

**Beoordeling vis en vismigratie Selectieve
Onttrekking-IJmuiden (SO-IJ) en herbeoordeling
naar aanleiding van nieuwe inzichten**

Rapportnummer: 20170431/rap02
Status rapport: Definitief (herbeoordeling)
Datum rapport: 8 augustus 2018

Auteur: F.T. Vriese & J. Hop
Projectleider: J. Hop
Kwaliteitscontrole: J. Kampen

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat West-Nederland Noord, District Zuid
De heer M. van Wieringen
Toekanweg 7

2035 LC Haarlem
Postbus 2232
3500 GE Utrecht
En: Daniel Voortman
Project Zeetoeegang IJmuiden

Dit rapport is digitaal gegenereerd en derhalve niet voorzien van een handtekening. De inhoud van de rapportage is aantoonbaar gecontroleerd en vrijgegeven.



INHOUDSOPGAVE

1 INLEIDING	1
1.1 Aanleiding.....	1
1.2 Doel	1
1.3 Leeswijzer.....	1
2 KORTE BESCHRIJVING VAN DE SELECTIEVE ONTTREKKING-IJMUIDEN (SO-IJ).....	3
2.1 Onderzoeksgebied.....	3
2.2 Selectieve Onttrekking-IJmuiden (SO-IJ).....	4
2.3 Vissoorten en vismigratie	7
2.3.1 Vissoorten	7
2.3.2 Selectief getijden migranten	8
2.3.3 Sterke en zwakke zwemmers	8
2.3.4 Positie in de waterkolom	9
2.3.5 Barotrauma.....	9
2.3.6 Periode van vismigratie.....	13
2.4 Passage van vissen via de SO-IJ	13
2.4.1 Migratieroute en -periode	13
2.4.2 Stroomsnelheid in opening SO-IJ	14
2.4.3 Druk.....	14
2.4.4 Zoutgehalte	19
2.4.5 Temperatuur.....	19
2.5 Verschuivingen in de vismigratie.....	20
3 VISMIGRATIEVOORZIENINGEN IN DE SELECTIEVE ONTTREKKING-IJMUIDEN.....	21
3.1 Vismigratie via onderste waterlaag SO-IJ	21
3.2 Vismigratie via de bovenste waterlaag van de SO-IJ en langs de oevers	22
3.2.1 Randvoorwaarden	22
3.2.2 Uitwerking vismigratievoorziening	23
3.2.3 Flexibiliteit, onderhoud en monitoring	27
4 DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	33
4.1 Discussie	33
4.2 Conclusies.....	33
4.2.1 Effecten van de SO-IJ op vismigratie.....	33
4.2.2 Maatregelen om effecten te mitigeren.....	34
4.2.3 Uitwerking vismigratievoorziening.....	34
4.2.4 Aandachtspunten SO-IJ	35
4.3 Aanbevelingen	35
5 LITERATUUR.....	37
6 HERBEOORDELING NAAR AANLEIDING VAN NIEUWE INZICHTEN.....	40
6.1 Inleiding	40
6.2 Bronnenonderzoek	40
6.2.1 Physocliste vissoorten.....	40
6.2.2 Amerikaanse aal.....	42
6.3 Heroverweging kans op barotrauma bij SO-IJ.....	42
6.3.1 Algemeen	42
6.3.2 Afvoer 100 m ³ /s.....	43
6.3.3 Afvoer 300 m ³ /s.....	44
6.3.4 Afvoer 700 m ³ /s.....	45
6.3.5 Betekenis voor de vismigratie	46
6.4 Conclusies naar aanleiding van de heroverweging	49
7 LITERATUUR OVERZICHT PROQUEST	51

BIJLAGE 1: PRESENTATIE AALONDERZOEK



1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Ten gevolge van de realisatie en in gebruikname van de nieuwe grote scheepvaartsluis te IJmuiden, zal de belasting van het Noordzeekanaal met zout aanzienlijk groter worden. Om deze extra zoutlast op het Noordzeekanaal tegen te gaan, is als maatregel Selectieve Onttrekking zout IJmuiden (SO-IJ) bedacht. Later is er een schetsontwerp van de SO-IJ gemaakt (zie figuur 1.1 en figuur 1.2 op de volgende pagina). Het basis idee is dat het mogelijk is door in plaats van zoet/brak water (zoals momenteel het geval is) zoutwater af te voeren (via spui of gemaal), de extra zoutbelasting teniet kan worden gedaan.

Dit SO-IJ middel zal bestaan uit een aantal samenhangende maatregelen die moeten voorkomen dat het Noordzeekanaal teveel verzilt na de ingebruikname van de nieuwe zeesluis in 2019:

- Verdieping van de monding van het Binnenspuikanaal tot 20 - 25 m, evt. aansluitend op een zoutvang in de Velserkom;
- Aanbrengen van twee landhoofden, met daartussen een damwand in de monding van het Binnenspuikanaal, met geheel onderin een opening over de volledige breedte van de damwand.

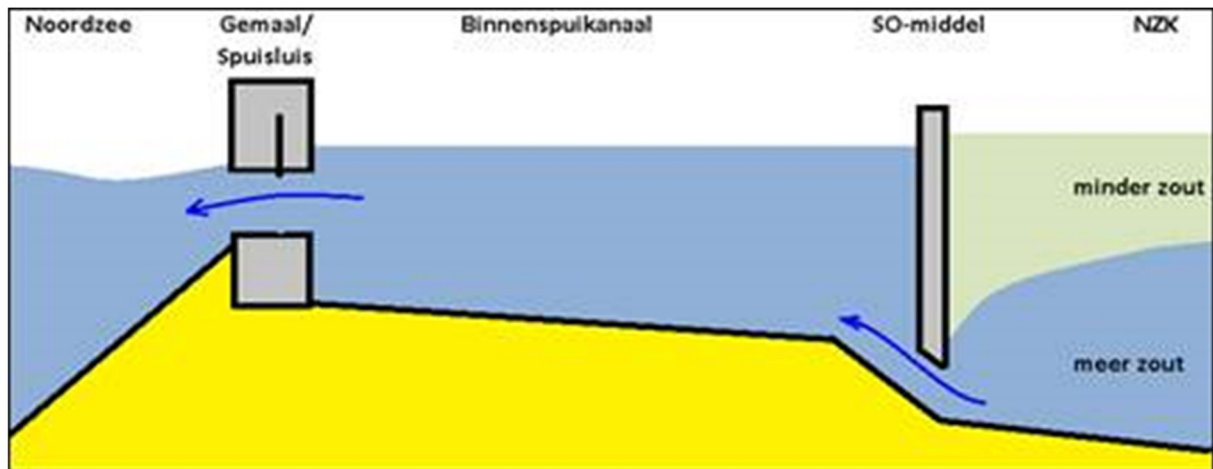
Uit diverse onderzoeken tot 2011 (voor referenties zie hoofdstuk 2) is gebleken dat ongeveer 2/3 van de uittrekkende schieraal via het Binnenspuikanaal naar zee trekt. Ook vindt intrek van kleine vis (glasaal, maar ook haring, sprat, driedoornige stekelbaars en botlarven) plaats, tijdens gelijk water net na de spui. Het is van cruciaal belang dat de huidige mogelijkheden voor vismigratie in beide richtingen intact blijven wanneer de SO-IJ is gerealiseerd.

1.2 Doel

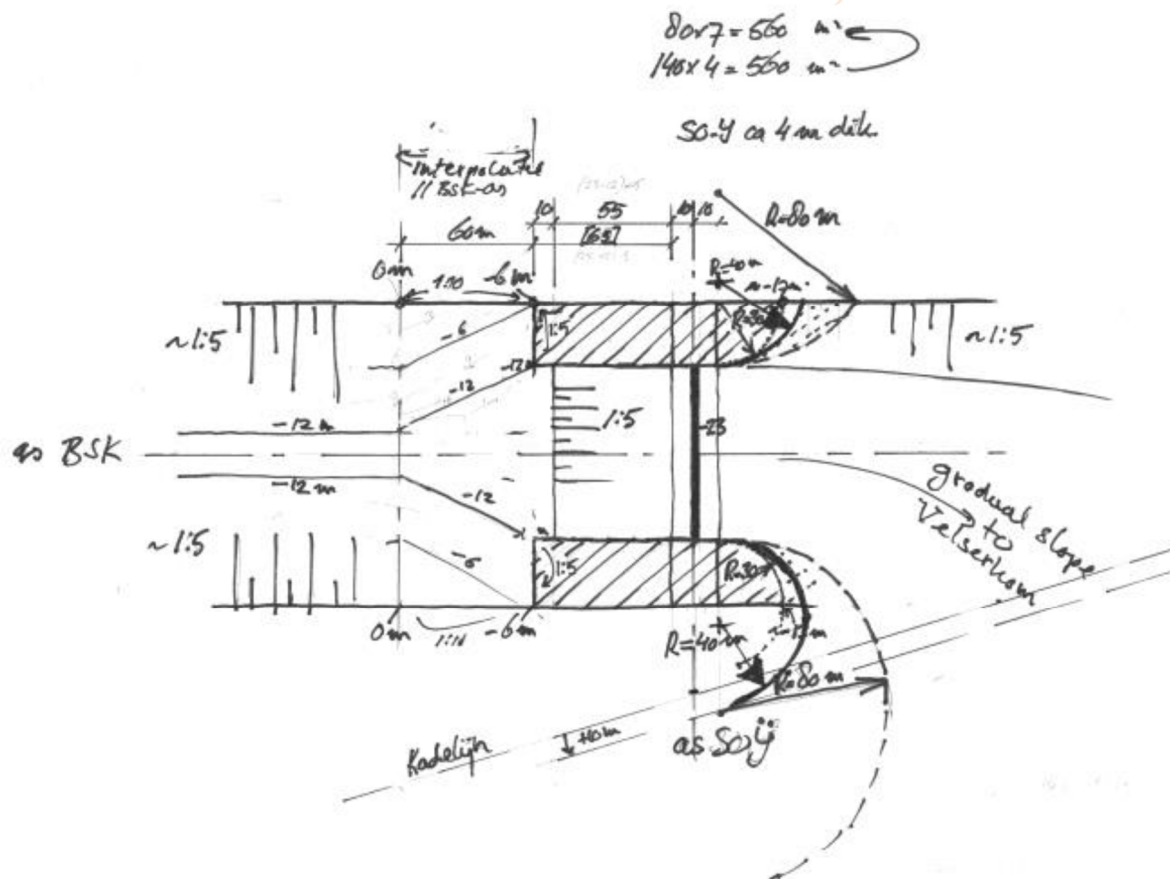
Het doel van onderhavig studie is het opstellen van (ontwerp)maatregelen die ervoor zorgen dat de SO-IJ passeerbaar is voor alle ter plaatse voorkomende vissoorten, die uitwisselen/migreren tussen zee en het water in het Noordzeekanaal en vice versa.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de SO-IJ maatregel kort beschreven, waarbij aangegeven wordt welke vissoorten ter plaatse voorkomen, welke migratiekarakteristieken deze hebben, welke routes er zijn om de SO-IJ te passeren alsmede welke fysische condities heersen tijdens passage van de SO-IJ. Er wordt kort ingegaan op eventuele verschuivingen in de vismigratie als gevolg van het realiseren de SO-IJ. In hoofdstuk 3 worden mogelijke maatregelen om de vismigratie ter plaatse te optimaliseren besproken. Hoofdstuk 4 geeft de discussie, conclusies en aanbevelingen. Hoofdstuk 5 bevat een overzicht van de gebruikte literatuur. Hoofdstuk 6 geeft een herbeoordeling van het risico op barotrauma voor migrerende vissen naar aanleiding van nieuwe inzichten met betrekking tot de stromingspatronen bij de SO-IJ.



Figuur 1.1. Schematische voorstelling van de SO-IJ, Binnenspuikanaal en gemaal/spuisluis.)



Figuur 1.2. Schetsontwerp van SO-IJ, met daarin de twee landhoofden (gearceerd) de wand (zwarte lijn) en de dieptelijnen.

2 KORTE BESCHRIJVING VAN DE SELECTIEVE ONTTREKKING-IJMUIDEN (SO-IJ)

2.1 Onderzoeksgebied

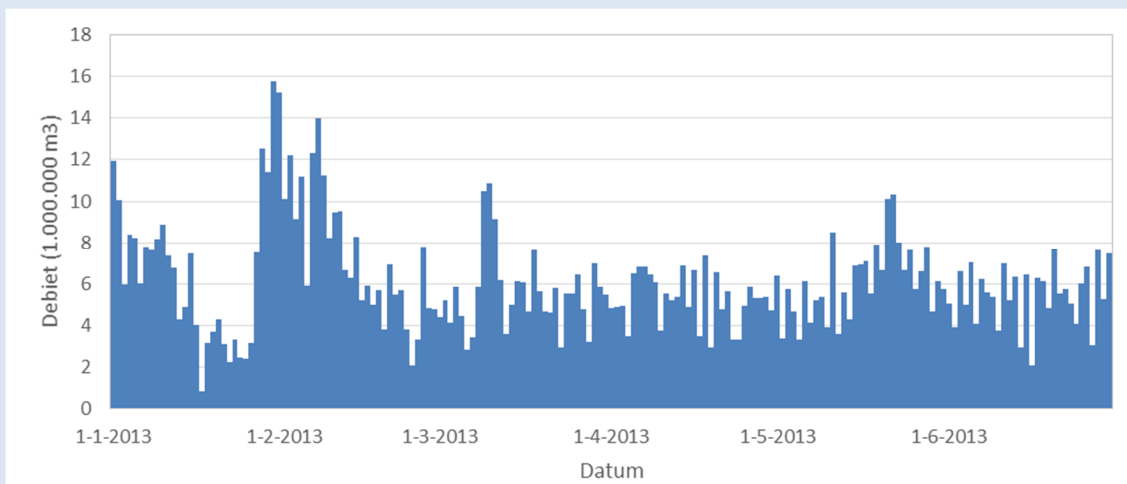
Het onderzoeksgebied betreft het Noordzeekanaal te IJmuiden, met specifieke nadruk op het Binnenspuikanaal (BSK) dat leidt naar het spui/gemaalcomplex (zie figuur 2.1). Het streefpeil op het Noordzeekanaal is -0,4 m NAP. Uit eerder verricht onderzoek is bekend dat via de scheepvaartsluizen en het spui/gemaal-complex een aanzienlijke uitwisseling/migratie van vis plaatsvindt van zoet naar zout en vice versa (Keeken *et al.*, 2010; Kemper, 2007; Kruitwagen *et al.*, 2008; Kruitwagen & Manshanden, 2009; 2010; 2011; Spierts & Vriese, 2009; Spierts *et al.*, 2010; Vis & Spierts, 2010; Vriese, 2010; Vriese & Van Wijk, 2011).

Uit deze onderzoeken is gebleken dat maar liefst tweederde van de uittrekkende schieraal via het Binnenspuikanaal naar zee trekt. Ook is er intrek van kleine vis (glasaal, maar ook haring, sprout, driedoornige stekelbaars en botlarven) en grotere zeevis (harder, zeebaars etc.). Deze intrek vindt plaats zowel via de spuisluisen als de scheepvaartsluizen. De intrek via de spuisluisen is voornamelijk op het moment van gelijk waterniveau, net na de spuiperiode en vindt met name plaats door de meest zuidelijke spuikoker waarin speciale voorzieningen zijn aangebracht om vismigratie te faciliteren.

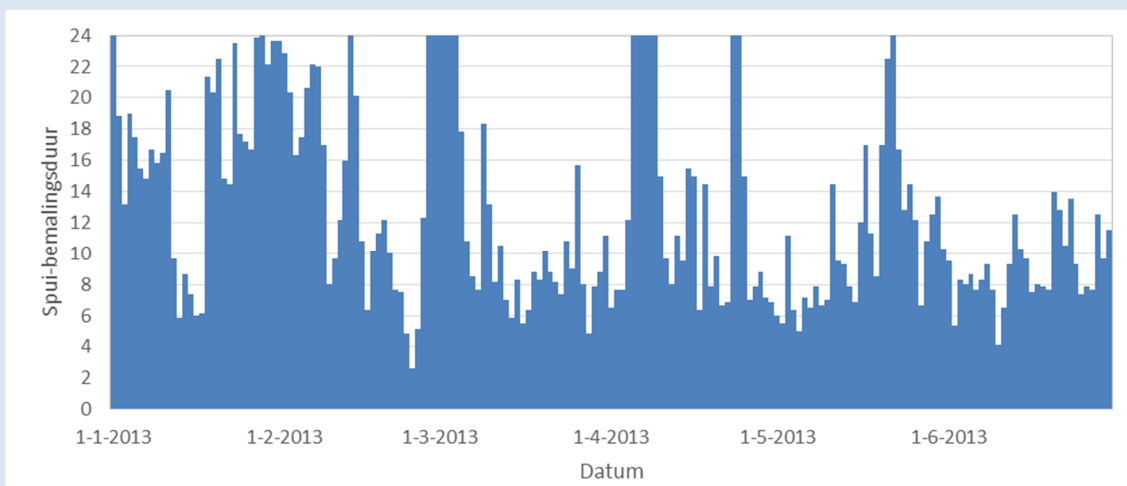


Figuur 2.1. Onderzoeksgebied met Binnenspuikanaal, gemaal en spuisluisen (bron: geodata.nationaalgeoregister.nl)

De afvoer via het gemaal en de spuisluis bedraagt gemiddeld iets meer dan 6×10^6 m³ per dag. De afvoer varieert hierbij van circa $0,8 \times 10^6$ m³ tot maximaal bijna 16×10^6 m³ per dag. In figuur 2.2 is de afvoer voor de eerste helft van 2013 weergegeven met daarbij in figuur 2.3 het aantal uur dat per dag is bemalen/gespuid. De eerste helft van 2013 was gemiddeld qua afvoer (mededeling dhr. M. van Wieringen, RWS). In deze periode werd er gemiddeld bijna 13 uur per dag (53% van de tijd) water afgevoerd via het gemaal of de spuisluisen. De resterende 47% van de tijd (van de dag) is er geen afvoer.



Figuur 2.2. Afvoer IJmuiden (totaal per dag; eerste helft 2013). Data RWS, figuren ATKB



Figuur 2.3. Spui- en/of bemalingsduur IJmuiden (totaal per dag; eerste helft 2013). Data RWS, figuren ATKB

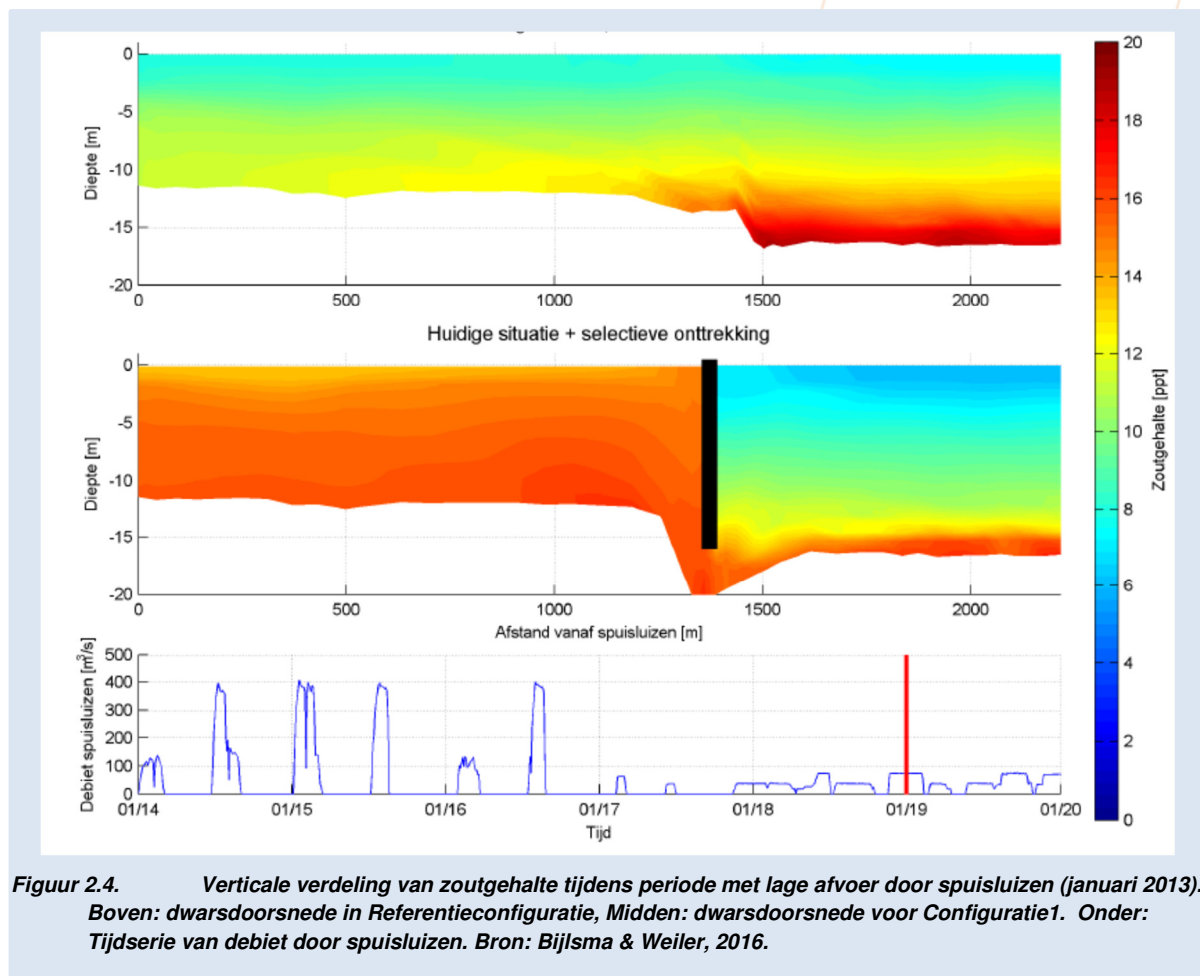
2.2 Selectieve Onttrekking-IJmuiden (SO-IJ)

De Selectieve Onttrekking-IJmuiden (SO-IJ, figuur 2.4) bestaat uit een verticale wand binnen twee (nog te realiseren) landhoofden in het Binnenspuikanaal (BSK). De onderzijde van deze wand is open, waarbij de dimensies voornamelijk zijn vastgesteld op 80 m breed en 7 m hoog, resulterend in een oppervlakte van 560 m². De dikte van de wand bedraagt bij benadering 4 m, maar is ook nog niet definitief bepaald. Ter plaatse wordt de bodem van het BSK verdiept van -16 m NAP tot -23 m NAP, afnemend naar een waterdiepte van -12 m NAP richting spui/gemaal (i.e. de huidige diepte van het BSK).

