot een effectieve inlaat van glasaal.

Zou men de deuren langer openzetten, tot voorbij het punt dat zeewater naar het binnenland gaat stromen, dan is wel een effect te verwachten. De glasalen die zich tijdens laagwater hebben opgehoopt voor de deur zullen dan mee kunnen liften met het binnenstromende zeewater. Een dergelijke procedure wordt nu gebruikt bij de sluizen van Nieuwe Statenzijl, Delfzijl (Duurswold) en Lauwersoog. Op deze locaties staan de deuren dan volledig open. De periode waarin zout water naar binnen stroomt is echter kort (5-15 minuten) om verzilting tegen te gaan. Als alle opgehoopte glasaal snel wordt meegevoerd, dan kan deze procedure effectief zijn. Als dit niet het geval is, dan blijven hevelsystemen of kieren nodig om de intrek te verbeteren. Hoe het kort openhouden van een volledige deur zich verhoudt tot de meer continue beschikbaarheid van doortrekmogelijkheden via kleine kieren of een hevelsysteem is onbekend.

Op grond van onze resultaten verwachten wij dat een zeer kleine vloedstroom de intrekende vis zal kunnen concentreren en meevoeren naar binnen. Een kleine vloedstroom over de gehele getijde periode zou daardoor netto een veel kleinere zoutbelasting kunnen opleveren, dan een zeer korte, maar omvangrijke instroom aan het begin van de vloed. Dit betekent dat een verdere optimalisatie van de vis-intrek, tegen een lagere zoutbelasting, goed mogelijk is en dat het zinvol is dit verder te onderzoeken.

4.6 Beantwoording onderzoeksvragen

Wat is het gedrag van glasaal voor sluisdeuren op de grens van zoet naar zout, tijdens de intrek?

- *Duikwaarnemingen lieten zien dat bij laagwater de glasaal zich concentreerde in de bovenste halve meter van de waterkolom, direct voor de sluisdeuren, als gevolg van zoetwaterlokstromen uit de kieren van het sluiscomplex. Echter, de stroomsnelheden in deze kieren waren dan te groot om doortrek mogelijk te maken. Bij hoogwater concentreerde de glasaal zich direct voor de deur van het sluiscomplex, verspreid over de waterkolom. Grote aantallen glasalen wisten dan door kieren met de stroom mee het achterland te bereiken.*

In hoeverre werkt een vispassage die appelleert aan meezwemgedrag (hevel) beter dan een klassieke vispassage die appelleert aan opzwemgedrag (aalgoot).

- *De resultaten van deze studie tonen aan dat meezwemgedrag belangrijker is dan opzwemgedrag bij de intrek van glasaal op de grens van zout naar zoet. Bij hoogwater trokken bijna 10 keer meer glasalen introkken via de hevel dan via de goot. Verder werden in de hevel grote hoeveelheden stekelbaarzen, steurgarnalen, aasgarnalen, vlokreeften, en wolhandkrabben gevangen, en ook andere vissen zoals grote zeenaald, pos, spiering, baars, grondel, bot en blankvoorn. In de goot, daarentegen, werden naast glasaal alleen kleinere hoeveelheden stekelbaarzen aangetroffen. Er zijn geen aanwijzingen gevonden in deze studie voor een gedragsverandering van de glasaal, of veranderingen in de effectiviteit van de hevel ten opzichte van de goot gedurende het intrekseizoen. De hevel was dus veel effectiever dan de goot, niet alleen voor de glasaal, maar ook voor veel andere vissen en kreeftachtigen.*

Wat zijn de mogelijkheden om de intrek van glasaal te optimaliseren door beter rekening te houden met het gedrag van glasaal op de grens van zoet naar zout?

- *De intrek van glasaal kan sterk worden verbeterd met relatief kleine openingen in en rond sluisdeuren en hevelsystemen, waardoor de glasaal bij hoogwater, met de zoutwaterstroom mee, het zoete water in kan trekken.*

4.7 Aanbevelingen

1. Aanbevolen wordt om het hevelsysteem verder te optimaliseren. Hierbij kan gedacht worden aan ontwerpvarianties met meerdere kleinere instroomopeningen, een nog dichtere positionering van de apparatuur tegen de sluisdeuren, en het gebruik van licht en zoetwaterstromen om glasaal te lokken in combinatie met een hevelsysteem.
2. Aanbevolen wordt om de ecologische effecten van een verbeterde intrek op de vispopulaties in het achterliggende binnenwater te testen in een veldsituatie.
3. Aanbevolen wordt om hevelsystemen op meerdere locaties aan te leggen en te vergelijken met kruisnetwaarnemingen: De hevelmethode kan de huidige kruisnetmethode nog niet

vervangen. Daarvoor zijn aanvullende waarnemingen nodig, op meer locaties en over meerdere jaren, waarmee de resultaten van beide methoden onderling vergeleken worden.