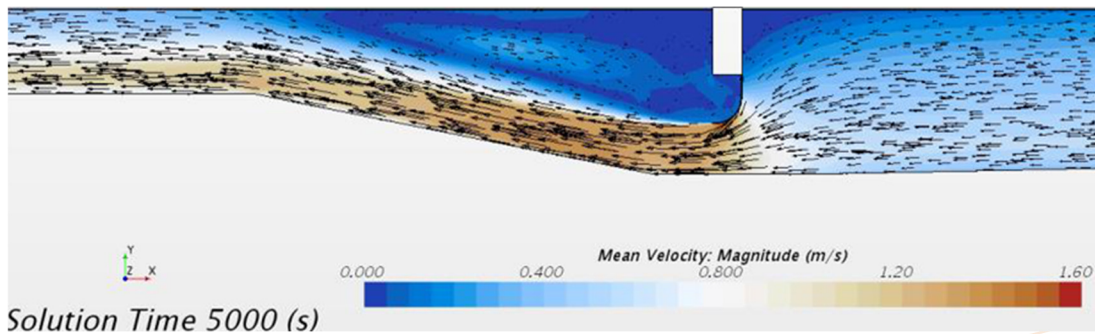
Wanneer spui/gemaal actief is, wordt als gevolg van de SO-IJ, vanuit het Noordzeekanaal relatief zout water onttrokken langs de bodem (aan de bodem gelegen 'zouttong' welke typerend is voor dit deel van het Noordzeekanaal), in plaats van een oppervlakkige afstroming van relatief zoet water (zie figuur 2.4). Het watervolume dat zich tussen gemaal/spui en de te realiseren SO-IJ bevindt, bedraagt circa 1,5 miljoen m³. Dit komt, in condities met relatief lage afvoer (een daggemiddelde afvoer van 30

– 35 m³/s), globaal overeen met het volume van één spuienster. In de eerste helft van 2013 was de daggemiddelde afvoer circa tien dagen lager dan 35 m³/s. Bij hogere afvoeren gaat in een spuienster een veelvoud van dit volume naar buiten. Afhankelijk van de hoeveelheid water die geloosd wordt (zie kader 1), en uitgaande van een opening met een oppervlakte van 560 m², kunnen de stroomsnelheden door de opening van de SO-IJ oplopen tot 0,9 m/s bij een debiet van 500 m³/s. In figuur 2.5 is een beeld van het stromingspatroon door de SO-IJ weergegeven bij een extreem hoge afvoer (700 m³/s) en zonder dichtheidsverschillen. Op basis van het debiet in de eerste helft van 2013 zijn figuur 2.6 en 0 opgesteld. In deze figuren is de gemiddelde stroomsnelheid berekend door het debiet (10 minuten waarden van bemalen/spuien) te delen door het stroomvlak onder de SO-IJ (560 m²). Tijdens bemalen/spuien bedraagt de gemiddelde stroomsnelheid onder de SO-IJ 0,24 m/s. Circa 90% van de tijd dat er bemalen/gespuid wordt is de gemiddelde stroomsnelheid onder de SO-IJ lager dan 0,5 m/s.

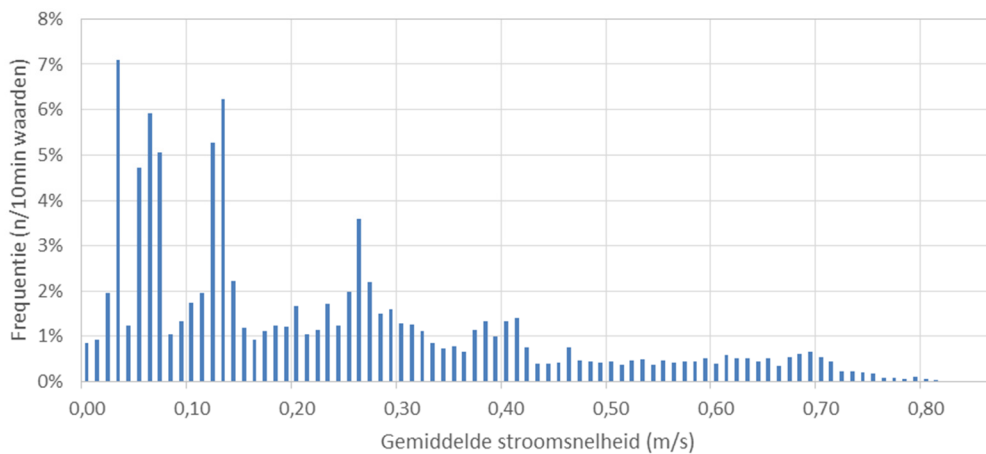
Als gevolg van het realiseren van de SO-IJ zal het water dat via het spui/gemaal complex naar zee gaat minder zoet zijn (zie afbeelding 2.4, zoutgehalte tussen 14-18 ppt). Daar staat tegenover dat de uitwisseling van zout- en zoet water door de scheepvaartsluizen groter wordt. Deze verschuivingen kunnen consequenties hebben voor de aantrekkende werking (lokstroom) die de verschillende sluizen en het gemaal/spuisluizen hebben op vis in het buitenwater (Buitenspuikanaal en Buitentoeleidingskanaal). De onderhavige studie zal voornamelijk ingaan op de passagemogelijkheden van de SO-IJ voor vis en in mindere mate op de consequenties voor de vismigratie als geheel.



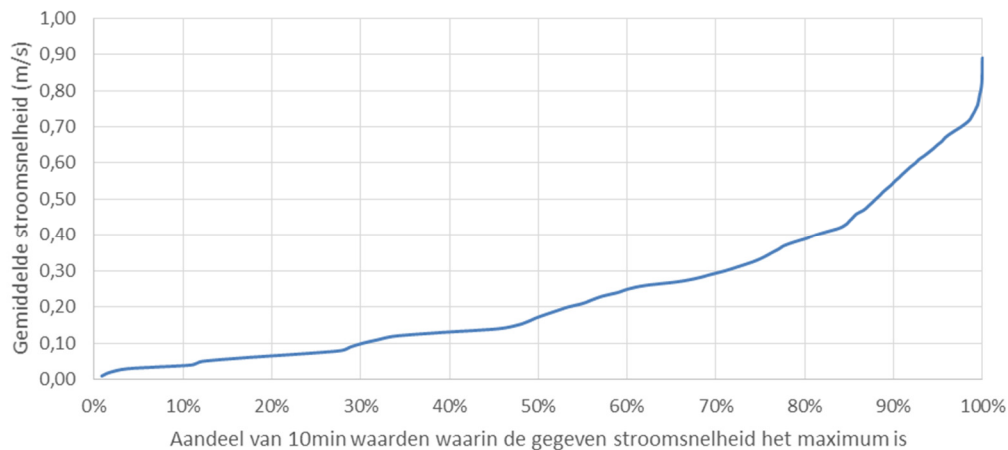
Kader 1: Afvoer Binnenspuikanaal
Spuidebiet is in de praktijk maximaal circa 500 m³/s; In 2011 was tijdens 6% van de spuitijd het debiet hoger, tot maximaal 575 m³/s. Capaciteit van het gemaal is maximaal 260 m³/s (6 pompen: 4 x 40 m³/s en 2 x 50 m³/s).



Figuur 2.5.Stroomsnelheidsverdeling (opgelegd verval 5 cm; debiet 700 m³/s; uniforme dichtheid). Bron: presentatie Otto Weiler, 12 mei 2017. In de praktijk reikt het debiet over het algemeen tot circa 500 m³/s.



Figuur 2.6. Frequentie (n/10min gemiddelden) van de stroomsnelheden (m/s) tijdens bemalen/spuien(o.b.v. eerste helft 2013)



Figuur 2.7. Cumulatieve verdeling van de stroomsnelheden tijdens spui/bemalen op basis van gemiddelde 10-minutenwaarden (o.b.v. eerste helft 2013).

2.3 Vissoorten en vismigratie

2.3.1 Vissoorten

Het Binnenspuikanaal, met daarbij de spuisluizen en het gemaal, vormt een route waarlangs vis zich van zoet naar zout en vice versa verplaatst. Mede als gevolg hiervan bestaat een gevarieerde en soortenrijke visfauna op het Noordzeekanaal. Deels betreft het hier obligate migranten die voor het voltooien van hun levenscyclus afhankelijk zijn van zowel zoete als zoute habitats en deels betreft het soorten die in estuaria leven, dan wel seizoensgasten die zich tijdelijk op de scheiding van zoet en zout ophouden, alsook zoetwatervissoorten.

Elliott & Hemingway (2002) onderscheiden voor zoet-zoutovergangen (onder andere) de volgende gilden:

- CA = diadrome vissoorten die migreren tussen zee en rivier en het estuarium als trekroute gebruiken;
- ER = estuariene vissoorten die hun totale levenscyclus in het estuarium kunnen doorlopen;
- MJ = mariene juveniel, zeevissen waarvan de jonge exemplaren kunnen opgroeien in een estuarium;
- MS = mariene volwassenen, zeevissen die in een vast seizoen een estuarium kunnen bezoeken (zomer- en wintergasten).

Tabel 2.1 geeft een overzicht van vissoorten die in de huidige vissenmaatlat voor het Noordzeekanaal (type M30) zijn opgenomen. Deze vissenmaatlat wordt voor de Kaderrichtlijn Water (KRW) gehanteerd om de ecologische kwaliteit te beoordelen. Belangrijk voor de Ecologische Kwaliteits Ratio (EKR) van het Noordzeekanaal is dat in ieder geval de populaties van deze soorten niet negatief beïnvloed worden door de SO-IJ. Z1 en Z2 betreffen, aanvullend op de eerder genoemde groepen, zoetwatervissen die in meer of mindere mate goed bestand zijn tegen matig brakke of brakke condities.

Tabel 2.1. Vissoorten in het abundantiedeel van de vissenmaatlat M30

CA	ER	MJ	MS	Z1	Z2
Driedoornige stekelbaars	Bot	Griet	Ansjovis	Baars	Alver
Eft	Botervis	Haring	Diklipharder	Kolblei	Blankvoorn
Fint	Brakwatergrondel	Kabeljauw	Geep	Snoekbaars	Brasem
Paling	Dikkopje	Koornaarvis	Snotolf	Tienddoornige stekelbaars	Giebel
Rivierprik	Glasgrondel	Rode poon	Sprot		Karper
Spiering	Grote zeenaald	Schar	Vijfdradige meun		Pos
Steur	Harnasmannetje	Schol			Vetje
Zalm	Houting	Steenbolk			
Zeeforel	Kleine zeenaald	Tarbot			
Zeeprik	Puitaal	Tong			
	Slakdolf	Wijting			
	Zandspiering	Zeebaars			
	Zeedonderpad				
	Zwarte grondel				
Physoclisten					
Physostomen					
Geen zwemblaas					

De in tabel 2.1 genoemde vissoorten zijn te verdelen in groepen met een soortgelijk migratiegedrag (migratie langs de bodem of juist langs de oppervlakte, selectief getijdentransport of actieve migratie, migratie langs de oever etc.) en soortgelijke fysieke kenmerken (physocliste of physostome soorten, zwemcapaciteiten en zouttolerantie). Omdat van een groot aantal soorten de exacte soortspecifieke kenmerken niet bekend zijn, worden de soorten niet gegroepeerd op basis van fysieke kenmerken, maar worden kenmerkende eigenschappen van de verschillende migratiegroepen besproken. In de volgende paragrafen wordt hier verder op ingegaan.

2.3.2 Selectief getijden migranten

Als eerste worden de **selectief getijden migranten** onderscheiden. Bij de migratie van zee naar zoet water laten deze vissen zich transporteren door het getij. Tijdens vloed bevinden ze zich hoog in de waterkolom om zich met het getij mee te laten voeren. Tijdens eb laten ze zich naar de bodem zakken om zich daar buiten de hoofdstroom te handhaven. Netto resulteert dit in een transport richting het zoete water. De bekendste vertegenwoordigers van deze groep zijn glasaal, botlarven en driedoornige stekelbaars. Belangrijk is tevens de beperkte zwemcapaciteit van deze drie soorten. De zwemsnelheid hangt over het algemeen samen met de lengte van de vis (Videler, 1991). Winter *et al.* (2014) geven voor respectievelijk bot, glasaal en driedoornige stekelbaars een maximale zwemcapaciteit (sprintsnelheid, die enkele seconden kan worden volgehouden) van 0,6 m/s (range 0,2 – 0,6 m/s), 0,8 m/s (range 0,2 – 0,8 m/s) en 0,9 m/s (0,2 – 0,9 m/s). Dekker (2004) geeft aan dat glasaal langdurig kan zwemmen met een snelheid van één lichaamslengte per seconde, met korte spurts tot maximaal 0,5 m/s.

Zalmachtigen zoals spiering en zalm/zeeforel maken ook gebruik van selectief getijden transport. Zij zijn echter niet afhankelijk van getijdestroming en kenmerken zich door een veel grotere zwemcapaciteit (spiering: 2,2 m/s; zalm/zeeforel: 8,6 m/s uit Winter *et al.*, 2014) dan de eerder genoemde soorten. Ook alle overige diadrome soorten hebben grotere zwemcapaciteiten dan glasaal, botlarven en driedoornige stekelbaars (enkele m/s), waarbij voor de prikken nog geldt dat deze zich in zones met grote stroomsnelheden kunnen handhaven door zich tijdelijk vast te zuigen aan substraat (en vervolgens over korte afstand verder te trekken).

Overigens is het nog de vraag in hoeverre glasaal, botlarven en driedoornige stekelbaars na passage van de spuisluizen nog gebruik maken van selectief getijden transport, of dat ze reeds actief zwemmen richting het zoete water. In een natuurlijke situatie is er sprake van een overgang van (relatief) passief naar actief transport vanaf de "tidal limit". Dit is het punt waar het getij nog net waarneembaar is. Bij kunstwerken zoals het gemaal en de spuisluizen te IJmuiden is het waarschijnlijk dat deze min of meer de grens vormen tussen het gebied waar het gedrag van glasaal verandert van passief naar actief transport. Selectief getijdentransport is alleen mogelijk indien er sprake is van zout water dat naar binnen stroomt. Actief transport van glasaal, in de zoete waterlaag, vindt veelal plaats langs de oeverzone.

2.3.3 Sterke en zwakke zwemmers

Binnen de overige vissoorten in tabel 2.1 kan onderscheid worden gemaakt tussen **sterke en zwakke** zwemmers. Veel bodemgebonden soorten (zoals grondels, donderpadden en platvissen) en kleinere vissoorten (zeenaalden, stekelbaarzen) behoren tot de groep van zwakke zwemmers. Hun maximale zwemcapaciteit ligt veelal aanzienlijk lager dan 1 m/s. Dit geldt ook voor juveniele stadia van veel vissoorten. Ter illustratie; haring van 5 cm heeft een zwemcapaciteit van 0,3 – 0,4 m/s, terwijl volwassen haring snelheden kunnen bereiken van 1,5 m/s. De grotere, meer pelagische vissoorten

(harders, zeebaars, kabeljauwachtigen en de grotere zoetwatervissen) hebben daarentegen een maximale zwemsnelheid die al snel meer dan enkele meters per seconde bedraagt. De zwemcapaciteit is bepalend voor de mate waarin vissen in staat zijn een bepaalde stroomsnelheid te passeren, zich daarin kunnen handhaven, danwel uiteindelijk meegevoerd worden door de stroming.

2.3.4 Positie in de waterkolom

Vervolgens kan onderscheid gemaakt worden tussen vissoorten die zich voornamelijk **pelagisch**, hoger in de waterkolom, bevinden en soorten die in meer of mindere mate bodemgebonden zijn (**benthisch**). Soorten als haring, sprot, harder, elft, fint, houting, zalm, zeeforel, zeebaars, geep, koornaarvis, ansjovis en alver zijn bij uitstek pelagisch. Soorten als platvissen, steur, de meeste grondelsoorten, botervis, puitaal, brasem, snoekbaars en pos zijn meer benthisch van aard. Dit betekent dat de pelagische soorten migratiemogelijkheden moeten hebben in het bovenste (middelste) deel van de waterkolom, terwijl de meer benthische soorten veelal langs de bodem moeten kunnen migreren. In de ideale situatie is migratie over de volledige waterkolom mogelijk.

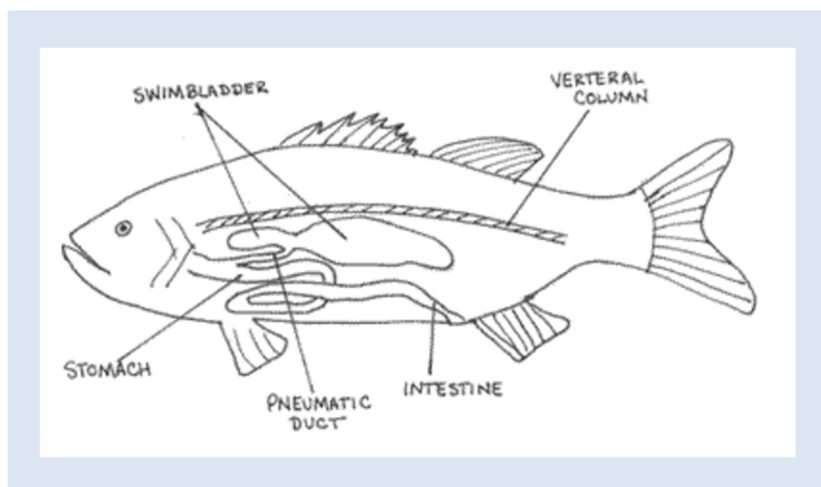
2.3.5 Barotrauma

Een aspect waarvan wordt gedacht dat het mogelijk een belangrijke rol speelt bij de migratiemogelijkheden bij de SO-IJ is de mate waarin vissoorten worden blootgesteld aan drukverschillen tijdens passage van het kunstwerk. Wanneer vissen een acute drukverlaging meemaken, kan dit leiden tot **barotrauma**. Navolgende tekst, met uitleg over barotrauma, is afkomstig uit Vriese & Hop (2015). Brown *et al.* (2014) geven een review van onderzoek op het gebied van barotrauma en constateren dat dit voornamelijk is onderzocht in het kader van schade aan vis bij turbinepassage (zeer kort na het passeren van de rotor, vindt een scherpe daling in druk plaats), maar dat bijvoorbeeld ook sprake kan zijn van drukdaling bij het passeren van onderlozende stuwen/spillways. Ook in een hevel heerst onderdruk.

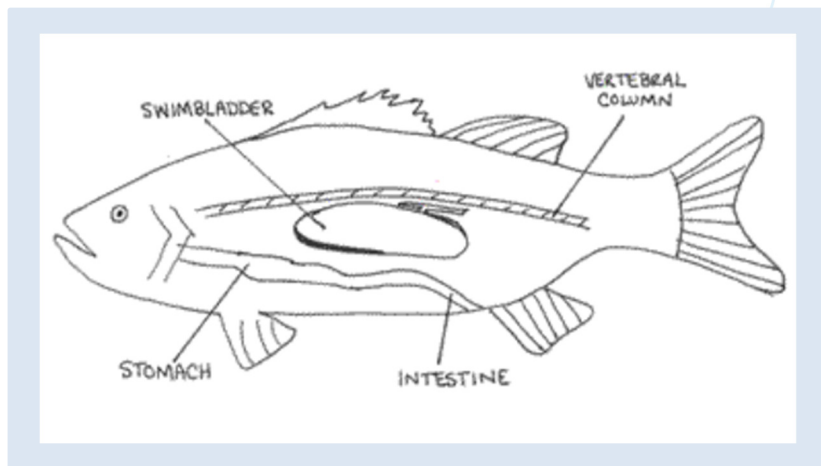
Barotrauma kan tot stand komen langs twee verschillende wegen. Een daarvan wordt bepaald door de Wet van Boyle: schade ontstaat door het uitzetten van aanwezig gas (bijvoorbeeld in de zwemblaas van vissen). De Wet van Boyle ($P_1V_1 = P_2V_2$ waarin P_1 en V_1 de druk en het volume voorstellen en P_2 en V_2 de resulterende druk en het volume op tijdstip 2) stelt dat binnen een gesloten systeem (bij een gelijke temperatuur) het volume van een gas omgekeerd evenredig is met de druk op dat volume. Dit houdt in voor een vis die door een kunstwerk gaat waar de druk met de helft wordt verlaagd, het volume van het gas in het lichaam instantaan verdubbelt. Typische verwondingen die hierbij ontstaan betreffen: gescheurde zwemblazen, uitpuilen van de ogen, expulsie van maag/darmen (trommelzucht).

De tweede weg waarlangs barotrauma kan ontstaan, wordt bepaald door de Wet van Henry. Hierbij worden gasbellen gevormd als gevolg van een door drukverlaging geïnduceerde vermindering van de oplosbaarheid van gas. De hoeveelheid gas die opgelost is in een vloeistof (bijvoorbeeld bloedplasma), staat in een directe verhouding tot de betreffende druk waaraan het is blootgesteld. Wanneer de omgevingsdruk wordt verlaagd, komt het gas uit oplossing en geeft bijvoorbeeld bellen in de bloedbaan, zoals bij *Caisson* ziekte. De mate waarin hierdoor schade ontstaat, in de vorm van barotrauma, is minder dan bij het mechanisme via de Wet van Boyle. Wil het gas uit oplossing komen dan is gedurende enige tijd blootstelling aan lagere drukken nodig. Bij vissen die door een kunstwerk gaan, is de blootstellingsduur vaak te kort om tot ernstige schade te komen. Typisch letsel hierbij is scheuring van bloedvaten en gasbellen in bloedvaten, ogen, kieuwen, vinnen en overige organen.

De mate waarin schade optreedt door drukverschillen, wordt tevens bepaald door de bouw van de vissoorten. Zo wordt onderscheid gemaakt tussen **physocliste** en **physostome** vissen. Physostome vissen (evolutionair gezien wat primitievere soorten) hebben een verbinding tussen de zwemblaas en slokdarm (*oesophagus*) de zogenaamde zwemblaasgang (*ductus pneumaticus*). Deze stelt hen in staat een plotseling optredende overdruk in de zwemblaas te ventileren naar de slokdarm en vervolgens naar buiten. De *ductus pneumaticus* is bij alle vissoorten (met een zwemblaas) in het embryonale stadium aanwezig. Hierdoor kan de zwemblaas (vlak na het uitkomen van de eieren) gevuld worden met lucht door lucht te happen aan de wateroppervlakte. Bij de physocliste vissoorten groeit *ductus pneumaticus* tijdens de ontwikkeling echter dicht. Bij deze soorten vindt gasuitwisseling uit de zwemblaas met het bloed plaats via de zogenaamde gasklier en een netwerk van bloedvaten (*rete mirabile*, meervoud: *retia mirabile*) (diffusie).



Figuur 2.8. Physostome vis (bron: Pough et al., 1999)



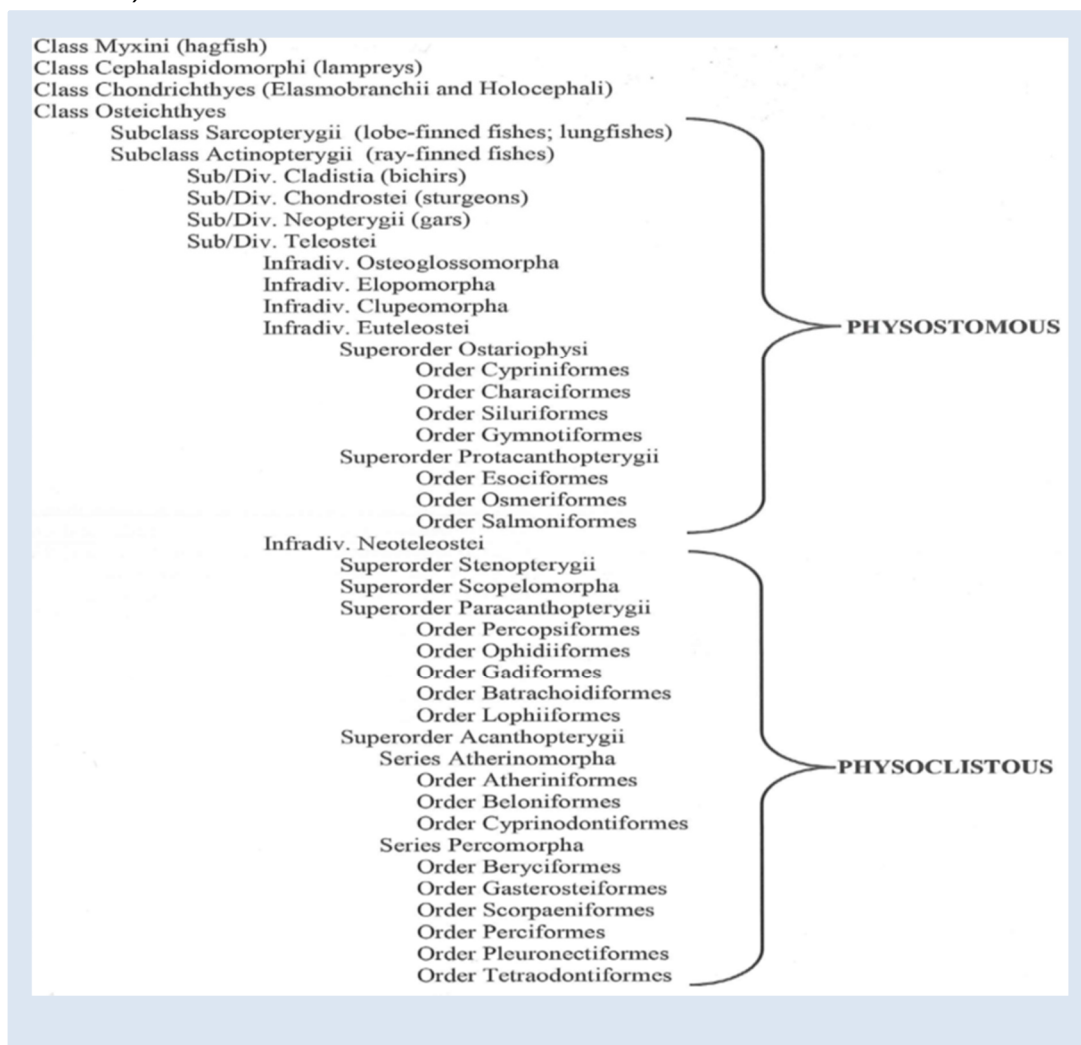
Figuur 2.9. Physocliste vis (bron: Pough et al., 1999)

Physocliste vissen zijn logischerwijs gevoeliger voor onderdruk omdat het proces van het uitwisselen van gas uit de zwemblaas lang duurt, waardoor ze niet adequaat kunnen reageren op directe druk/volumeverschillen. De snelheid van de gasregulatie in de zwemblaas verschilt per vissoort. De adaptatie aan een verschil van 1 bar druk duurt bijvoorbeeld bij baars (physocliste) 23 tot 27 uur (Tsvetkov *et al.*, 1972). De regulatie lijkt afhankelijk van de bloedvoorraad. De gastoevoer naar de zwemblaas wordt beïnvloed door de temperatuur, druk, diepte en het gewicht van de vis. Kabeljauw

(maar dit geldt logischerwijs voor alle vissoorten) kan een bepaalde druk in de zwemblaas compenseren zonder hier nadelige gevolgen van te ondervinden (Vriese *et al.*, 2006).

Bij decompressie wordt de normale druk in de zwemblaas hersteld door gas op te nemen in het bloed en het via de kieuwen aan het water kwijt te raken. Baarzen kunnen het volume van één zwemblaas opnemen in een periode van 12 uur. De opname van gas vanuit de zwemblaas gaat dus sneller dan het vullen ervan (Fange, 1945; 1953; Jones, 1951 in Jones, 1957). Een zwemblaas heeft enige speling als het om volume gaat, maar een aanzienlijk drukverschil binnen een korte tijdsduur doet de zwemblaas dermate vergroten dat de diffusie van deze lucht niet snel genoeg kan plaatsvinden om trommelzucht, dan wel schade aan de zwemblaas, te voorkomen (Vriese *et al.*, 2006). Tabel 2.2 geeft een indeling van de verschillende taxa van vissen en hun type zwemblaas.

Tabel 2.2. Indeling van vissen taxa naar zwemblaas type (bovenste drie klassen, geen zwemblaas) (bron: Brown *et al.*, 2014).



Vissen die op de bodem leven hebben geen zwemblaas nodig. Platvissen (*Pleuronectiformes*) bijvoorbeeld, hebben geen zwemblaas, net als de vele grondelsoorten (*Gobiidae*). Ook een vis als de Spaanse Makreel (*Scomberomorus maculatus*) heeft geen zwemblaas. Het is een roofvis die in zout water leeft. Het voordeel van het niet bezitten van een zwemblaas is, dat de vis kan jagen op alle dieptes zonder daarbij steeds druk in de zwemblaas te hoeven reguleren. Het nadeel is dat er geen neutraal drijfvermogen is. Het op diepte blijven, kost de Spaanse Makreel energie; hij moet continu

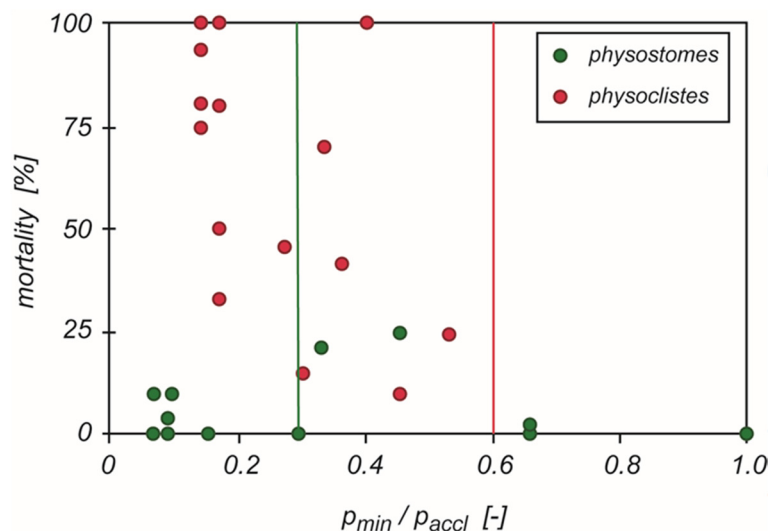
blijven zwemmen. Ook kraakbeenvissen (*Chondrichthyes*), zoals haaien en roggen en de prikken hebben geen zwemblaas (Vriese *et al.*, 2006).

Het mag duidelijk zijn dat veel vissoorten die voorkomen bij IJmuiden (grondelsoorten en platvissen), geen zwemblaas hebben en dus ongevoelig zijn voor barotrauma bij passage van de SO-IJ. Daarnaast is er een grote groep vissen die behoren tot de physostomen (waaronder haring en sprot, maar ook salmoniden en aal) die van dergelijk drukverschillen weinig last zullen hebben omdat ze gas uit de zwemblaas kunnen ventileren via de *ductus pneumaticus* en de slokdarm. Ook zijn er soorten aanwezig die behoren tot de physoclisten (waaronder de driedoornige stekelbaars) waarvan mag worden aangenomen dat deze mogelijk barotrauma zouden kunnen ondervinden als gevolg van passage door de SO-IJ.

De mate van drukverlaging ten opzichte van de druk waaraan vissen zijn geacclimatiseerd (p_{accl}), is van groot belang met betrekking tot op het optreden van barotrauma (Cada *et al.*, 1997; Brown *et al.*, 2014). Globaal wordt uitgegaan van de volgende veilige marge voor vissoorten:

- Physostome vissoorten kunnen snel druk verlagen: $p > 0,3 \times p_{accl}$;
- Physocliste vissoorten hebben uren nodig om gas via bloed te laten diffunderen: $p > 0,6 \times p_{accl}$.

Mortaliteit als gevolg van drukverschillen en de hiervoor geldende veilige grenzen worden weergegeven in figuur 2.10.



Figuur 2.10. Mortaliteit (%) als gevolg van drukvermindering

In recent onderzoek (Boys *et al.*, 2016) is specifiek gekeken naar effecten van drukverlaging op eieren en vislarven (tot 22 dagen oud). Larven en eieren van de soorten Golden perch (*Macquaria ambigua*), Silver perch (*Bidyanus bidyanus*) en Murray cod (*Maccullochella peelii*) (baarsachtige physocliste soorten) werden in een drukkamer opgesloten en blootgesteld aan plotselinge drukverlaging. Eieren bleken niet gevoelig voor drukverlaging. Bij de larvale vissen ontstond wel barotrauma (gescheurde zwembalzen en bloedingen). Overigens trad geen mortaliteit op na 24 uur, maar de auteurs namen aan dat vissen met dergelijk letsel uiteindelijk zouden overlijden. Zij kwamen tot de conclusie dat een drukverlaging van $0,4 \times p_{accl}$ voor deze vissen nog acceptabel was.

2.3.6 Periode van vismigratie

Om zoveel mogelijk de huidige situatie ten aanzien van intrekkende en uittrekkende vis in stand te houden is het wenselijk dat gedurende het gehele jaar voldoende migratiemogelijkheden aanwezig zijn. Bij voorkeur werken de vismigratievoorzieningen daarom jaarrond. Uit onderzoek aan het visvriendelijk beheer van de Afsluitdijk (Vriese *et al.*, 2015) is gebleken dat de eerder genoemde kleine vissoorten die gebruik maken van selectief getijden transport dit eigenlijk alleen in de **nacht** deden. **Overdag** hebben ook bemonsteringen plaatsgevonden maar in die bemonsteringen werden glasaal, botlarven en driedoornige stekelbaars nauwelijks aangetroffen. Van andere soorten, waaronder zalm en zeeforel, is bekend dat deze in hydraulisch complexe situaties juist overdag migreren, zodat ze hun zichtvermogen kunnen gebruiken bij de oriëntatie. Passage van de vistrappen op de Maas door de grote salmoniden vindt voornamelijk gedurende de dag plaats (Vriese & Boerkamp, 2015). Dit betekent dat er zowel overdag als 's nachts migratiemogelijkheden moeten zijn.

2.4 Passage van vissen via de SO-IJ

Op basis van voorgaande paragraaf zijn de volgende aspecten met betrekking tot vismigratie van belang om in ogenschouw te nemen als het gaat om de migreerbaarheid van de SO-IJ en de risico's voor vis;

- Vissoorten moeten aan het oppervlakte, c.q. in de bovenste waterlagen (pelagisch) kunnen passeren en passage langs de bodem moet mogelijk zijn;
- Sommige vissoorten hebben een voorkeur voor migratie overdag, andere vissoorten prefereren een nachtelijke migratie;
- Bij de mogelijkheden tot passage moet rekening gehouden worden met de fysieke kenmerken van zwakke zwemmers en sterke zwemmers;
- Vissoorten die gebruik maken van selectief getijden transport (via instroom van zout water omstreeks gelijk peil) moeten landinwaarts kunnen migreren via het SO-middel;
- Bij passage door de SO-IJ dienen de optredende drukverschillen binnen de veilige grenzen voor physocliste vissen te blijven.

In deze paragraaf worden de daartoe noodzakelijke migratieroutes langs de SO-IJ in groter detail besproken, evenals de optredende fysieke condities (stroomsnelheid, druk, zoutgehalte en temperatuur).

2.4.1 Migratieroute en -periode

Zoals uit het voorgaande is gebleken dienen er over de gehele waterkolom migratiemogelijkheden zijn voor passage van de SO-IJ. Tegen de bodem migreren de min of meer bentische vissoorten, terwijl de vissoorten die pelagisch georiënteerd zijn veelal in het bovenste deel van de waterkolom of aan het wateroppervlak migreren. Dit geldt zowel voor landinwaarts als zeewaarts gerichte migratie.

Passagemogelijkheden via de onderste waterlaag en tegen de bodem zijn gegarandeerd door de aanwezigheid van de opening van 80 m lang en 7 m hoog, tussen de twee landhoofden van de SO-IJ. Vrijwel de gehele diepe bodemzone is hierdoor goed passeerbaar, los van eventuele beperkingen vanuit de stroomsnelheid of zoutgehalte (zie volgende paragrafen).

Problematischer is de situatie aan de **oever** en aan de **oppervlakte** van het Binnenspuikanaal (bovenste deel van de waterkolom). Tegen de oever bevinden zich de landhoofden, tussen de landhoofden bevindt zich de wand van de SO-IJ. Vissen kunnen de SO-IJ hierdoor niet passeren via de bovenste waterlagen of via de oevers (voor vissen waarvan de migratie min of meer georiënteerd

is op de oevers van het Binnenspuikanaal). Om passage van vissen ook op deze locaties mogelijk te maken dienen hiervoor vismigratievoorzieningen te worden gerealiseerd.

Vanuit het oogpunt van de migratie is een zo lang mogelijke migratiewindow gewenst via de genoemde posities in de waterkolom (bodem, oppervlak en oever). De diverse vissoorten en levensstadia daarvan migreren op verschillende momenten in het jaar en gedurende de dag. Bij voorkeur dienen vismigratievoorzieningen daarom gedurende het hele jaar 24/7 passeerbaar te zijn. De opening van de SO-IJ zelf is niet afsluitbaar en daarmee te allen tijde geopend.

2.4.2 Stroomsnelheid in opening SO-IJ

In figuur 2.5 is de stroomsnelheidsverdeling weergegeven bij een opgelegd verval van 5 cm en een debiet van 700 m³/s (uitgaande van een uniforme dichtheid). De maximale stroomsnelheden zijn in dat geval aanwezig direct onder de SO-IJ en aan de benedenstroomse zijde hiervan. Op basis van deze figuur is in te schatten dat bij een debiet van 500 m³/s (i.p.v. 700 m³/s) de maximale snelheden ca. 1,0 m/s zouden bedragen (i.p.v. 1,4 m/s). Deze maximale stroomsnelheden treden op, op het hellende stuk (1:5) aan de benedenstroomse zijde van de SO-IJ. Ook is in deze figuur te zien dat de stroming na passage van de SO-IJ redelijk dicht aan de bodem blijft en daardoor, qua snelheid, redelijk hoog. In de waterkolom (op het traject naar de spui/gemaal met een diepte van -12 m NAP) nemen deze stroomsnelheden naar boven toe geleidelijk af, waarbij aan het wateroppervlak stroomsnelheden van 0,4-0,5 m/s ontstaan. Vlak na de SO-IJ liggen de stroomsnelheden in de waterkolom aanzienlijk lager, veelal maximaal enkele centimeters tot decimeters per seconde.

Los van de beperkingen die deze modellering heeft (er is geen rekening gehouden met dichtheidsverschillen) is er geen sprake van extreem hoge stroomsnelheden. Afvoeren van honderden kubieke meters per seconde, zoals gebruikt in deze modellering, komen overigens slechts bij hoge uitzondering voor. Op basis van de afvoer van de eerste helft van 2013 ligt de 90-percentielwaarde van de gemiddelde stroomsnelheid onder de SO-IJ in de orde van grootte van 0,5 m/s (zie figuur 2.6). Dit is de gemiddelde stroomsnelheid tijdens spuien/malen. Wanneer er niet gespuid/bemalen wordt, is er geen stroming onder de SO-IJ. Zoals eerder aangegeven is dit circa de helft van de tijd het geval.

Een en ander houdt in dat zwakke zwemmers over het algemeen slechts bij uitzondering de SO-IJ niet tegen de stroom in kunnen passeren of tegen hun wil in worden meegevoerd richting spui/gemaal. Wat betreft de stroomopwaartse migratie is dit niet problematisch; het merendeel van de tijd is er geen of nauwelijks stroming en is stroomopwaartse passage mogelijk. De tijd dat er wel aanzienlijk stroming is, bestaat het gevaar dat de zwakke zwemmers, die zich bovenstrooms en benedenstrooms van de SO-IJ bevinden, worden uitgespoeld via spui/gemaal. Voor zwakke zwemmers die tegen de bodem migreren, is dit risico bij toepassing van de SO-IJ groter dan in de huidige situatie. In de huidige situatie zijn de stroomsnelheden tegen de bodem van het Binnenspuikanaal lager en komen zwakke zwemmers pas in de gevarenzone wanneer deze zich vlak bij spui/gemaal bevinden.

2.4.3 Druk

Met betrekking tot het optreden van barotrauma bij vissen zijn de volgende factoren van belang;

1. de druk waaraan de dieren zijn geacclimatiseerd;
2. de plotselinge drukverlaging die ze doormaken.

Een plotselinge toename van de druk is voor vissen geen enkel probleem (Čada *et al.*, 1997, pag. 4 en 5). In experimenten in de Verenigde Staten werden vissen (zalm, Amerikaanse meerforel, 'fall fish',

een cyprinide soort) blootgesteld aan een plotselinge druk toename tot wel 20 bar. Hierbij trad geen directe mortaliteit op en ook geen uitgestelde sterfte (na 7 dagen opslag). Bij snelle passage van de SO-IJ is (afhankelijk van de positie van de vis in de waterkolom) eerst sprake van een drukopbouw (vissen die vanaf de oppervlakte onder de SO-IJ doorgaan, kennen een drukopbouw van maximaal 2,3 bar (tot -23 m NAP)). Gezien de snelheid waarmee deze passage plaatsvindt, treedt geen acclimatisatie op aan deze druk. Onafhankelijk van de diepte waar deze vissen na passage terecht komen, de zwemblaas zal (na samen gedrukt te zijn op het diepste punt) haar uiteindelijke grootte weer aannemen.

Barotrauma kan alleen ontstaan wanneer vissen bovenstrooms van de SO-IJ zijn geacclimatiseerd aan relatief hoge druk, onder de SO-IJ doorgaan en vervolgens terecht komen in aanzienlijk ondiepere delen van het kanaal (drukverlaging). Deze vissen bevinden zich voor passage van de SO-IJ dus laag in de waterkolom en komen na passage van de SO-IJ in de bovenste waterlagen terecht. In de praktijk zal dit alleen gebeuren met vissen die onvoldoende zwemcapaciteit hebben om zich in de optredende stroomsnelheden te handhaven en daardoor ongewild meegevoerd worden met de waterstroom. Sterke zwemmers zijn in staat zich, al dan niet zwemmend, op een bepaalde diepte te handhaven om zo ongewenste situaties (drukverschillen) te mijden.