4.8 Conclusies

De huidige sluis-, spuibeheersmaatregelen en vispassages op de grens van zoet en zout gaan uit van glasaal die tegen een zoete lokstroom opzwemt. Deze benadering is vooral gebaseerd op observaties van glasalen die tegen zoetwaterstromen inzwemmen en de vangsten van glasaal in aalgoten, i.p.v. vergelijkend onderzoek, en strookt niet met dat wat bekend is uit de wetenschappelijke literatuur over de glasaalintrek en de resultaten van deze studie: glasalen zullen in zout water vooral met de stroom mee willen zwemmen, niet er tegen in. Het schutten van glasaal, het op een kier zetten van sluisdeuren tijdens laagwater, of het aanbieden van aalgoten of andere lekstroompasages is daarmee ineffectief. Glasaal weet het binnenwater kennelijk vooral te bereiken ondanks, in plaats van dankzij, al deze goed bedoelde apparatuur en beheersmaatregelen. Een systeem dat appelleert aan het natuurlijke intrekgedrag van glasaal (meezwemgedrag) zou dan ook meer voor de hand liggen. Dat betekent dat de vloedstroom naar binnen weer hersteld moet worden. Het is daarbij niet nodig om alle sluizen weer open te zetten. Een klein stroompje, bijvoorbeeld in de vorm van een hevel, kan al voldoende zijn.

4.9 Verantwoording

Deze studie is gefinancierd door het ministerie van LNV in het kader van het programma "bestek 5C".

Het Waterschap Hunze en Aa's heeft in belangrijke mate meegeholpen bij het veldwerk bij Nieuwe Statenzijl. De medewerking van Peter Paul Schollema is hierbij van doorslaggevende betekenis geweest. Verder hebben op deze locatie meegeholpen: Cher Stuivenberg, Matthijs Jansen, Robert Boonstra, Be Feikens en de sluiswachten Huib Moret en Joop Dijkema.

Het werk bij de Bergse Diepsluis is tot stand gekomen door medewerking van de heer Lobbezoo en de heer Begthel van Rijkwaterstaat en de inzet van een groot aantal studenten van de Hoge School Zeeland: Gerard van den Heuvel, Wijnand Wolf, Seward Letterie, Alex Roest, Corne Prevo, Jorgen van Nispen, Jeroen Muller, Chris Vreugdenhil, Klaas Otte en Hans Kamerik. Verder hebben op deze locatie vrijwillig meegewerkt: Fred Twisk, Herman Haas, Marco Dubbeldam en Peter Kooistra (visser te Tholen).

Literatuur

Aalcomité (2005). Nederlands beheerplan aal, eindrapport, Aalcomité: 27 pp.

Creutzberg, F. (1958). "Use of tidal streams by migrating elvers (*Anguilla vulgaris* Turt.)." Nature **181**: 357-358.

Creutzberg, F. (1959). "Discrimination between ebb and flood tide in migrating elvers (*Anguilla vulgaris*, Turt.) by means of olfactory perception." Nature **184**: 1961-1962.

Creutzberg, F. (1961). "On the orientation of migrating elvers (*Anguilla vulgaris* TURT.) in a tidal area." Neth. J. Sea Res. **1**: 257-338.

Deelder, C. L. (1952). "On the migration of the elver (*Anguilla vulgaris* Turt.) at sea." J. Cons. perm. int. Explor. Mer **18**: 187-218.

Deelder, C. L. (1958). "On the behaviour of elvers (*Anguilla vulgaris* Turt.) migrating from the sea into fresh water." J. Cons. Int. Explor. Mer **24**(1): 135-146.

Dekker, W. (1998). "Long term trends in the glasseels immigrating at Den Oever, the Netherlands." Bulletin Français de la Pêche et de Pisciculture, Conseil Supérieur de la Pêche, Paris (France) **349**: 199-214.

Dekker, W. (2000). "The fractal geometry of the European eel stock." ICES Journal of Marine Science **57**: 109-121.

Dekker, W. (2002). Monitoring of glass eel recruitment. Volume 1: Thematic Overview. IJmuiden, The Netherlands, Netherlands Institute of Fisheries Research: 262 pp.

Dekker, W. (2003). "Did lack of spawners cause the collapse of the European eel, *Anguilla anguilla*?" Fisheries Management and Ecology **10**: 365-376.

Dekker, W. (2004a). Monitoring van de intrek van glasaal in Nederland: evaluatie van de huidige en alternatieve methodieken. IJmuiden, RIVO: 36 pp.