Het optreden van barotrauma zal dus vooral plaatsvinden indien vissen op relatief grote diepte komen aanzwemmen en na passage door de SO-IJ door (turbulente) hydraulische omstandigheden binnen een relatief korte periode in de hogere waterlagen terecht komen (passief verticaal transport). Hierdoor is er onvoldoende tijd voor acclimatisatie. Indien een vis over voldoende zwemcapaciteit beschikt om de heersende stromingscondities te kunnen weerstaan ligt een dergelijke verticale migratie niet in de lijn der verwachting en zal de vis pas naar de hogere waterlagen migreren indien de fysiologische omstandigheden dit toelaten.

In tabel 2.2 is een overzicht gegeven van drukverschillen die vissen in theorie ondervinden bij passage door de SO-IJ. Deze drukverschillen zijn gerelateerd aan de waterdiepte waarop vissen zich bevinden voorafgaand en na afloop van passage van de SO-IJ. De combinaties van dieptes waarbij barotrauma kan optreden zijn weergegeven, waarbij uitgegaan is van de veilige waarden voor physocliste vissen uit figuur 2.10 ($0,6 \times \text{Paccl}$) en de waarde ($0,4 \times \text{Paccl}$) zoals gevonden door Boys *et al.* (2016). Voor physostome vissen geldt dat deze uitgaande van de eerder genoemde veilige waarde veilig kunnen passeren, waarbij er vrijwel geen kans op sterfte als gevolg van barotrauma. Voor physocliste vissen is er wel een risico op sterfte. Afhankelijk van de toegepaste veilige waarde ($0,3$ of $0,4 \times \text{Paccl}$) is dit risico in meer of mindere mate aanwezig, maar enkel bij vissen die van grote diepte naar de bovenste waterlagen gaan. Een en ander is mede afhankelijk van waar de vis terecht komt in de waterkolom. Wanneer de vis langs de bodem wordt verplaatst, zijn de risico's relatief beperkt tot nihil.

Tabel 2.2. Drukverandering (uitgedrukt als P_{min}/P_{accl}) bij passage van de SO-IJ in relatie tot diepte (m). De gearceerde vlakken geven de dieptes weer (voor en na de SO-IJ) waarbij er kans is op het optreden van barotrauma voor physocliste vissen (0,6 (lichtblauw) en 0,4 (donkerblauw)). Het rode kader geeft de grenzen weer van de waterdiepte op enige afstand van de SO-IJ (voor- en na SO-IJ).

		Waterdiepte t.o.v. oppervlak (voor SO-IJ)																								
Diepte (m)	P (atm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
		1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3		
Waterdiepte t.o.v. oppervlak (na SO-IJ)	1	1,1	1,00	0,92	0,85	0,79	0,73	0,69	0,65	0,61	0,58	0,55	0,52	0,50	0,48	0,46	0,44	0,42	0,41	0,39	0,38	0,37	0,35	0,34	0,33	
	2	1,2	1,09	1,00	0,92	0,86	0,80	0,75	0,71	0,67	0,63	0,60	0,57	0,55	0,52	0,50	0,48	0,46	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,38	0,36	
	3	1,3	1,18	1,08	1,00	0,93	0,87	0,81	0,76	0,72	0,68	0,65	0,62	0,59	0,57	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46	0,45	0,43	0,42	0,41	0,39	
	4	1,4	1,27	1,17	1,08	1,00	0,93	0,88	0,82	0,78	0,74	0,70	0,67	0,64	0,61	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48	0,47	0,45	0,44	0,42	
	5	1,5	1,36	1,25	1,15	1,07	1,00	0,94	0,88	0,83	0,79	0,75	0,71	0,68	0,65	0,63	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48	0,47	0,45	
	6	1,6	1,45	1,33	1,23	1,14	1,07	1,00	0,94	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	0,48	
	7	1,7	1,55	1,42	1,31	1,21	1,13	1,06	1,00	0,94	0,89	0,85	0,81	0,77	0,74	0,71	0,68	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	
	8	1,8	1,64	1,50	1,38	1,29	1,20	1,13	1,06	1,00	0,95	0,90	0,86	0,82	0,78	0,75	0,72	0,69	0,67	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,55	
	9	1,9	1,73	1,58	1,46	1,36	1,27	1,19	1,12	1,06	1,00	0,95	0,90	0,86	0,83	0,79	0,76	0,73	0,70	0,68	0,66	0,63	0,61	0,59	0,58	
	10	2,0	1,82	1,67	1,54	1,43	1,33	1,25	1,18	1,11	1,05	1,00	0,95	0,91	0,87	0,83	0,80	0,77	0,74	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	
	11	2,1	1,91	1,75	1,62	1,50	1,40	1,31	1,24	1,17	1,11	1,05	1,00	0,95	0,91	0,88	0,84	0,81	0,78	0,75	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	
	12	2,2	2,00	1,83	1,69	1,57	1,47	1,38	1,29	1,22	1,16	1,10	1,05	1,00	0,96	0,92	0,88	0,85	0,81	0,79	0,76	0,73	0,71	0,69	0,67	
	13	2,3	2,09	1,92	1,77	1,64	1,53	1,44	1,35	1,28	1,21	1,15	1,10	1,05	1,00	0,96	0,92	0,88	0,85	0,82	0,79	0,77	0,74	0,72	0,70	
	14	2,4	2,18	2,00	1,85	1,71	1,60	1,50	1,41	1,33	1,26	1,20	1,14	1,09	1,04	1,00	0,96	0,92	0,89	0,86	0,83	0,80	0,77	0,75	0,73	
	15	2,5	2,27	2,08	1,92	1,79	1,67	1,56	1,47	1,39	1,32	1,25	1,19	1,14	1,09	1,04	1,00	0,96	0,93	0,89	0,86	0,83	0,81	0,78	0,76	
P _{min} /P _{accl} <0,6																										
P _{min} /P _{accl} <0,4																										

Als voorbeeld, een physostome en physocliste vis bevinden zich tegen de bodem en zijn geacclimatiseerd aan de druk bij een waterdiepte van -23 m NAP. Deze diepte is alleen te vinden direct bij de SO-IJ en is de grootste aldaar aanwezige diepte. In de praktijk zullen weinig vissen (geringe aantallen) aan een dergelijke hoge druk geacclimatiseerd zijn, het kanaal zelf heeft een waterdiepte van circa 17 meter. Deze vissen komen in de relatief snel stromende waterlaag terecht die zich tegen de bodem bevindt en worden meegevoerd over het hellende stuk naar het deel van het kanaal richting spui/gemaal. De waterbodem van dit deel ligt op -12 m NAP. Bij een stroomsnelheid van circa 1 m/s, bij een debiet van 500 m³/s, leggen de vissen dit traject af in plusminus 55 seconden

Voor de physostome vis geldt:

$$P > 0,3 \times P_{accl};$$

$$P_{accl} = 3,3 \text{ bar}; P_{min} = 2,2 \text{ bar};$$

$$P = 0,3 \times 3,3 = 1,0 \text{ (veiligheidsgrens voor drukverlaging) } < 2,2 \text{ bar.}$$

Voor physocliste vis geldt:

$$P > 0,6 \times p_{accl};$$

$$P_{accl} = 3,3 \text{ bar}; P_{min} = 2,2 \text{ bar};$$

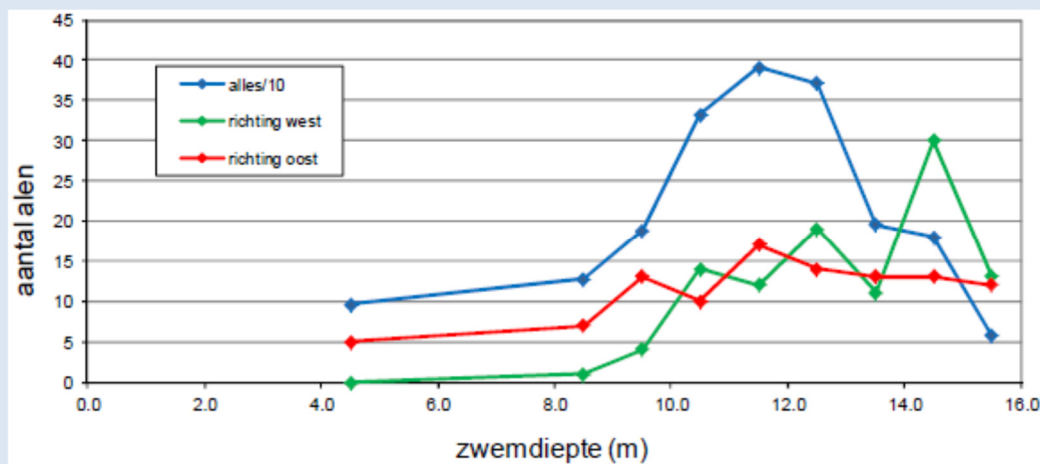
$$P = 0,6 \times 3,3 = 2,0 \text{ bar (veiligheidsgrens voor drukverlaging) } < 2,2 \text{ bar.}$$

Voor beide vissen ligt de drukverlaging in het voorbeeld in de veilige zone en is er daardoor geen risico op barotrauma bij passage door de SO-IJ. Als de grenswaarde voor veilige drukverlaging van Boys *et al.* (2016) wordt gehanteerd, dan is voor physoclisten overigens in nog grotere mate sprake van een veilige situatie ($0,4 \times 3,3 = 1,3 < 2,2$ bar).

Op basis van bovenstaande kan gesteld worden dat wanneer vis geacclimatiseerd aan de hoogst voorkomende druk op 23 m diepte, de SO-IJ passief passeert en wordt meegevoerd door de waterstroom en binnen dezelfde waterlaag blijft, de drukveranderingen voor zowel physostome als physoclisten binnen de veilige marge voor barotrauma liggen. Het is echter niet bekend hoe de exacte stromingen lopen en daarmee de kans voor kleine vis om met de stroom mee naar het oppervlak gevoerd te worden. Hiervoor zou in figuur 2.5 eveneens rekening gehouden moeten worden met dichtheidsverschillen, eventueel met toepassing van vismigratievoorzieningen (zie hoofdstuk 3). Voor physocliste vissen die zich in de diepere waterlagen bevinden en na passage in de bovenste waterlagen terecht komen is er wel kans op barotrauma. Voor de physostome vissen is dit niet het geval.

Intermezzo schieraal

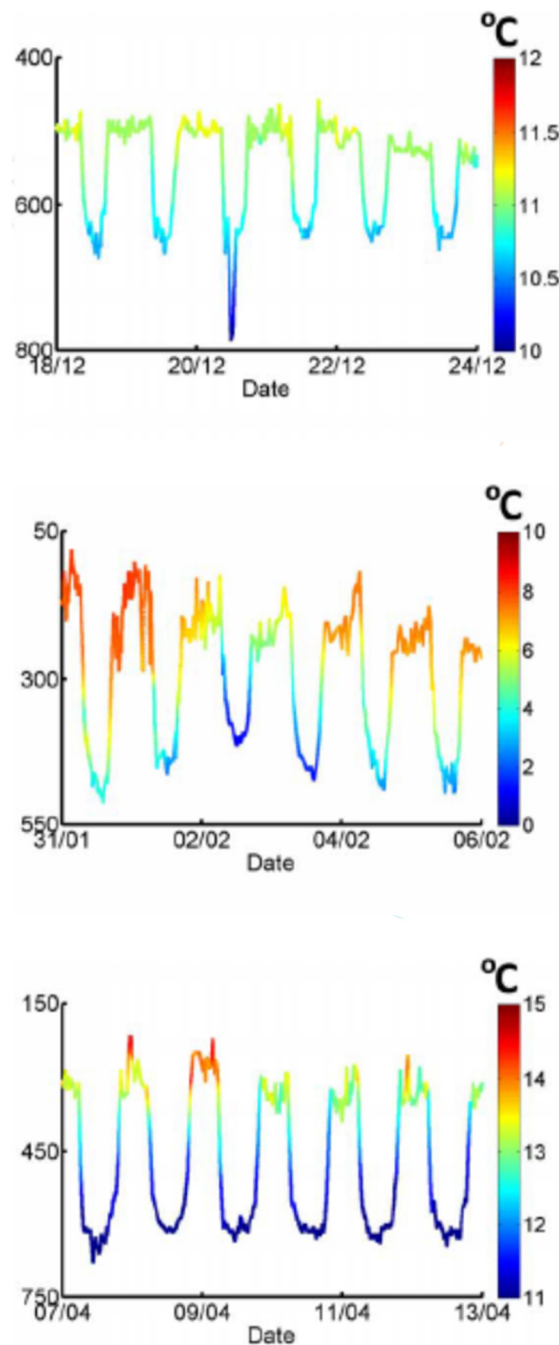
Zoals al eerder aangegeven trekt tweederde van de schieraal die bij IJmuiden arriveert via de route van het Binnenspuikanaal naar de Noordzee. Voor zover dat in de toekomst ook zo blijft, is het belangrijk dat de SO-IJ geen barrière voor deze belangrijke soort vormt. Winter (2011) geeft aan dat de schieraal bij de westwaarts gerichte migratie de zoutgradiënt op het kanaal volgt. Een en ander blijkt uit de zwemdiepte van de schieralen. Deze is onderzocht door Fockens (2011). Onderstaande figuur laat zien hoe de verdeling van de schieralen over de diepte is, ter hoogte van km 8 te Velsen.



Figuur 2.11. Zwemdiepte van schieraal bij passage van detectiestation Velsen (alles en per zwemrichting)

Het merendeel van de schieralen zwemt op een diepte van gemiddeld 11 m. De westwaarts zwemmende alen zwemmen iets dieper (gemiddeld bijna 13 m). De bovenkant van de opening in de SO-IJ ligt op -16 m NAP. De schieralen zwemmen gemiddeld op -13,3 m NAP, waarmee de aansluiting op de SO-IJ redelijk te noemen is. Gezien de zwemdiepte zijn de schieralen aan een relatief hoge druk geacclimatiseerd, waarbij de vraag gesteld kan worden of zij bij een snelle migratie naar spui/gemaal barotrauma kunnen oplopen. Paling is een physostome vissoort. Hiervoor is al berekend dat de drukverlaging binnen de veiligheidsmarge voor physostome soorten ligt. Het is dus zeer onwaarschijnlijk dat dit gebeurt.

Recent onderzoek wijst uit dat schieralen bij hun migratie naar de Sargasso zee een dag-nacht ritme volgen, waarbij overdag op grote diepte wordt gezwommen en gedurende de nacht aanzienlijk ondieper (zie figuur 2.12). De verticale migratie verloopt hierbij over afstanden van honderden meters per etmaal, waarmee de alen in staat zijn te compenseren voor drukverschillen van tientallen bar. Tijdens deze verticale migraties worden ook aanzienlijke temperatuurverschillen overbrugd (van bijna 10 graden tot enkele graden boven 0). De veranderingen in diepte, druk en temperatuur bij het passeren van de SO-IJ vallen hierbij in het niet.



Figuur 2.12. Verticale migratie (primaire Y-as in meters) en temperatuurgradiënt (secundaire Y-as) van enkele alen in het onderzoek van Righton et al., 2016.

2.4.4 Zoutgehalte

Zoals blijkt uit figuur 2.4 wordt in de huidige situatie voornamelijk de brakke tot zoete bovenlaag via de spuisluizen en het gemaal geloosd. In de situatie met de SO-IJ wordt logischerwijs voornamelijk water uit de zoute onderlaag geloosd. Hiermee ontstaat ter plaatse van de SO-IJ een min of meer harde zoet-zout overgang (zie figuur 2.2). Dit heeft consequenties voor de vismigratie. Vis die een voorkeur heeft voor de licht brakke tot zoete bovenlaag kan in de huidige situatie doorzwemmen tot aan de spuisluizen en het gemaal. Hier kunnen zij bij grote afvoeren worden verrast door ter plaatse optredende grotere stroomsnelheden en terecht komen aan de zeezijde van het complex. Er zijn beperkte mogelijkheden tot terugkeer, waardoor de vis uiteindelijk in het zoutere zeewater kan sterven. In de situatie met de SO-IJ (tenminste voor zover de vis de stroomsnelheden kan weerstaan: de stroomsnelheden zijn echter laag (zie figuur 2.5), zeker onder normale condities) zal de vis niet in de buurt van spui/gemaal komen doordat de SO-IJ een barrière vormt op basis van verschillen in zoutgradiënt. Zoetwatervis, die niet naar zee wil trekken, zal uit de zoutere onderlaag wegblijven en heeft daardoor een kleiner risico om naar zee uitgespoeld te worden.

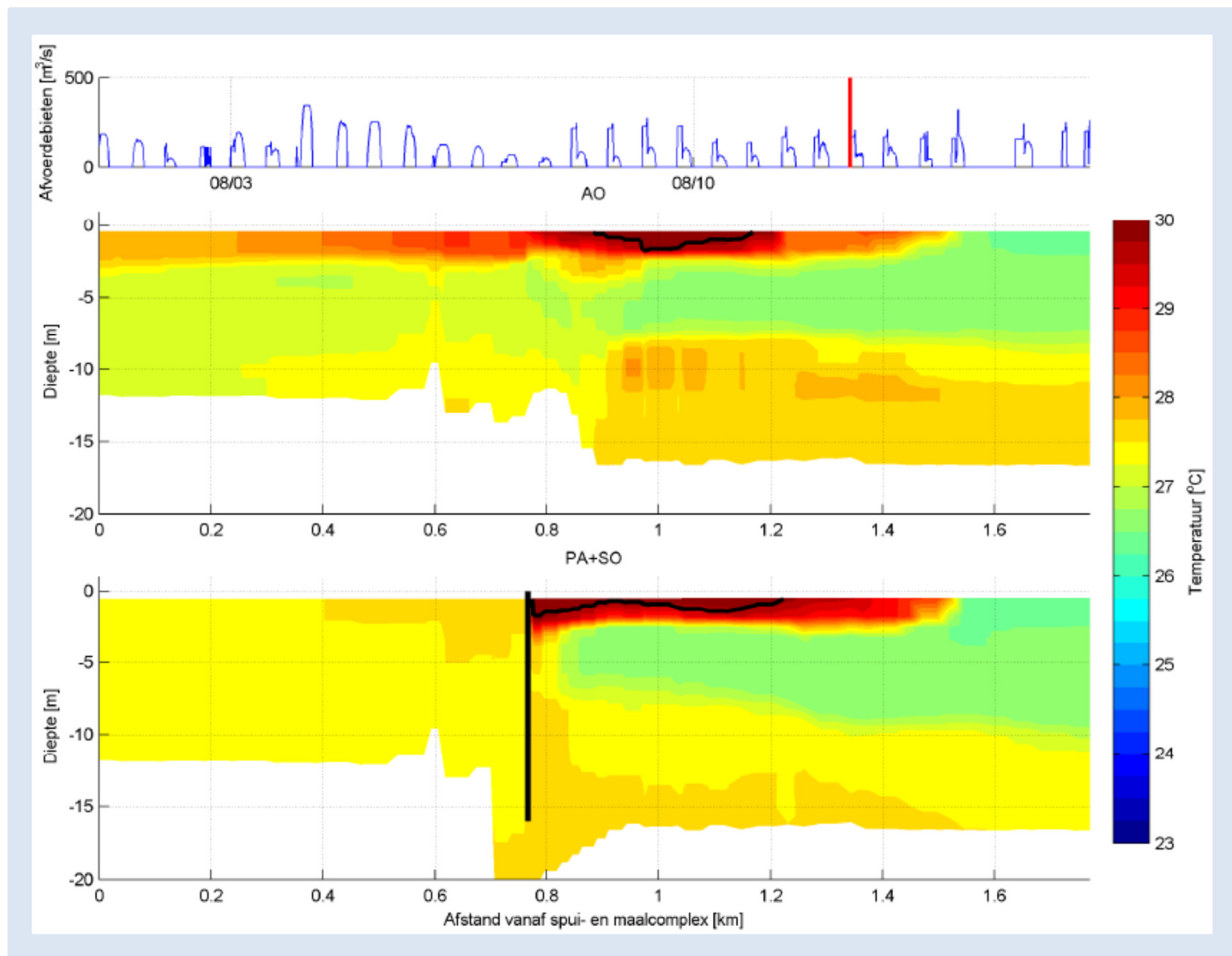
2.4.5 Temperatuur

Met betrekking tot het realiseren van de SO-IJ zijn zorgen geuit ten aanzien van de koelcapaciteit en invloed van koelwaterlozingen door de industrie aan het Noordzeekanaal. Doordat de bovenlaag, waarop koelwater wordt geloosd, niet meer vrij afstroomt richting de spuisluizen en het gemaal, zou verhoging van de temperatuur kunnen optreden met problemen voor de koelwatervoorziening als gevolg. Uit onderzoek van Deltares (Verbruggen & Kleissen, 2017) blijkt dat een en ander waarschijnlijk meevalt. Verbruggen & Kleissen (2017) concluderen het volgende (PA+SO: Projectalternatief +Selectieve Onttrekking; AO: Autonome Ontwikkeling):

- Het stromingspatroon in het Noordzeekanaal (oostelijk van Velsen) verandert niet of nauwelijks door het PA+SO ten opzichte van de AO. Reden is dat het gemiddelde debiet gelijk is, en dat het cumulatieve zouttransport bij monding van het Noordzeekanaal maar weinig verschilt. Ter hoogte van de Amerikahaven, de Westhaven, Voorzaan, de Jan van Riebeeckhaven en de Mercuriushaven is het effect van de SO dus gering;
- Het stromingspatroon in het Noordzeekanaal (westelijk van Velsen) verandert door de SO-IJ. Lokaal zal de stroomsnelheid van de bovenste waterlagen richting Binnenspuikanaal afnemen, c.q. de verblijftijd toenemen. Echter, dit wordt voor een groot deel gecompenseerd door een toename van de uitwisseling door de scheepvaartsluizen (ca. 30 m³/s). De invloed op de resultaten van de immisietoets voor het PA+SO ten opzichte van de huidige situatie (~AO) in Velsen is waarschijnlijk gering.

Zoals te zien valt in figuur 2.13 zijn de verschillen tussen beide alternatieven niet heel groot, zelfs in deze extreme situatie. Naar verwachting zijn er geen consequenties voor de vismigratie. De vissen zoeken van nature koeler water op (i.e. ontwijken waarneembare thermocline), dat op grotere diepte in normale, gemiddelde situaties voldoende voorhanden zal zijn.

In figuur 2.13 lijkt de temperatuursprong over de SO-IJ wel extreem, maar in de praktijk beperkt deze zich tot enkele graden (van 27-28 graden naar 29-30 graden in deze extreme situatie). Wanneer er meer uitwisseling van water is (als gevolg van te realiseren migratievoorzieningen) zal de temperatuursprong ook kleiner worden.



Figuur 2.13. Temperatuur langsdoorsnede van het Binnenspuikanaal (links) naar de Velserkom (rechts) op 12 augustus 2003 09:00:00, AO (boven) en PA+SO (onder). Bron: Verbruggen & Kleissen (2017)

2.5 Verschuivingen in de vismigratie

Zonder in details te treden is het evident dat, wanneer de SO-IJ is gerealiseerd, de lozing van zoet(er) water via de spuisluizen en het gemaal aanzienlijk zal afnemen. Tegelijkertijd zal de lozing van zoet(er) water via de scheepvaartsluizen toenemen. Voor diadrome vis, die aangelokt wordt door zoet(er) water, is het waarschijnlijk dat de focus in grotere mate op de scheepvaartsluizen zal komen te liggen en de intrek via de spuiokers en het Binnenspuikanaal zal verminderen. Of dit consequenties heeft voor de omvang van de vismigratie naar het Noordzeekanaal is op dit moment niet bekend.

In het verleden is gebleken dat er via de scheepvaartsluizen enorme hoeveelheden vis naar het Noordzeekanaal kunnen trekken. Onderzoek in de Noordersluis heeft aangetoond dat er in de periode 27 maart tot en met 10 mei 2007, minimaal 50 ton vis door de sluis is gezwommen (Kemper, 2007). Naar verwachting zal dit in de toekomst, met een grotere sluis, ook in toenemende mate plaatsvinden, zodat er waarschijnlijk netto geen veranderingen in de omvang van de migratie zullen optreden. Het is echter niet uit te sluiten, dat grotere, meer schuwe vissoorten door de intensieve scheepvaart wordt afgeschrikt (grotere schepen, grotere motoren, meer turbulentie en geluid).

3 VISMIGRATIEVOORZIENINGEN IN DE SELECTIEVE ONTTREKKING-IJMUIDEN

In voorgaand hoofdstuk is ingegaan op de migratiemogelijkheden voor vissen bij implementatie van de SO-IJ. Voor vissen die langs de oevers of via de bovenste waterlagen migreren vormt de SO-IJ een barrière. Zonder aanvullende voorzieningen is passage van de SO-IJ via deze routes niet mogelijk. Passage via de onderste waterlaag is wel mogelijk, via de opening van de SO-IJ. Indien vissen zich hierbij van grote diepte naar de bovenste waterlagen verplaatsen, is er een geringe kans op het optreden van barotrauma. Dit geldt eigenlijk alleen voor physocliste vissen, hoewel ook bij deze groep de drukverschillen meestal binnen de veilige grenzen blijven. In navolgend hoofdstuk wordt ingegaan op te nemen maatregelen/voorzieningen om de vismigratiemogelijkheden in de SO-IJ te optimaliseren.

3.1 Vismigratie via onderste waterlaag SO-IJ

Ongewenste verplaatsing van vis via de SO-IJ kan in theorie optreden bij vissen die niet in staat zijn zich te handhaven in de heersende stroomsnelheden en/of zich niet verzetten tegen eventuele veranderingen in de zoutgradiënt¹. Gezien de berekende stroomsnelheden zal dit alleen het geval zijn bij hoge afvoeren die incidenteel kunnen plaatsvinden en dan met name voor zeer kleine, dan wel juveniele vissen, met een beperkte zwemcapaciteit een risico vormen. Zoals aangegeven is bij physocliste vissen een geringe kans op het optreden van barotrauma.

Gezien het ontwerp van de SO-IJ is het niet mogelijk om eventuele maatregelen te treffen tegen ongewenst transport van kleine/juveniele (physocliste) vissen door de SO-IJ. Toepassing van viswerende maatregelen is niet aan de orde, omdat dit veelal buitengewoon complex is. Daarbij, de groep vissen waar het om gaat, heeft niet voldoende zwemcapaciteit om zich aan de stroming te onttrekken. Viswerende maatregelen zullen hierdoor niet effectief zijn. Toepassing van mechanische systemen (roosters etc.) is eveneens niet mogelijk, om evidente redenen (technisch niet haalbaar, risico op impingement: vis die door stroming wordt vastgedrukt op een rooster, alsook vervuiling door zwevend materiaal).

Naar verwachting heeft enige sterfte onder de juveniele physocliste vissoorten geen wezenlijk effect op de populatie. Veruit het merendeel van de juveniele vissen sterft voor het bereiken van het eerste levensjaar. Door compensatoire mechanisme hebben de overblijvende vissen betere kansen om te groeien. Indien de sterfte na passage van de SO-IJ zoetwatervissen betreft (bijvoorbeeld, de physocliste baarsachtigen) heeft dit eveneens geen effect op de populatie. Zoetwatersoorten die naar zee uitspoelen en niet terug kunnen keren zullen niet overleven in het zoute water. De kans op uitspoeling van deze soorten naar zee wordt, bij realisatie van de SO-IJ, naar verwachting overigens minder doordat de SO-IJ toegang vanuit de zoetere bovenlaag van het kanaal tot het Binnenspuikanaal min of meer verhindert. Zoetwatersoorten vermijden actief zones met hogere zoutgehaltes. De waterlagen met hogere zoutgehaltes worden bij toepassing van de SO-IJ juist naar zee getransporteerd.

Ongewenst vistransport door de SO-IJ kan zo veel mogelijk worden beperkt door de afmetingen van de opening zo groot mogelijk te maken. Hoe groter de dimensies, des te lager de optredende stroomsnelheden, des te minder de genoemde groep vissen met de stroming mee getransporteerd wordt. De afmetingen van de doorlaat worden beperkt door fysieke (hydraulische) en bouwtechnische overwegingen (effectiviteit). Ten aanzien van de opening kan worden gesteld: hoe

¹ De waterlaag die onder de SO-IJ wordt meegezogen heeft een hoge zoutgradiënt, terwijl het kanaalwater relatief zoet is. Vissen dienen eerst in de zoute waterlaag te komen alvorens er kans is om meegezogen te worden. Dit is niet van toepassing indien zoet water onder de SO-IJ zou doorgaan.

groter hoe beter, waarbij de hoogte van de opening eveneens gemaximaliseerd moet worden in verband met de best mogelijke aansluiting voor migrerende schieraal. Een hogere opening heeft echter consequenties voor het functioneren van de SO-IJ (minder effectief voor selectief transport van watervolume met hoger zoutgehalte).

Gezien de beperkte stroomsnelheden onder de SO-IJ is stroomopwaartse migratie over het algemeen geen probleem voor de meeste vissoorten en zeker niet indien er niet bemalen/gespuid wordt. Met betrekking tot de opening in de SO-IJ geldt dat hier een bodembescherming toegepast zal moeten worden. Door gebruik te maken van breuksteen (afmetingen bij benadering 0,2-0,4 meter) wordt een luwe zone gecreëerd waarin ook de zwakkere zwemmers tijdens malen/spuien via de bodem van de SO-IJ stroomopwaarts kunnen zwemmen. Geredeneerd vanuit de vismigratie hoeft dit geen dikke laag te zijn, circa 0,5 m is in principe voldoende.

Problemen met betrekking tot de schieraalmigratie worden bij het huidige ontwerp (opening 80 x 7 m) voornamelijk niet verwacht. De schieralen volgen de zoutgradiënt en worden aangetrokken door het zoute water, waardoor de in de zouttong gelegen opening goed passeerbaar zal zijn. De fysische, hydraulische omstandigheden bij passage liggen ruimschoots binnen de fysieke capaciteiten van deze soort. Tijdens schieraalmonitoring komend najaar-winter zal met dieptesensoren de zwemdiepte van schieraal ter hoogte van IJmuiden worden vastgesteld.

3.2 Vismigratie via de bovenste waterlaag van de SO-IJ en langs de oevers

De SO-IJ vormt een barrière voor vissoorten, en leeftijdsklassen daarvan, die pelagisch en aan de oppervlakte migreren, of vissoorten die gericht naar een zoete lokstroom zoeken. Voor deze groep dienen maatregelen te worden getroffen om de SO-IJ passeerbaar te maken in stroomopwaartse en stroomafwaartse richting. In de navolgende paragrafen worden maatregelen besproken, evenals de hiervoor geldende randvoorwaarden.

3.2.1 Randvoorwaarden

Randvoorwaarden die gesteld worden voor oplossingen om de migratie van vis in de bovenste (zoete)waterlagen te waarborgen zijn:

- Ontwerpdebiet van één of meerdere vismigratievoorzieningen is maximaal 5% van de gemiddelde afvoer (68 m³/s), resulterend in een ontwerpdebiet van 3,4 m³/s (mondelinge mededeling dhr. D. Voortman, RWS);
- De vismigratievoorzieningen dienen afsluitbaar te zijn om het waterverlies te beperken in perioden met weinig afvoer;
- De werking van de voorzieningen moeten na realisatie mogelijkheden bieden voor optimalisatie ten aanzien van stroomsnelheid en debiet;
- De voorzieningen dienen zowel door sterke zwemmers, als door zwakke zwemmers tweezijdig passeerbaar te zijn, alsmede voor soorten die pelagisch voorkomen en voor soorten die zich oriënteren op de oever. Het ontwerp dient hiertoe rekening te houden met de maximale zwemsnelheden (sprintsnelheid) van de zwakke zwemmers. Voor glasaal en driedoornige stekelbaars ligt dit in de range van respectievelijk 0,2 – 0,8 m/s en 0,2 – 0,9 m/s. Bot heeft een iets lagere zwemcapaciteit (0,2- 0,6 m/s). Van deze vissoort wordt echter verwacht dat die voornamelijk onder de SO-IJ passeert (heeft geen zwemblaas) wanneer er enig zoutwater terugstroomt.
- Het peilverschil (totale verval) zal, op basis van de huidige inzichten, variëren tussen 0,05 en 0,10 meter (mededeling dhr. O. Weiler, Deltares). Het optredende peilverschil is afhankelijk van de afvoer en dichtheidsverschillen en daarmee variabel.

Normaliter is de functionaliteit van vispassages primair gericht op stroomopwaarts gerichte migratie van vis. In dit geval dient echter ook de stroomafwaartse migratie via de bovenste waterlagen gefaciliteerd te worden, hoewel de afvoer van zoet water in de praktijk laag is. Voor de efficiëntie is het belangrijk dat vissen de ingang van de vispassage(s) weten te vinden. Voor de vissen die zich tijdens de migratie op de oevers oriënteren (glasaal) zijn migratiemogelijkheden in de nabijheid van de oevers van belang. Voor vissen die zich in het open water ophouden (haring/sprot etc.) zijn migratiemogelijkheden via het midden van de SO-IJ noodzakelijk.

De stroming vanuit een vispassage dient de stroomopwaarts migrerende vissen de vistrap in te lokken. De effectiviteit hiervan is afhankelijk van de locatie van de uitstroomopening, de uitstroomrichting ten opzichte van de hoofdstroom, het debiet van de lokstroom, de stroomsnelheid en het dwarsprofiel van de uitstroom opening. In voorliggende situatie speelt daarnaast het verschil in zoutgradiënt een belangrijke rol. Waarschijnlijk is de invloed hiervan zelfs sterker dan die van de stroming. Voor Nederlandse rivieren wordt normaliter gerekend met een ontwerpdebiet van 5-10% van de totale afvoer (Kroes & Monden, 2005). De huidige 5% komt hiermee overeen, al wordt deze wel verdeeld over meerdere voorzieningen. Waarschijnlijk is het effect hiervan beperkt (zie onderstaand).

De passeerbaarheid van vismigratievoorzieningen is afhankelijk van de stroomsnelheid en (de mogelijkheden tot beperking van) de optredende turbulentie. Afhankelijk van de zwemcapaciteit van een vis en de afstand waarover de stroomsnelheid maximaal is, is een vispassage wel of niet passeerbaar voor een vissoort / lengteklasse van een soort.

Turbulentie is te omschrijven als de woeligheid van het water en vertegenwoordigt een hoeveelheid energie die gedempt dient te worden (Kroes & Monden, 2005) om zodoende een goede migratiecorridor door het migratiekunstwerk te verkrijgen. Om vis de gelegenheid tot rust te geven en desoriëntatie als gevolg van turbulentie te voorkomen, dient de energiedemping voldoende groot te zijn. Normaliter wordt een turbulentie van 100 W/m^3 als maximum gehanteerd voor soorten als snoek, snoekbaars en cypriniden (Kroes & Monden, 2005).

De dimensies van een vismigratievoorziening dienen dusdanig te zijn dat vissen voldoende ruimte hebben om te migreren en er een voldoende grote energiedemping is. De waterdiepte in een vispassage komt bij voorkeur overeen met de diepte in de hoofdstroom, maar dit is in de praktijk vaak niet te realiseren. Voor de grote rivieren in Nederland geldt dat als richtlijn een diepte van 1,5 meter wordt aangehouden (Muyres, 1986). Gezien de grote waterdiepte ter hoogte van de SO-IJ wordt in voorliggende situatie een diepte van 4,0 meter aangehouden. Bij deze diepte is het mogelijk om bij samenkomst van de landhoofden en de oevers benedenstrooms van de SO-IJ enigszins aan te sluiten bij de bestaande waterbodem (op 6,0 meter diepte).

3.2.2 Uitwerking vismigratievoorziening

De SO-IJ, bestaande uit de landhoofden en de verticale wand, heeft als vismigratieknelpunt overeenkomsten met onderlozende stuwten met een beperkt peilverschil. In tegenstelling tot deze onderlozende stuwten is passage via de onderste waterlagen (tegen de bodem), bij de SO-IJ wel mogelijk. Oplossingsrichtingen voor vismigratieknelpunten worden gegeven door Kroes & Monden (2005; richtingwijzer stromende wateren deel 3). Wanneer deze richtingwijzer wordt doorlopen dan blijkt:

1. Het is niet mogelijk de SO-IJ te vervangen (deze wordt juist opgericht);
2. Er is sprake van een grote/omvangrijke barrière;
3. De barrière ligt in de "hoofdloop" van het Binnenspuikanaal;

4. Semi-natuurlijke oplossingen zijn niet van toepassing gezien het kunstmatige karakter van het Binnenspuikanaal;
5. Er zijn mogelijkheden voor een oplossing in de hoofdstroom.

Op basis van bovenstaande antwoorden kan gekozen worden voor een stenen vispassage of een technische oplossing in de hoofdloop. Een stenen vispassage is een oplossing die vaak gehanteerd wordt in beken en rivieren en oogt relatief natuurlijk. Voor een kunstmatig water als het Binnenspuikanaal, met daarin een kunstwerk als de SO-IJ is een dergelijke vispassage niet op zijn plaats. Bovendien is de waterdiepte van een dergelijke vispassage bij de eerder genoemde randvoorwaarden te beperkt om daadwerkelijk goed te functioneren. Een technische oplossing past beter in een kunstmatige omgeving als deze. Technische oplossingen zijn bijvoorbeeld (Kroes & Monden, 2005);

- Bekkenpassages (V-vormige overlaten, vertical slot of een combinatie van beiden, 'De Wit-vispassage');
- Hevelvispassage;
- Vissluis/vislift;
- Aalgoot.

Op basis van expert judgement is beoordeeld dat voor deze specifieke situatie een bekkenpassage, in het bijzonder "vertical slot" vispassage de beste mogelijkheden biedt, waarbij deze gecombineerd worden met borstels zoals deze in aalgoten gebruikt worden.

Ten opzichte van hevelvispassages en vissluizen/-liften, hebben de bekkervispassages als voordeel dat deze effectief zijn en geen onderhoud behoeven aan pompen, deuren en andere mechanismen. Tevens zijn ze technisch makkelijk te integreren in de SO-IJ, waarbij de functionaliteit in het oog blijft (inzwemopening), tamelijk ongevoelig zijn voor peilwisselingen (deze worden gelijkmatig verdeeld over de slots) en compact van aard, waardoor er geen groot ruimtebeslag mee is gemoeid. Aalgoten bieden enkel passage mogelijkheden voor juveniele aal.

Binnen de bekkenpassages gaat, zoals aangegeven, de voorkeur uit naar de "vertical slot" vispassage. Door de grote verticale openingen wordt een aanzienlijke (migratie)diepterange bereikt, dit in tegenstelling to een "De Wit" vispassage, met alleen kleine onderwateropeningen. Daarnaast is de kans op verstopping aanzienlijk kleiner. V-vormige overlaten zijn minder geschikt door het relatief grote debiet dat noodzakelijk is en het ontbreken van een aansluiting met de bodem (indien geen vertical slots worden toegepast).

Vooralsnog wordt uitgegaan van drie locaties in de SO-IJ met vertical slots. Dit betreft vispassages aan beide oevers (tegen de landhoofden) en één vertical slot vispassage in het midden van de SO-IJ. De vispassages aan beide oevers zijn primair gericht op vissoorten die zich langs de oevers stroomopwaarts verplaatsen. Een goede aansluiting van de ingang van de vispassage met de waterbodem is daarom van groot belang. De vertical slot vispassage in het midden van de SO-IJ is gericht op pelagische vissen die in het open water voorkomen. Deze vispassage heeft uiteraard geen aansluiting met de bodem.

Om de migratie van glasaal te faciliteren dienen de wanden van de vertical slots voorzien te worden van borstels, zoals deze ook in aalgoten toegepast worden (zie figuur 3.4). Het betreft hier borstelmatten met standaard afmetingen van 1,0 m bij 0,4 m. De borstels (materiaal: polypropyleen) zijn 7 cm lang. Elk bosje borstels bestaat uit 25 eenheden. De ruimte tussen de borstelbosjes is afhankelijk van de afmetingen van de aal die geacht wordt te passeren en varieert tussen 14 - 21 mm. Voor glasaal worden de kleinste openingen geadviseerd, hoewel ook matten worden gebruikt met

verschillende afmetingen van de openingen, zodat meerdere lengteklassen kunnen passeren (over de volledige eerder genoemde lengterange). Nadere details kunnen worden gevonden in Environment Agency (2011). Aan de bovenstroomse zijde van de vispassage dienen de borstels door te lopen tot buiten de vispassage, om zodoende een mogelijke terugstroom van glasaal te voorkomen. Eventueel kan dit ook aan de benedenstroomse zijde toegepast te worden om de bereikbaarheid van de borstels te verhogen.



Figuur 3.1. Voorbeeld van een borstelmat. Bron: Environment Agency (2011)

De fysieke uitvoering van de drie vertical slot vispassages is in grote lijnen identiek. Uitgegaan wordt van een minimum van vier slots en drie bekkens, welke middels sponningen uit te breiden is tot maximaal tien slots en negen bekkens.

Wat betreft de breedte van de "slots" wordt 0,5 m aangehouden, waarvan 0,1 m is voorzien van borstels. De resterende 0,4 meter is een normale breedte voor grote vissen, zoals zalm (Kroes & Monden, 2005). De hoogte van de slots dient 4,0 m te zijn om zodoende een goede aansluiting met de waterbodem te hebben (6,0 m tegen oever), maar eveneens het debiet door de vispassage enigszins beperkt te houden. De afmetingen van de bekkens dienen te passen bij de dimensies van de slots en een voldoende grote energiedemping te verzorgen. In verband met de toepasbaarheid in de SO-IJ wordt primair uitgegaan van een diepte van 4,0 m (gelijk aan slots), een breedte van 3,5 m (toepasbaar in SO-IJ) en een lengte van minimaal 4,0 m. Hiermee hebben de vertical slot vispassages de volgende kenmerken:

Vertical slot

- Aantal = 4-10;
- Hoogte = 4,0 m;
- Breedte = 0,5 m, waarvan 0,1 m voorzien van borstels (daadwerkelijke borstel hoogte is 0,07 m, rest is wandmateriaal);
- Dikte = 0,25 m.

Bekkens

- Aantal = 3-9;
- Diepte = 4 m;
- Lengte = 4,0 m;
- Breedte = 3,5 m.

Uitgaande van een afvoercoëfficiënt (C) van 0,99 voor het vertical slot en een afvoercoëfficiënt van 0,25 (schatting; geen daadwerkelijke waarden van bekend) voor de borstels zijn de stroomsnelheden en de debieten te berekenen. Deze zijn afhankelijk van het peilverschil. Het totale peilverschil varieert van 0,05 tot maximaal 0,10 m. De afvoer (Q) en van een vertical slot vispassage zijn te berekenen met de volgende formule.

$$Q = C \cdot b \cdot y \cdot \sqrt{2 \times g \times \Delta h}$$

Q = debiet (m³/s);
 C = afvoercoëfficiënt (-);
 b = slotbreedte (m);
 y = waterdiepte voor de sleuf (m);
 g = zwaartekrachtversnelling (m/s²);
 Δh = verval van bekken tot bekken (m).