Dekker, W. (2004b). Slipping through our hands. Population dynamics of the European eel. Faculteit der Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica. Amsterdam, Universiteit van Amsterdam. **Ph.D.:** 186 pp.

Dekker, W. (2004c). "What caused the decline of Lake IJsselmeer eel stock since 1960?" ICES Journal of Marine Science **61**: 394-404.

Dekker, W. and J. A. van Willigen (1996). Hoeveel glasaal trekt het IJsselmeer in? Verslag van een glasaal-merkproef in Den Oever in 1996. IJmuiden, RIVO: 18 pp.

Dekker, W. and J. A. van Willigen (1997). Hoeveel glasaal trekt het IJsselmeer in? Verslag van een glasaal-merkproef in Den Oever in 1997. IJmuiden, RIVO: 25 pp.

Dekker, W. and J. A. van Willigen (2000). De glasaal heeft het tij niet meer mee! IJmuiden, RIVO: 35 pp.

Elie, P., R. Lecomte-Finiger, et al. (1982). "Définition des limites des différents stades pigmentaires durant la phase civelle d' *Anguilla anguilla* L." Vie Milieu **32**: 145-157.

Elie, P. and E. Rochard (1994). "Migration des civelles d'anguilles (*Anguilla anguilla* L.) dans les estuaires, modalités du phénomène et caractéristiques des individus." Bulletin Français De La Pêche Et De La Pisciculture **335**: 81-98.

Gascuel, D. (1986). "Flow-carried and active swimming migration of the glass eel (*Anguilla anguilla*) in a tidal area of a small estuary on the French Atlantic coast." Helgoländer Meeresuntersuchungen **40**: 321-326.

Gascuel, D. (1987). La civelle d'anguille dans l'estuaire de la Sèvre Niortaise: biologie, écologie, exploitation. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, Rennes: 327 pp.

Heldt, H. and H. Heldt (1929). "Études sur les civelles de Sidi-Daoud." Bull. Stn. oceanogr. Salammbo **16**: 1-23.

ICES (1999). ICES cooperative research report N° 229, Report of the ICES Advisory Committee on Fisheries Management, 1998, International Council for the Exploration of the Sea: 393-405.

ICES (2002). Report on the ICES/EIFAC Working Group on Eels, International Council for the Exploration of the Sea.

ICES (2004). Report on the ICES/EIFAC Working Group on Eels, International Council for the Exploration of the Sea.

ICES (2005). Report of the ICES/EIFAC Working Group on Eels (WGEEL). Galway, Ireland, ICES Diadromous Fish Committee: 219 pp.

McCleave, J. D. and R. C. Kleckner (1982). "Selective tidal stream transport in the estuarine migration of glass eels of the American eel (*Anguilla rostrata*)." ICES Journal of Marine Science **40**: 262-271.

McCleave, J. D. and G. S. Wippelhauser (1987). "Behavioral aspects on selective tidal stream transport in juvenile American eels." Transactions of the American Fisheries Society **1**: 138-150.

Moriarty, C. (1986). "Riverine migration of young eels *Anguilla anguilla* (L.)." Fisheries Research **4**: 43-58.

Moriarty, C. and W. Dekker, Eds. (1997). Management of the European eel. Dublin, Fisheries Bulletin.

Schmeidler, E. (1963). "Beobachtungen über die mengenmäßige Entwicklung und den zeitigen Ablauf des Glasaalaufstieges in der Ems bei Heibrun von 1950 bis 1962." Dt. Gewasserkundl. Mitt. **7**: 84-86.

Tesch, F. W. (1965). "Verhalten der Glasaale (*Anguilla anguilla*) bei ihrer Wanderung in den Ästuarien deutscher Nordseeflüsse." Helgoländer Meeresun. **12**: 404-419.

Tesch, F. W. (1971). "Aufenthalt der Glasaale (*Anguilla anguilla*) an der südlichen Nordseeküste vor dem Eindringen in das Süßwasser." Vie Milieu Suppl. **22**: 381-392.

Tesch, F. W. (1977). The eel. London, Chapman and Hall.

Tesch, F. W. (1999). Der Aal. Berlin, Parey Buchverlag im Blackwell Wissenschafts-Verlag.

van Willigen, J. A. (1992). Monitoring van glasaal in enkele Zuidhollandse en Zeeuwse wateren. Ijmuiden, RIVO: 9 pp.

Wippelhauser, G. S. and J. D. McCleave (1987). "Precision of behavior of migrating juvenile American eels (*Anguilla rostrata*) utilizing selective tidal stream transport." Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer **44**: 80-89.

Akkoord: drs. E. Jagtman
Hoofd Contract Research Organisatie

Handtekening: _____

Datum: 9 oktober 2006