De energiedemping is als volgt te bepalen:

$$\epsilon = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta h / L \cdot B \cdot y$$

ε = energie per bekken (W/m³);
 ρ = dichtheid van water (998 kg/m³);
 g = zwaartekrachtversnelling (m/s²);
 Q = debiet (m³/s);
 Δh = verval van bekken tot bekken (m);
 L = lengte van het bekken (m);
 B = breedte van het bekken (m);
 y = waterdiepte van het bekken (m).

In onderstaand overzicht is voor verschillende peilverschillen de stroomsnelheid en het debiet weergegeven, evenals de energiedemping in de bekken. Hierbij is gerekend met bekken met een volume van 56 m³ (3,5 x 4 x 4 m).

Tabel 3.1. Stroomsnelheid (m/s), debiet (m³/s) en energiedemping (W/m³) vertical slot vispassage met vier slots, met borstels bij een totaal peilverschil van 0,05 tot 0,1 m.

Peilverschil (m)	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
V slot (m/s)	0,49	0,54	0,58	0,62	0,66	0,69
V borstel (m/s)	0,12	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18
Debiet slot (m ³ /s)	0,78	0,86	0,93	0,99	1,05	1,11
Debiet borstel (m ³ /s)	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07
Debiet totaal (m ³ /s)	0,83	0,91	0,99	1,05	1,12	1,18
Energiedemping (W/m ³)	1,82	2,40	3,02	3,69	4,40	5,15

De stroomsnelheden in de slots variëren in bovenstaand overzicht van circa 0,5 tot 0,7 m/s, tegenover snelheden van 0,1-0,2 m/s door de borstels. Het totale debiet varieert van 0,8 tot 1,2 m³/s en zal gemiddeld circa 1,0 m³/s bedragen. De waarde voor de energiedemping bedraagt circa 5,2 W/m³ (Larinier, 1983, in Kroes & Monden, 2005). Dit betreft een zeer lage waarde. Ter vergelijking, als vuistregel wordt voor snoek en snoekbaars maximaal 100 W/m³ gehanteerd, voor elft, fint en cypriniden 150 W/m³ en voor salmoniden zelfs 200 W/m³. Gezien de vissoorten waar het om gaat, zoals glasaal, driedoornige stekelbaars, etc. is een zeer lage turbulentie wel aan te bevelen. De stroomsnelheid in de bekkens is zeer laag. Uitgaande van een doorstroomd oppervlak van 14 m², ligt deze gemiddeld op 0,06 m/s. De bodem van de bekkens is voorzien van een laag breuksteen (afmetingen bij benadering 0,2 – 0,4 m) waardoor er grote interstitiële ruimtes ontstaan. Macrofauna en kleine bodemgebonden vissen kunnen hier tijdens hun migratie gebruik van maken.

Door de instroom van zoet water via de vertical slots zal er in beperkte mate zout water uit het tussenpand, het Binnenspuikanaal, terugstromen naar het kanaal via de opening in de SO-IJ. Dit is overigens het geval tot het drukverschil tussen het water in het Noordzeekanaal en het zoutere water in het Binnenspuikanaal is hersteld. Het zoete water zal zich in het Binnenspuikanaal als een laag op het zoute water uitbreiden. Het tussenpand zal op deze wijze in steeds grotere mate uit zoetwater bestaan dat zich als een steeds dikker wordende laag op het zoute water bevindt. De mate waarin dit plaatsvindt is afhankelijk van de toevoer van zoet water en het verval, dat op den duur zal afnemen.

De terugstroom van zout water naar het Noordzeekanaal, op het moment dat er niet gespuid/bemalen wordt, kan mogelijk voor de vismigratie een functie vervullen voor vissoorten die nog gebruik wensen te maken van selectief getijden transport, zoals botlarven, maar al wel het gemaal en de spuisluizen gepasseerd zijn. De periode waarin er zoutwater terugstroomt, komt in grote lijnen overeen met de periode van hoogwater aan de zeezijde van het gemaal/spuisluizen (circa acht uur per getij). Dit is de periode waarin selectief-getijden migranten gebruik maken van de getijdestroom. Het openen van de spuisluizen net voor of na gelijk peil (bij afgaand water), blijkt bij de spuisluizen van de Afsluitdijk en de Cleveringsluizen bij het Lauwersmeer tot periodiek grote intrek/instroom van doelsoorten als glasaal en driedoornige stekelbaars te leiden.

Scheepvaartsluis in de SO-IJ

Naar verwachting komt er ook een mogelijkheid voor (onderhouds)schepen om de SO-IJ te passeren. Zoals eerder aangegeven, gedacht wordt in de richting van een kleine scheepvaartsluis, dan wel een klep in de SO-IJ die kan worden neergelaten als er een schip moet passeren. In de situatie met een scheepvaartsluis kan er mogelijk een visvriendelijk beheer geautomatiseerd worden toegepast, met loze schuttingen en lokstromen via de rinketten (voor zover van toepassing). De vraag is echter in welke mate dit iets toevoegt in de situatie met drie vertical slot passages in de SO-IJ. Een combinatie van vismigratiefunctie en scheepvaartfunctie is nader uit te werken indien meer bekend is over de scheepvaartfunctie.

3.2.3 Flexibiliteit, onderhoud en monitoring

De in dit hoofdstuk genoemde vismigratievoorzieningen dienen gerealiseerd te worden gelijktijdig met de bouw van de SO-IJ. Nadeel hiervan is dat exacte omstandigheden, zoals deze plaatsvinden na realisatie van de SO-IJ, onbekend zijn. Middels modellen is en worden deze echter zo nauwkeurig mogelijk in kaart gebracht. Wat betreft de richtlijnen van de vismigratievoorzieningen kunnen eerder genoemde kenmerken als leidraad fungeren. Geadviseerd wordt echter enige flexibiliteit binnen dit ontwerp te realiseren om, wanneer de SO-IJ daadwerkelijk gerealiseerd is, de vismigratie

voorzieningen middels monitoring te optimaliseren aan de heersende omstandigheden. Te denken valt aan flexibiliteit in;

- Meerdere (afsluitbare) inzwemopeningen van de vispassages die tegen de wanden van de landhoofden zijn gesitueerd. De inzwemopening die geopend wordt is de opening alwaar zich de meeste doelsoorten verzamelen. Gedurende het jaar kunnen dit, met verschillende doelsoorten en eigenschappen, in theorie verschillende inzwemopeningen zijn;
- Meerdere sponningen in de vispassage waarmee een veelvoud aan bekkens (3-9; afmetingen zie vorige paragraaf) en slots (4-10; afmetingen zie vorige paragraaf) gecreëerd kan worden (eventueel draaibaar) om zodoende de stroomsnelheid nog verder te beperken indien dit noodzakelijk blijkt (uit monitoring), of juist te verhogen indien de mogelijkheden hiertoe geschikt geacht worden.

In figuur 3.2 tot en met figuur 3.6 is een impressie gegeven van een mogelijk ontwerp van de vispassages met daarbij de gewenste flexibiliteit wat betreft sponningen en openingen. In navolgende tabel wordt het theoretische effect van het aanbrengen van meerdere slots op de stroomsnelheid en het debiet weergegeven bij een vast peilverschil van 0,1 m. Op een gegeven moment wordt het peilverschil per slot echter dermate klein, dat het de vraag is of de verkregen waarden nog correct zijn.

Tabel 3.2. Theoretische stroomsnelheid (m/s), debiet (m³/s) en energiedemping (W/m³) vertical slot vispassage met borstels bij een peilverschil van 0,1 meter en een variabel aantal slots, bij een gelijk blijvend bekkenvolume.

Aantal slots	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30
Peilverschil per slot (cm)	10,0	5,0	3,3	2,5	2,0	1,7	1,4	1,3	1,1	1,0	0,7	0,5	0,3
V slot (m/s)	1,39	0,98	0,8	0,69	0,62	0,57	0,52	0,49	0,46	0,44	0,36	0,31	0,25
V borstel (m/s)	0,35	0,25	0,2	0,18	0,16	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,09	0,08	0,06
Debiet slot (m ³ /s)	2,22	1,57	1,28	1,11	0,99	0,91	0,84	0,78	0,74	0,7	0,57	0,5	0,41
Debiet borstel (m ³ /s)	0,14	0,1	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
Debiet totaal (m ³ /s)	2,36	1,67	1,36	1,18	1,05	0,96	0,89	0,83	0,79	0,75	0,61	0,53	0,43
Energiedemping (W/m ³)	41,24	14,58	7,94	5,15	3,69	2,81	2,23	1,82	1,53	1,3	0,71	0,46	0,25

Alle vispassages dienen van bovenaf toegankelijk te zijn voor metingen en onderhoud van de voorzieningen. Door aangroei van kalkkokerwormen en Japanse oesters is er risico op het dichtgroeien van de slots en kan zich drijfvuil voor en in de vispassage ophopen. Het ontwerp moet met preventie- en reinigingsmogelijkheden rekening houden (vuilvanginstallatie, drijfbalk). De vismigratievoorzieningen dienen minimaal 2 keer per jaar te worden gecontroleerd. Hiervoor dient budget en mankracht te worden gereserveerd. De drie vertical slot vispassages dienen daarnaast aan bovenstroomse zijde afsluitbaar te zijn.

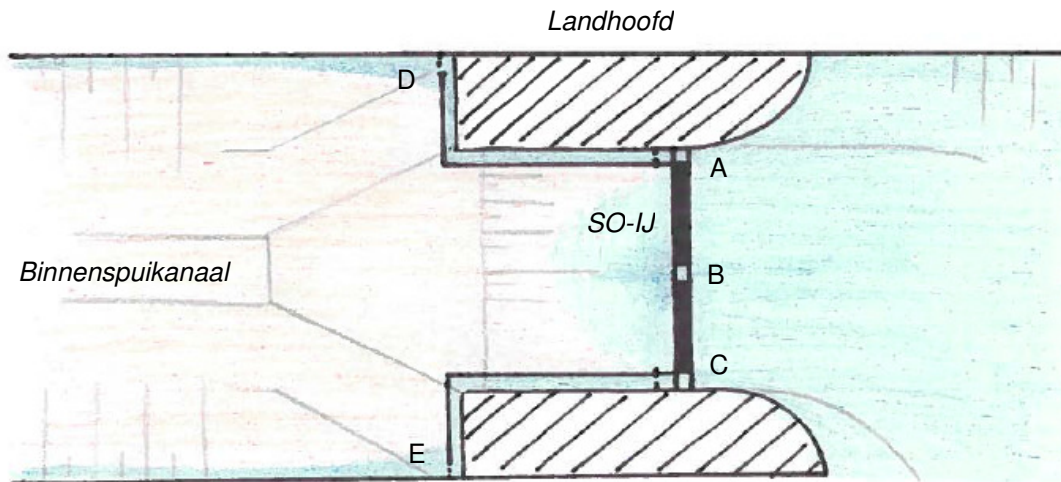
Afsluitbaarheid vispassages

Effectieve vismigratievoorzieningen tegen de oevers en bovenin de waterkolom gaan, door de instroom van zoet water via de vismigratievoorzieningen, gepaard met een verlies van zoet water uit het Binnenspuikanaal. Mochten er redenen zijn dat verlies van zoet water via de vismigratievoorzieningen niet acceptabel is, dan kunnen deze worden afgesloten. Dit zal zich voornamelijk in de zomer voordoen bij weinig neerslag en lage afvoeren. Vanuit het oogpunt van de vismigratie is dit niet heel problematisch, hoewel er idealiter altijd een open verbinding is. In het vroege voorjaar en het begin van de zomer is het zeer belangrijk dat de migratievoorzieningen werken voor de intrek van glasaal, driedoornige stekelbaars, bot en andere juvenielen. Hoewel de migratie van gepigmenteerde juveniele aal nog lang kan doorgaan, is het hoogtepunt van de voorjaarsmigratie na juni wel achter de rug. Zonodig kunnen de voorzieningen dan tijdelijk of deels gesloten worden, hoewel andere soorten daar hinder van kunnen ondervinden. Globaal wordt er vanuit gegaan dat de schieraalmigratie plaatsvindt in de maanden augustus tot en met december (soms januari en nog later). Afsluiting van de migratievoorzieningen voor deze soort is minder belangrijk daar zij door de grote opening in de SO-IJ zullen migreren.

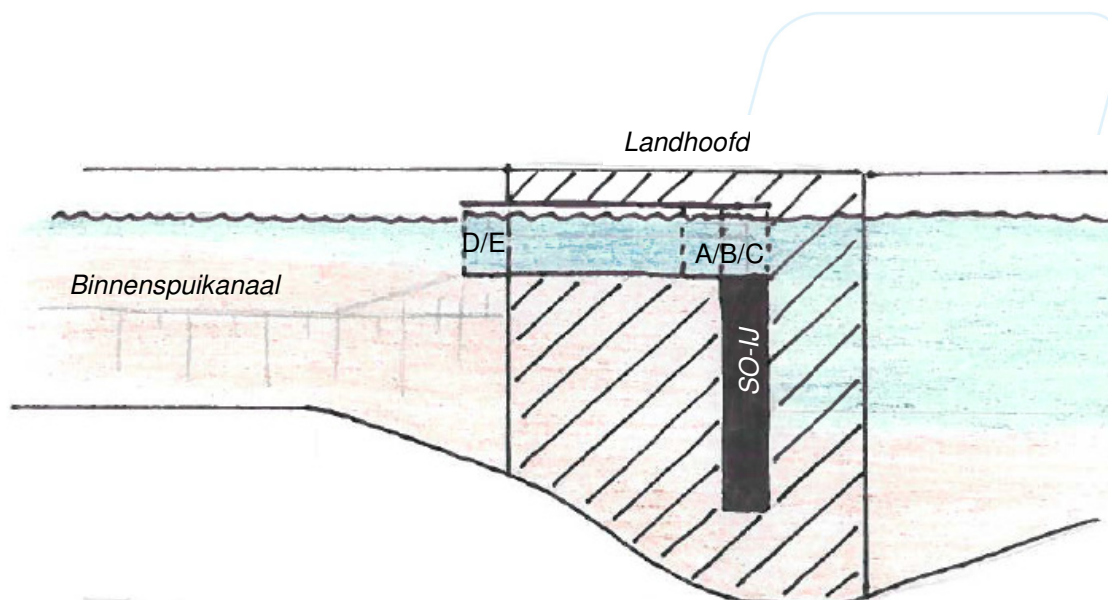
Om de effectiviteit en functionaliteit van de vispassages te kunnen vaststellen, dienen deze te worden voorzien van monitoringsvoorzieningen. Resultaten van deze onderzoeken kunnen als input dienen voor eerder genoemde flexibiliteit van de vispassages (eventuele aanpassingen).

Monitoringsvoorzieningen zijn:

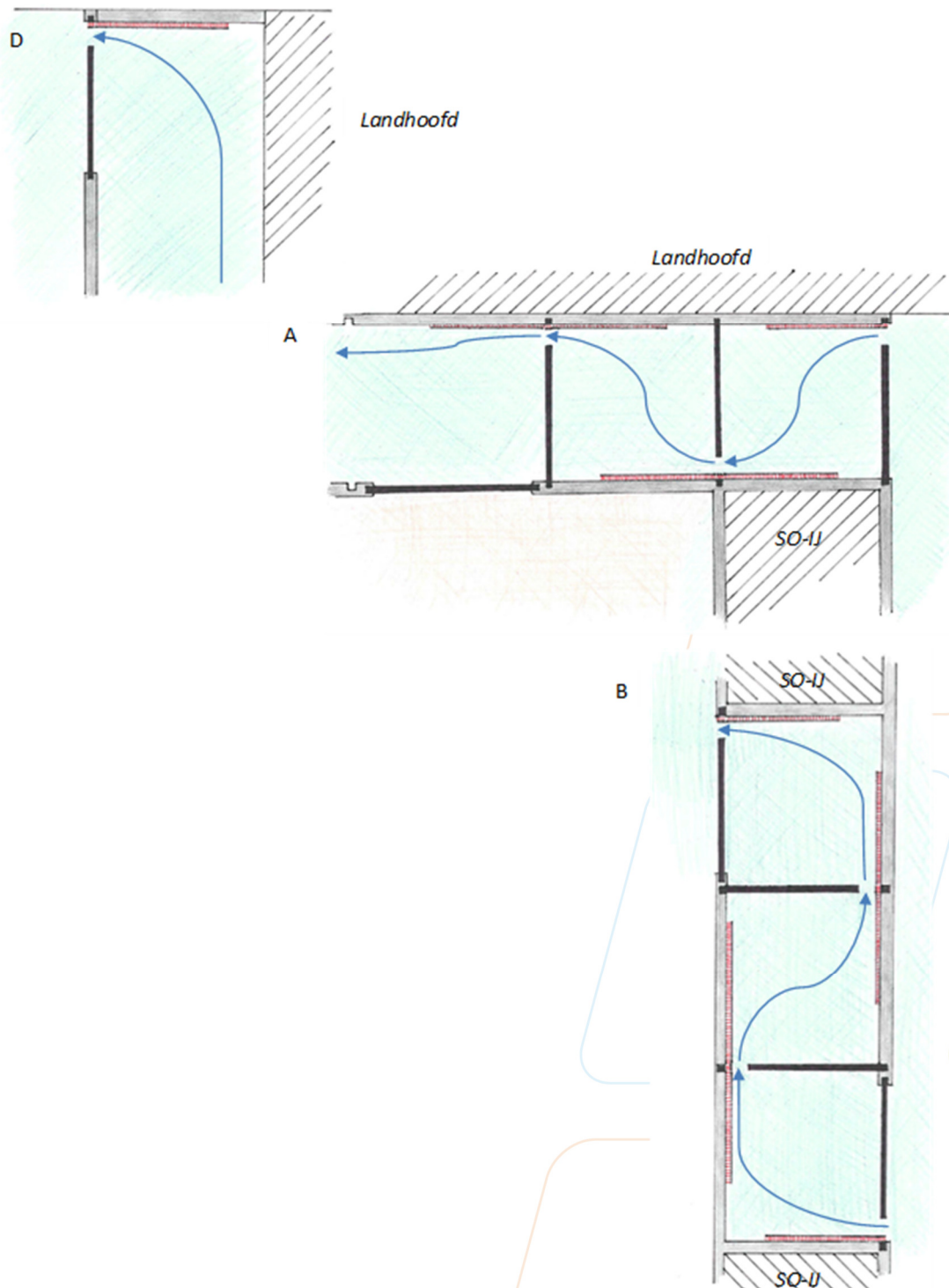
- De openingen aan weerszijden van de SO-IJ dienen beide voorzien te worden van sponningen, zodat hierin netten kunnen worden aangebracht (constructie nader te bepalen). Door hierbij zeer fijnmazig netwerk te gebruiken, kan de migratie van glasaal worden gevolgd;
- De slots dienen te worden voorzien van PIT-tag antennes, inclusief elektriciteitsvoorzieningen. Door vissen te merken met PIT-tags kan de migratie door de slots in beeld worden gebracht. Door de kleinste maat PIT-tags te gebruiken, kunnen ook vissen ter grootte van de driedoornige stekelbaars worden gemerkt. Grotere vissen kunnen worden voorzien van grotere PIT-tags. De passage efficiënties van de afzonderlijke slots kunnen zodoende onderling vergeleken worden. Uit monitoring zou kunnen blijken dat slechts één lokatie (bijvoorbeeld die in het midden van de SO-IJ) met vertical slots voldoende is voor de vismigratie. Eventueel zouden dan openingen afgesloten kunnen worden, omwille van de effectiviteit van de SO-IJ;
- Bovenstrooms en benedenstrooms van de SO-IJ dienen detectiestations van het NEDAP trail system® te worden aangebracht. Hiermee kan ondermeer de schieraalmigratie door de SO-IJ worden gevolgd (effectiviteit, oponthoud etc.);
- Als alternatief voor dit laatste systeem kan eventueel het akoestische Vemco systeem gebruikt worden. Beneden- en bovenstrooms van de SO-IJ kunnen dan hydrofoons worden plaatst en vissen worden voorzien van pingers, zodat hun route door de SO-IJ kan worden gevolgd.



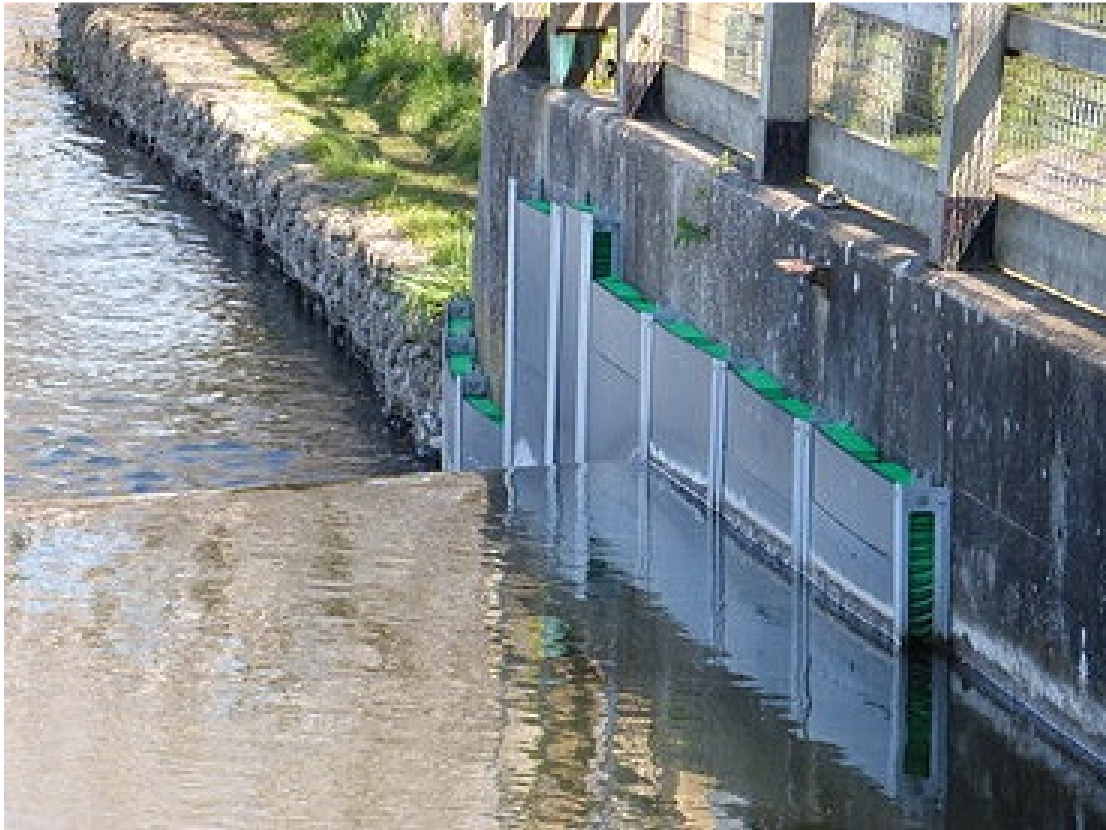
Figuur 3.2. Impressie van de SO-IJ tussen de landhoofden (bovenaanzicht) en een mogelijke toepassing van drie vispassages. In de SO-IJ zijn drie openingen (A, B en C). Op locatie A en C bevinden zich elk respectievelijk drie vertical slots. In beide gevallen stroomt het water hier doorheen, om vervolgens via een lang bekken om het landhoofd heen te stromen. Tegen de oever bevindt zich het laatste vertical slot (D en E) en komen deze vispassages uit in het Binnenspuikanaal. De verwachting is dat het zoete water langs de oevers zal stromen. Op locatie B bevinden zich vier vertical slots in de SO-IJ, waarna het zoete water in het Binnenspuikanaal loopt. Waarschijnlijk zal het water zich vanaf dit punt verder verspreiden in westelijke richting. Langs de oever stroomafwaarts migrerende vissen worden via het landhoofd vanzelf naar de ingang van de vismigratievoorziening geleid (A en C).



Figuur 3.3. Impressie van de SO-IJ tussen de landhoofden (zijaanzicht) en een mogelijke toepassing van drie vispassages. Het zoete water dat op de locaties B, D en E het Binnenspuikanaal instroomt zal als een zoete laag op het zoute water drijven. Wanneer er niet gespuid/bemalen wordt zal het zoute water uit het Binnenspuikanaal onder de SO-IJ door terugstromen.



Figuur 3.4. Detailtekeningen (bovenaanzicht) van locaties D, A en B, waarin de blauwe pijlen de stroomrichting weergeven. De vertical slots zijn dusdanig uitgevoerd dat deze in sponningen geplaatst kunnen worden. Het verwijderen van één of meerdere van deze elementen leidt tot een groter verval per bekken. D = de uitstroom van de vispassage die langs het landhoofd loopt. Via een slot, dat zich tegen de oever bevindt, kunnen vissen inzwemmen. Glasaal kan hierbij gebruik maken van de borstels tegen de wand (rood). Indien gewenst kan deze uitstroom verplaatst worden naar locatie A. Hiervoor dient het element in de sponning verplaatst te worden. A = de instroom van de vispassage die langs het landhoofd loopt. In dit deel van de vispassage bevinden zich drie vertical slots. B = vispassage door het midden van de SO-IJ. In totaal zijn hier vier vertical slots en drie bekkens. De borstels dienen overigens aan de instroomzijde en uitstroomzijde door te lopen tot buiten de vispassage (niet weergegeven).



Figuur 3.5. Borstel units voor passage van (glas)aal bij een stuw (<http://www.fcengineer.com/check-valves>)



Figuur 3.6. Vertical slot vispassage bij een stuw (<http://www.eppler.de/>).

4 DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1 Discussie

Op basis van de tekeningen, modelberekeningen en beschikbare literatuur is het mogelijk gebleken een inschatting te maken van de verwachte effecten van realisatie van de SO-IJ op de mogelijkheden tot vismigratie in het Binnenspuikanaal. Een vergelijkbare situatie, waarbij selectief (zout)water onttrokken wordt, is aanwezig bij gemaal Helsdeur nabij Den Helder. Gegevens met betrekking tot vispassage via dit Selectieve Onttrekkingsmiddel zijn, voor zover bekend, echter niet aanwezig. Daarnaast zijn de dimensies van deze voorziening zeer veel kleiner dan in het huidige ontwerp.

Om de vismigratiemogelijkheden te verbeteren zijn in dit rapport (ontwerp)eisen opgesteld. Tevens is het ontwerp van een drietal vispassages (combinatie) uitgewerkt. Dit ontwerp is opgesteld op basis van de tekeningen en schetsen van de SO-IJ zoals deze op het moment aanwezig zijn. Het definitieve ontwerp van de SO-IJ kan hiervan afwijken. Het definitieve ontwerp van de vispassages dient dan ook opgesteld te worden op het moment dat de vormgeving van de SO-IJ met eventuele scheepvaartvoorzieningen definitief is.

De focus in deze studie ligt op de effecten van de SO-IJ op de vismigratie en vervolgens op maatregelen om deze te verbeteren. De SO-IJ heeft echter ook effecten op de uitslag van zoet- en zoutwater via de verschillende elementen van het geheel aan sluizen te IJmuiden. Deze effecten kunnen van invloed zijn op de vismigratiepatronen, maar zijn in deze studie buiten beschouwing gelaten.

4.2 Conclusies

4.2.1 Effecten van de SO-IJ op vismigratie

- Migratie van vis kan -zonder aanpassingen- enkel plaatsvinden via de onderste waterlaag en tegen de bodem, in het midden van het kanaal. De stroming is gedurende het merendeel van de tijd afwezig of beperkt zeewaarts gericht, waarbij er sprake is van vrij milde condities. Zowel in stroomop- als stroomafwaartse richting wordt passage van vissen via deze onderste waterlaag mogelijk geacht voor soorten die diepere waterlagen opzoeken.
- Passage via de bovenste waterlagen en tegen de oevers van het kanaal is niet mogelijk, dit laatste als gevolg van de twee landhoofden waartussen de SO-IJ is gesitueerd. Omdat m.n. intrekende vissen als glasaal en driedoornige stekelbaars niet geneigd zijn om diepere, zoutere waterlagen op te zoeken tijdens de intrek zullen nabij het wateroppervlak migratiemogelijkheden moeten worden gecreëerd;
- Passage door de SO-IJ tijdens spui of malen kan bij physocliste vissoorten leiden tot mortaliteit als gevolg van barotrauma of verhoogde predatie na passage. Het optreden van barotrauma is afhankelijk van de waterdiepte waarop de vissen zich voor en na passage van de SO-IJ bevinden en de snelheid waarmee de waterstroom de vissen naar het oppervlakte voert. Er is een kans op barotrauma als vissen voor passage geacclimatiseerd zijn aan de druk op een diepte van 18 m of meer en na passage van de SO-IJ in de bovenste drie meter van de waterkolom terechtkomen. Als gevolg van de milde condities wat betreft stroming, zal ongewenste passage alleen voor de kleinste lengteklassen van vis voor kunnen komen. Voor meer zekerheid over de omvang van dit risico zouden stromingspatronen moeten worden doorgerekend bij normale afvoeren (500 m³/s) en met dichtheidsverschillen, eventueel met toepassing van de vismigratievoorzieningen (instroom zoeter water);

- De migratie van schieraal zal niet worden belemmerd door de SO-IJ. De schieraal volgt op het Noordzeekanaal de zoute waterlaag en zal ter plaatse van de SO-IJ slechts iets dieper hoeven te zwemmen om de SO-IJ te passeren. De fysische condities ter plaatse (stroming, drukverschillen en temperatuur) vormen geen belemmering om via de opening te migreren;
- Naar verwachting leidt de aanleg van de SO-IJ tot een verminderde uitspoeling van zoetwater vis via gemaal en spuisluizen doordat de zoet-zoutovergang zich aan de binnenzijde van het complex bevindt. In de huidige situatie reikt het zoetere water tot aan het gemaal/spuisluizen en bevinden de instroomopeningen van de spuisluizen en de maalgangen zich veel hoger in de waterkolom.

4.2.2 Maatregelen om effecten te mitigeren

- Aanbrengen van vismigratievoorzieningen in de bovenste waterlaag van de SO-IJ, zowel in het midden als tegen beide oevers. Dit heeft de volgende effecten:
 - o Vismigratiemogelijkheden in de bovenste waterlaag en tegen de oevers van de SO-IJ. De effectiviteit wordt bepaald door de vindbaarheid en de passeerbaarheid van de voorzieningen. Het eerste is afhankelijk van de locatie van de inzwemopening en de locatie en van de lokstroom. De passeerbaarheid is afhankelijk van stroomsnelheden in de vispassage en mate van de turbulentie;
 - o Een (beperkte) terugstroom van zoutwater naar het kanaal, wat selectief-getijdenmigranten de mogelijkheid kan bieden op deze wijze het kanaal verder op te trekken (via de onderste waterlagen);
 - o Een iets verminderde effectiviteit van de SO-IJ door toestroom van zoetwater door de vispassages in verband met de benodigde lokstroom. Een reductie van de effectiviteit met maximaal 5 % is acceptabel.
- Maatregelen om vis bij de SO-IJ weg te houden bij (onvrijwillige) stroomafwaartse migratie (visdetectie, viswering, visgeleiding) worden vooralsnog niet nodig en bovendien niet uitvoerbaar geacht.

4.2.3 Uitwerking vismigratievoorziening

- Als vismigratievoorziening is beoordeeld dat enkele "vertical slot" vispassages de beste mogelijkheden bieden voor toepassing in deze situatie, waarbij deze gecombineerd worden met borstels zoals deze in aalgoten gebruikt worden;
- Vispassages dienen op de volgende plaatsen te worden aangelegd: één in het midden van de SO-IJ en twee tegen de wanden van de landhoofden. De inzwemopeningen van de vispassages bevinden zich in het midden van de SO-IJ (éénmaal) en tegen de oevers van het kanaal, daar waar de landhoofden in de oevers overgaan (tweemaal);
- De vispassages dienen elk maximaal circa 1,13 m³/s af te voeren, resulterend in een totaal debiet van 3,40 m³/s (5% van de gemiddelde afvoer; 68 m³/s). Om tot een latere optimalisatie van de vismigratievoorzieningen te komen dient deze flexibel te zijn wat betreft het aantal slots en bekkens;
- De vertical slot vispassages dienen te voldoen aan de volgende eisen:
 - o Slots
 - Aantal: 4-10 (variabel);
 - Afmetingen: 4,0 meter hoog (netto doorstroomhoogte), 0,5 meter breed (waarvan 0,1 meter voorzien van aalborstels, die over de volledige hoogte van het slot lopen en doorlopen tegen de wanden van de bekkens).

- Bekkens
 - Aantal: 3-9 (variabel);
 - Afmetingen: 4,0 meter hoog, 3,5 meter breed en 4,0 meter lang (breedte en lengte zijn indicatief en dienen in verhouding te staan tot de hoogte van de slots);
 - Op basis van bovenstaande afmetingen zal de energiedemping (bij toepassing van 4 slots en een totaalverval van 0,1 meter) circa 5 W/m³ bedragen.
- Aansluiting waterbodembodem
 - De bekkens en de slots dienen op de bodem voorzien te worden van een laag breuksteen (afmetingen bij benadering 0,2-0,4 m), waardoor er grote interstitiële ruimtes ontstaan;
 - Voor de vispassages tegen de oevers geldt dat de bodem van de vispassage aan benedenstroomse zijde dient aan te sluiten op de waterbodembodem (respectievelijk 4,0 en 6,0 meter diepte). Middels een talud van 1:5 kan dit hoogteverschil overbrugd worden.
- Overig
 - De vispassages dienen van bovenaf toegankelijk te zijn voor onderhoud;
 - De vispassages dienen aan bovenstroomse zijde afsluitbaar te zijn;
 - De vispassages dienen voorzieningen te hebben om de effectiviteit/functionaliiteit te monitoren, zoals: sponningen aan boven- en benedenstroomse zijde; mogelijkheden tot het aanbrengen van PIT-tag antennes (incl. elektriciteitsvoorziening), etc.

4.2.4 Aandachtspunten SO-IJ

- Indien onder de SO-IJ een bodembescherming wordt aangebracht, dan is vanuit vismigratie breuksteen de beste keuze. Hiermee wordt een luwe zone gecreëerd waarin ook de zwakkere zwemmers tijdens malen/spuien via de bodem van de SO-IJ stroomopwaarts kunnen zwemmen.

4.3 Aanbevelingen

- Voor het detail ontwerp van de vismigratievoorzieningen is het wenselijk dat er meer inzicht is in het ontwerp van de SO-IJ en de passagemogelijkheden voor eventuele vaartuigen. Te denken valt aan de definitieve aansluitingen van de SO-IJ op de oever, de dikte van de SO-IJ, de locatie van een eventuele scheepvaartvoorziening;
- Voor een goede inschatting van het functioneren van de vispassages, of heroverweging van het ontwerp is meer zekerheid nodig over de peilverschillen over de SO-IJ die optreden gedurende het jaar, eventueel met modelmatige inpassing van de vispassages in voorliggende rapportage;
- Voor het beter inschatten van de risico's voor vis ten gevolge van barotrauma is het noodzakelijk inzicht te verkrijgen in de visstand (soorten, grootte, dichtheden) in het Binnenspuikanaal. Monitoring van de nul-situatie dient plaats te vinden gedurende minimaal twee jaar op meerdere momenten in het jaar. Hierbij kunnen fuiken en actieve vangtuigen (kor en kuil) worden ingezet. Ook zijn modelberekeningen nodig van het stromingspatroon rondom

de SO-IJ bij variërende debieten, rekening houdend met de dichtheidsverschillen en de vismigratievoorzieningen;

- Er dient een monitoringsplan te komen voor de SO-IJ, waarmee de effectiviteit van de migratievoorzieningen in beeld kan worden gebracht en de daadwerkelijk visschade als gevolg van barotrauma.



5 LITERATUUR

Bijlsma, A., 2017. Samenvatting Delft3D berekeningen voor droge periode 2003 voor het NZK en ARK. Kenmerk 11200215-000-0006. Deltares, Delft (31 januari 2017).

Bijlsma, A., & O. Weiler, 2016. Zoutindringing IJmuiden. Fase 3: Verdere uitwerking mogelijke bronmaatregelen. Eindrapport. Project 1220309-000. Kenmerk 1220309-000-HYE-0045. Deltares, Delft (oktober 2016).

Boys, C.A., W. Robinson, B. Miller, B. Pflugrath, L.J. Baumgartner, A. Navarro, R. Brown & Z. Deng, 2016. How low can they go when going with the flow? Tolerance of eggs and larval fishes to rapid decompression. *Biology Open* (2016) 5, 786-791.

Brown, R.S., A.H. Colotelo, B.D. Pflugrath, C.A. Boys, L.J. Baumgartner, Z. D. Deng, L.G.M. Silva, C.J. Brauner, M. Mallen-Cooper, O. Phonekhampeng, G. Thorncraft & D. Singhanoung., 2014. Understanding Barotrauma in Fish Passing Hydro Structures: A Global Strategy for Sustainable Development of Water Resources. *Fisheries*, Vol. 39. No. 3, pp 108-122.

Čada, G.F., C.C. Coutant & R.R Whitney, 1997. Development of Biological Criteria for the Design of Advanced Hydropower Turbines. Environmental Sciences Division Oak: Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN. Prepared for U.S. Department of Energy Idaho Operations Office, Idaho Falls, ID. USA.

Environment Agency, 2011. Elver and eel passes. A guide to the design and implementation of passage solutions at weirs, tidal gates and sluices. The eel manual. Bristol, UK.

Dekker, W., 2004. Monitoring van de intrek van glasaal in Nederland: evaluatie van de huidige en alternatieve methodieken. Rapportnr. C006/04. Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek (RIVO) B.V. i.o.v. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Directie Visserij.

Jones, F.R.H., 1957. The Physiology of Fishes, Vol. II, Behavior. Academic Press Inc., Publishers, New York, New York.

Keeken, O.A. van, D. Burggraaf, S.V. Tribuhl & H.V. Winter. 2010. Gedrag van schieraal rond het krooshek voor gemaal IJmuiden, DIDSON-metingen. IMARES rapport C049/10, i.o.v. RWS NH.

Kemper, J.H., 2007. Onderzoek naar vismigratie door de Noordersluis en de vispassage te IJmuiden, 2007. VisAdvies BV, Utrecht. projectnr VA2007_17. 18 pag.

Kroes, M.J. & S. Monden, 2005. Vismigratie. Een handboek voor herstel in Vlaanderen en Nederland. Ministerie van de Vlaamse gemeenschap, AMINAL, afdeling Water.

Kruitwagen, G., G. Manshanden & H.V. Winter. 2008. Sterfte van schieraal door gemaal IJmuiden, onderzoeksjaar 2007. Witteveen+Bos rapport RW 1664-7, i.o.v. RWS NH.

Kruitwagen, G. & G. Manshanden. 2009. Sterfte van schieraal door gemaal IJmuiden, onderzoeksjaar 2008. Witteveen+Bos i.o.v. RWS NH.

Kruitwagen, G. & G. Manshanden. 2010. Sterfte van schieraal door gemaal IJmuiden, onderzoeksjaar 2009. Witteveen+Bos i.o.v. RWS NH.

Kruitwagen, G. & G. Manshanden. 2011. Sterfte van schieraal door gemaal IJmuiden, onderzoeksjaar 2010. Witteveen+Bos i.o.v. RWS NH.

Muyres, W.J.M., 1986b. Vistrappen in: "De zalm weer terug in de Maas?". Combinatie Juliana 1946-1986, Maastricht, 1986.

Pough, F.H., C.M. Janis, & J.B. Heiser. 1999. Dominating Life in Water. Pp. 211- 56. In Teresa Ryu, (Ed.). Vertebrate Life, 5th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Righton, D., H. Westerberg, E. Feunteun, F. Økland, P. Gargan, E. Amilhat, J. Metcalfe, J. Lobon-Cervia, N. Sjöberg, J. Simon, A. Acou, M. Vedor, A. Walker, T. Trancart, U. Brämick & K. Aarestrup, 2016. Empirical observations of the spawning migration of European eels: The long and dangerous road to the Sargasso Sea. Science Advances. 2016:2, 5 October 2016.

Spierts, I.L.Y & F.T. Vriese, 2009. Schieraal in het Noordzeekanaal: migratie en merk-terugvangst onderzoek. Visadvies i.o.v. RWS WD en NH.

Spierts, I.L.Y., H. Vis & J.H. Kemper, 2010. 3D telemetrie onderzoek naar schieraalmigratie bij maal en spuicomplex IJmuiden. Visadvies i.o.v. RWS NH.

Tsvetkov, V.I., D.S. Pavlov & V.K. Nezdolij, 1972. Changes in hydrostatic pressure lethal to the young of some freshwater fish. Journal of Ichthyology 12: 307-318.

Vis, H. & I.L.Y. Spierts, 2010. Schieraal in het Noordzeekanaal: migratieonderzoek 2009. Visadvies i.o.v. RWS NH.

Verbruggen, W. & F. Kleissen, 2017. Quick scan effecten Selectieve Onttrekking op koelwaterlozingen en Immissietoets (concept). Project 11200215-000. Kenmerk 11200215-000-HYE-0011. Deltares, Delft (mei 2017).

Vriese, F.T., M.J. Kroes & M. Bovenberg, 2006. Trommelzucht bij vissen. VisAdvies BV, Utrecht. Project VA2006_15, 45 pag.

Vriese, F.T., 2010. Geleiding Schieraal IJmuiden, tussenrapportage onderzoeksperiode 2007-2009. TKB in opdracht van RWS NH. Inclusief verslag expertmeeting gehouden op 5 juli 2010.

Vriese, F.T. & B. van Wijk. 2011. Schieraalbemonstering zeesluizen en spui/gemaal IJmuiden m.b.v. fuiken, nov-dec 2010. ATKB in opdracht van RWS NH.

Vriese, F.T., J. Hop & W. de Bruijne, 2015. Eindrapport testfase project visvriendelijk sluisbeheer Afsluitdijk en Houtribdijk. In opdracht van Rijkswaterstaat Midden Nederland. Arcadis, Apeldoorn, ATKB, Geldermalsen.

Vriese, F.T. & J. Hop, 2015. Door getidenturbines toelaatbare vissterfte in het Grevelingenmeer Fase 1a – effect van de Flakkeese spuisluis. In opdracht van Rijkswaterstaat Zee & Delta. ATKB, Geldermalsen.

Vriese, F.T. & A.H.M. Boerkamp, 2015. Meerjaren analyse telemetrie volwassen salmoniden Maas 2009-2014. In opdracht van Rijkswaterstaat Zuid Nederland. ATKB, Geldermalsen.

Weiler, O., & A. Bijlsma, 2015. Zoutindringing IJmuiden. Opgave, mogelijkheden, vraagstukken. Project 1220309-000. Kenmerk 1220309-000-HYE-0002. Deltares, Delft (2 juli 2016).

Winter, H.W., 2011. Effecten van gemaal IJmuiden op de uittrek van schieraal: integratie van de onderzoeken tijdens de periode 2007 – 2001. Rapport C153/11. IMARES Wageningen UR. IJmuiden.

Winter, H.W., A.B. Griffioen & O.A. van Keeken, 2014. De Vismigratierivier: Bronnenonderzoek naar gedrag van vis rond zout-zout overgangen. Rapport C035/14. IMARES Wageningen UR. IJmuiden.



6 HERBEOORDELING NAAR AANLEIDING VAN NIEUWE INZICHTEN

6.1 Inleiding

Na oplevering van het eerste deel van de rapportage “Beoordeling vis en vismigratie Selectieve Onttrekking-IJmuiden (SO-IJ)” (hoofdstukken 1 tot en met 5 van dit document; op 6 juli 2017) zijn er CFD berekeningen gedaan, die laten zien dat, afhankelijk van het afgevoerde debiet en het zoutprofiel bovenstreams, er sprake kan zijn van opwelling van zoeter water benedenstreams van de SO. Ook kan er aanleiding ontstaan om de bodem benedenstreams van de SO-IJ een andere helling te geven om tot een betere doorstroming te komen. Beide aspecten kunnen leiden tot grotere verticale snelheden wat kan leiden tot een grotere kans op vissterfte door barotrauma. RWS GPO heeft daarom ATKB gevraagd om een nieuwe evaluatie van de te verwachten stromingsbeelden en de effecten daarvan op vis, met specifieke aandacht voor het mogelijkerwijs optreden van barotrauma bij (juvenile) vis.

Hiertoe heeft Deltares een zestal beelden beschikbaar gesteld, bij drie verschillende afvoercondities (100 m³/s; 300 m³/s en 700 m³/s), waarin wordt weergegeven (per conditie):

- de ‘magnitude’ van de snelheid, dus de snelheid in de lokale stroomrichting;
- de verticale component van de snelheid (aangeduid met de letter ‘k’ in de bestandnaam). Deze informatie zal als basis dienen om de risico’s ten aanzien van barotrauma in te schatten.

Daarnaast is er een literatuurstudie uitgevoerd om te zien of er nog recentere wetenschappelijke inzichten zijn ten aanzien van het optreden van barotrauma bij vissen. Paragraaf 6.2 zal hier kort op ingaan.

6.2 Bronnenonderzoek

6.2.1 Physocliste vissoorten

In de bibliotheek van Sportvisserij Nederland is middels ProQuest de database ASFA: Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts geraadpleegd. Gezocht is met de trefwoorden Fish en Barotrauma (op publicaties gedateerd na 2015). Een en ander leverde een overzicht van 37 publicaties op (literatuurlijst in hoofdstuk 7). Slechts één hiervan was daadwerkelijk relevant. Het betreft de volgende publicatie: *Boys, C. A., Robinson, W., Miller, B., Pflugrath, B., Baumgartner, L. J., Navarro, A., Deng, Z. (2016a). A piecewise regression approach for determining biologically relevant hydraulic thresholds for the protection of fishes at river infrastructure. Journal of Fish Biology, 88(5), 1677-1692.*

In deze studie is getracht biologisch relevante drempelwaarden te vinden waarbij schade en sterfte ontstaat aan twee juvenile physocliste vissoorten (Murray cod: *Maccullochella peelii* (66,1±0,3 mm) en silver perch: *Bidyanus bidyanus* (80,0±0,7 mm)) als gevolg van barotrauma. De aanpak hierbij was gesegmenteerde regressie, teneinde het knippunt (relevante drempelwaarde) met betrekking tot drukverschillen en de veroorzaakte schade te vinden.

Diverse auteurs hanteren met betrekking tot barotrauma verschillende uitdrukkingen ten aanzien van drukverandering waaraan de vis wordt blootgesteld. In hoofdstuk 2 wordt een verhoudingsgetal gehanteerd: de druk waaraan een vis plotseling wordt blootgesteld (P_{\min}) gedeeld door de druk waaraan een vis is geacclimatiséerd (P_{accl}), dus P_{\min}/P_{accl} . In het onderstaande wordt $R_{(\text{NE}:A)}$ gehanteerd, maar dit is hetzelfde. $R_{(A:\text{NE})}$ is gelijk aan $1/R_{(\text{NE}:A)}$, ofwel P_{accl}/P_{\min} .

Vissen werden in een hyperbarische kamer gebracht en blootgesteld aan zeer snelle (in 0,1 tot 0,5 s) drukverlagingen. In totaal werden 13 decompressie scenario’s onderzocht, waarbij de drukverandering

$R_{(NE:A)}$ varieerde van 1,0 tot 0,05 (NE: nadir exposure; A: Acclimation). Deze laatste waarde komt tot stand bij een druk waaraan de vissen geacclimatiseerd zijn van 200 kPa (2 bar), naar een “nadir” van 10 kPa (0,1 bar) (1 kPa = 0,01 bar). Voor een groot aantal typen schade werd vastgesteld wat de drempelwaarde was waarbij deze begon te ontstaan (zie tabel 6.1). Veel ernstige schade (bloedingen in hart en lever, scheuren van de zwemblaas etc.) ontstaat pas bij grote veranderingen in druk, globaal tussen $R_{(NE:A)}$ 0,1-0,4. Boys *et al.* (2016a) concluderen dat een veilige ondergrens voor barotrauma bij vis bij passage van kunstwerken in rivieren ligt op $R_{(NE:A)}$ 0,7. Tabel 6.2 geeft de drukverandering maar dan uitgedrukt in $R_{(A:NE)}$, van belang voor de vergelijking met de volgende paragraaf.

Tabel 6.1 Typen schade en drempelwaarde van de drukverlaging waarbij deze ontstaan.

Injury response	<i>Maccullochella peelii</i>				<i>Bidyanus bidyanus</i>			
	F-value d.f. = 3,35	P > F	r ²	R _(NE:A) threshold	F-value d.f. = 3,42	P > F	r ²	R _(NE:A) threshold
Dead or disorientated	-	-	-	-	3.8	<0.05	0.21	0.42
Fin emphysema	123.8	<0.001	0.91	0.11	2.0	>0.05	0.13	-
Exophthalmia	25.9	<0.001	0.69	0.15	-	-	-	-
Eye haemorrhage	13.5	<0.001	0.54	0.17	5.5	<0.01	0.28	0.39
Eye emphysema	62.6	<0.001	0.84	0.13	-	-	-	-
Pharyngo-clitheral membrane emphysema	15.6	<0.001	0.57	0.33	13.9	<0.001	0.5	0.33
Operculum emphysema	6.4	<0.01	0.36	0.13	1.3	>0.05	0.08	-
Mouth haemorrhage	26	<0.001	0.69	0.15	-	-	-	-
Viscera haemorrhage	18.5	<0.001	0.61	0.63	24.8	<0.001	0.64	0.32
Viscera emphysema	9.6	<0.001	0.45	0.39	-	-	-	-
Heart haemorrhage	12.9	<0.001	0.53	0.30	-	-	-	-
Liver haemorrhage	19.6	<0.001	0.63	0.26	7.3	<0.001	0.34	0.49
Swimbladder rupture	38.4	<0.001	0.77	0.24	-	-	-	-
Kidney haemorrhage	8.8	0.001	0.43	0.12	9.3	<0.001	0.4	0.68

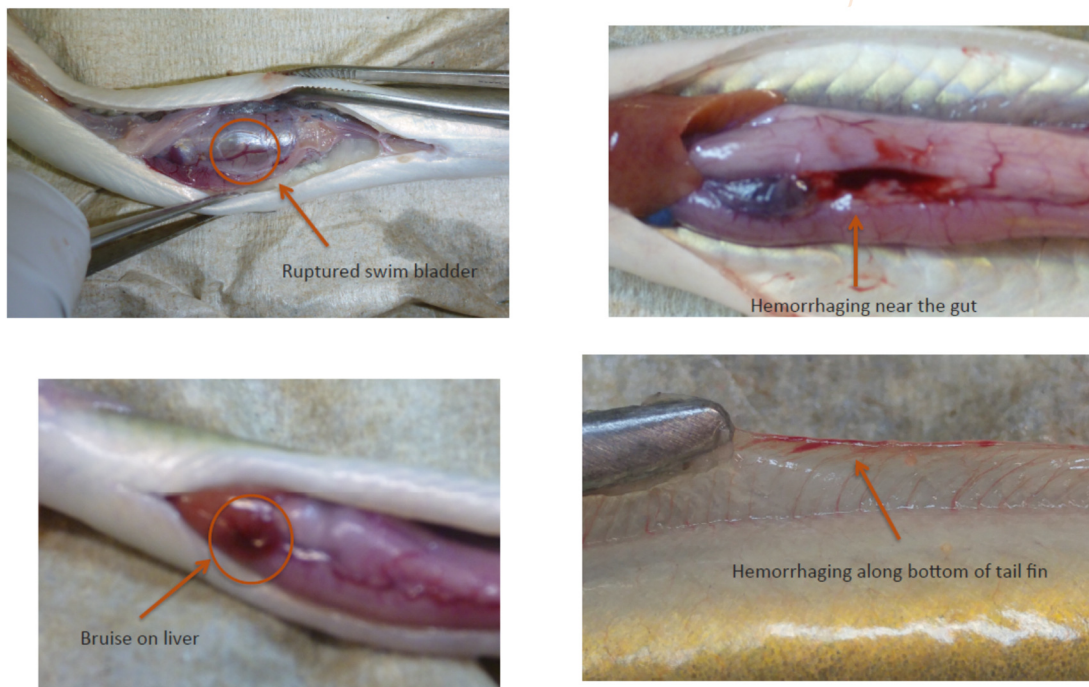
Tabel 6.2 $R_{(NE:A)}$ en $R_{(A:NE)}$

Acclimation (A)	Pressure* (kPa)		Ratio of pressure change	
	Nadir exposure (NE)		R _(NE:A)	R _(A:NE)
101	101		1.00	1.00
101	79		0.78	1.28
101	61		0.60	1.65
101	48		0.48	2.12
101	37		0.37	2.72
101	29		0.29	3.49
101	23		0.23	4.48
101	18		0.18	5.75
101	14		0.14	7.39
101	11		0.11	9.49
122	10		0.08	12.20
156	10		0.06	15.60
200	10		0.05	20.00

6.2.2 Amerikaanse aal

Via zoekopdrachten op internet is aanvullend op voorgaand onderzoek nog een ander recent onderzoek gevonden aangaande barotrauma. Door het Pacific Northwest National Laboratory is onderzoek gedaan naar het effect van snelle decompressie op Amerikaanse aal (*Anguilla rostrata*). De resultaten zijn gepresenteerd op de STAR Closing Conference, op 15 oktober 2016. De gehele presentatie is als bijlage aan dit rapport toegevoegd.

In totaal werden 101 alen blootgesteld aan decompressie. In tegenstelling tot Boys *et al.* (2016) gebruiken MacMillan & Colotelo (2016) $R_{(A:NE)}$ in plaats van $R_{(NE:A)}$, zie tabel 6.2 voor bijbehorende waarden. De alen in het onderzoek werden blootgesteld aan decompressie in de range van 1,21 tot 19,66 $R_{(A:NE)}$, dus nagenoeg de gehele bandbreedte in tabel 6.2 (ook ongeveer van 2 bar druk naar 0,1 bar maximaal). Vanaf $R_{(A:NE)}$ 11.32 ($R_{(NE:A)} = 0,08$) traden verwondingen op als gescheurde zwemblaas, bloedingen nabij en in ingewanden of in vinnen (zie figuur 6.1). In totaal was de mortaliteit na twee dagen 2%. Geconcludeerd werd dat de alen zeer goed bestand waren tegen drukverlaging. Tijdens het experiment werd waargenomen dat bij decompressie alen lucht via hun slokdarm lieten ontsnappen, hetgeen er waarschijnlijk heeft toe bijgedragen dat er weinig mortaliteit optrad. Figuur 6.1 geeft een beeld van inwendige verwondingen bij de aal in het onderzoek.



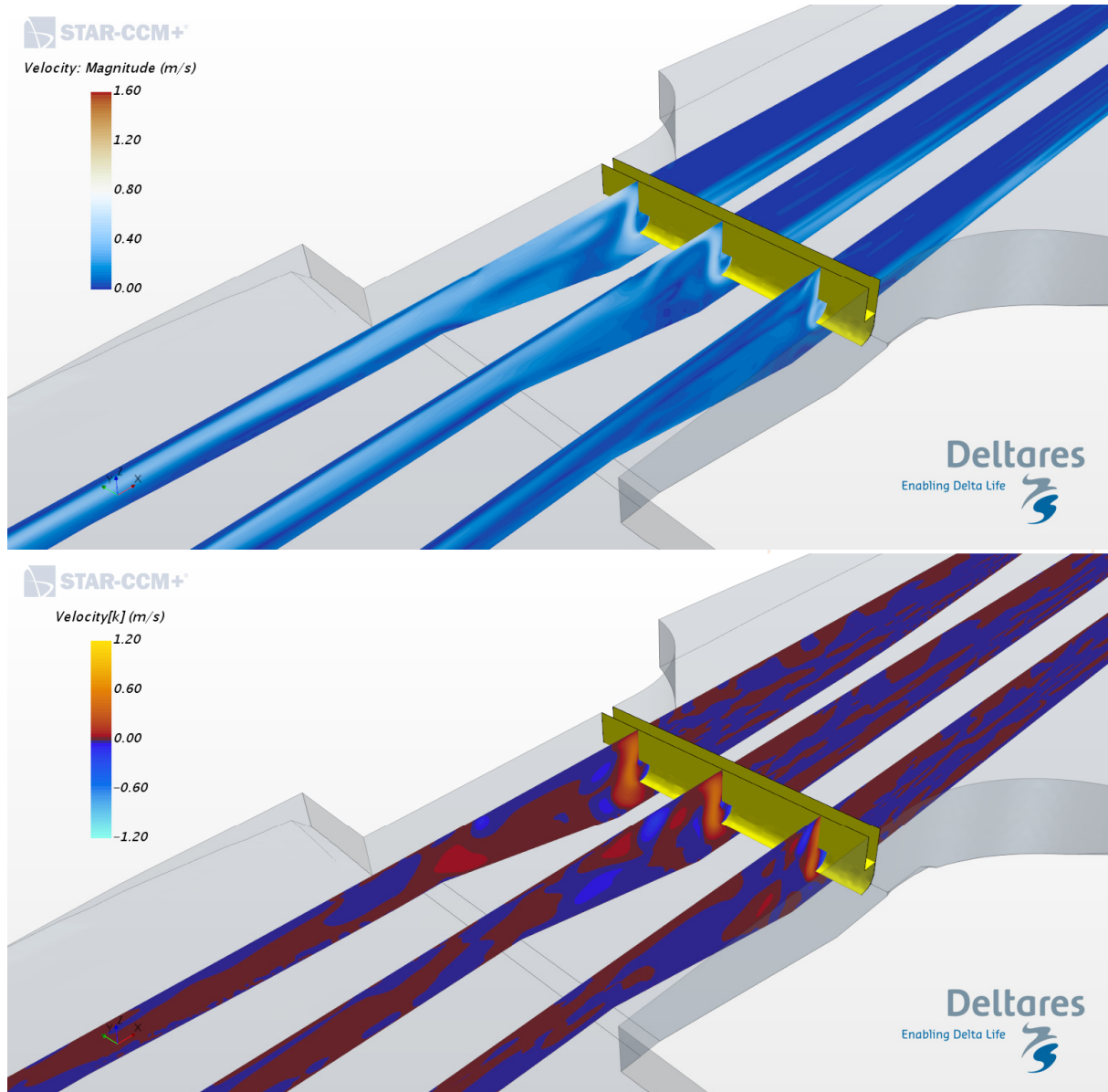
Figuur 6.1. Voorbeelden van inwendige verwondingen bij aal (linksboven: scheur in de zwemblaas; rechtsboven: bloeding nabij de ingewanden; linksonder: bloeding in de lever; rechtsonder: bloeding in de staartvin).

6.3 Heroverweging kans op barotrauma bij SO-IJ

6.3.1 Algemeen

De afbeeldingen 6.2 tot en met 6.4 geven de stromingsbeelden in het Binnenspuikanaal bij afvoeren van 100 m³/s, 300 m³/s en 700 m³/s, bij een tamelijk extreem zoutprofiel, in de Velserskom / monding Noordzeekanaal. Dit profiel kent een saliniteit van 9,5 psu in de bovenste 10 m waterkolom, daaronder een overgangszone en onder de NAP -15 m een saliniteit van 30 psu. Per afvoer conditie zijn er twee figuren: de magnitude van de snelheid (*velocity: magnitude* m/s), dus de snelheid in de lokale stroomrichting en de verticale component van de snelheid (*velocity [k]* m/s).

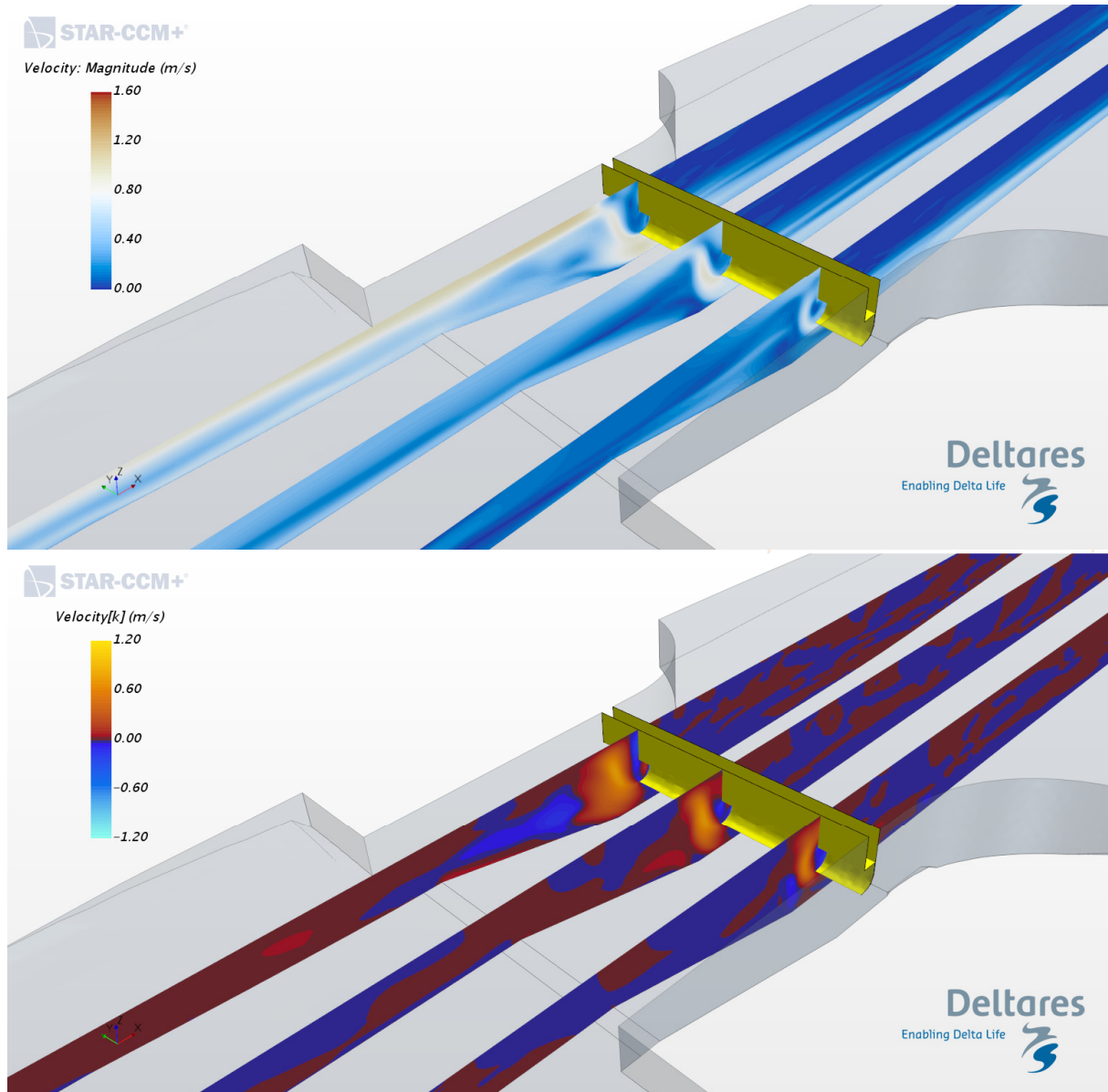
6.3.2 Afvoer 100 m³/s



Figuur 6.2. Stromingsbeeld bij een afvoer van 100 m³/s.

Als gekeken wordt naar de stroomsnelheid in de lokale stroomrichting dan is te zien dat de stroming aan de noordzijde van het Binnenspuikanaal in het algemeen wat sterker is dan zuidzijde van het kanaal, wellicht door de wat asymmetrische aanstroming vanuit de Velserkom. In stroomafwaartse richting, direct na passage van de SO-IJ, buigt de stroming af in de richting van het oppervlak. Op basis van de afbeeldingen, lijkt de stroomsnelheid in de lokale stroomrichting tussen de 0,4 – 0,7 m/s te liggen. De stroming gaat voornamelijk verder langs het oppervlak van het Binnenspuikanaal. Op enige afstand van de SO-IJ lijkt de hoogste stroomsnelheid (rond 0,4 m/s) weer wat dieper te liggen. De verticale component van de stroming laat een duidelijke opwelling zien direct achter de SO-IJ, met waarden tussen 0,0-0,6 m/s. Bij de maximale verticale snelheid (0,6 m/s) zou het maximale diepteverschil (van 23 m naar 0 m) in ongeveer 38 seconden worden overbrugd. In de rest van het Binnenspuikanaal liggen deze waarden rondom de 0 (soms iets hoger, soms iets lager), er op duidend dat de stroming stabiliseert.

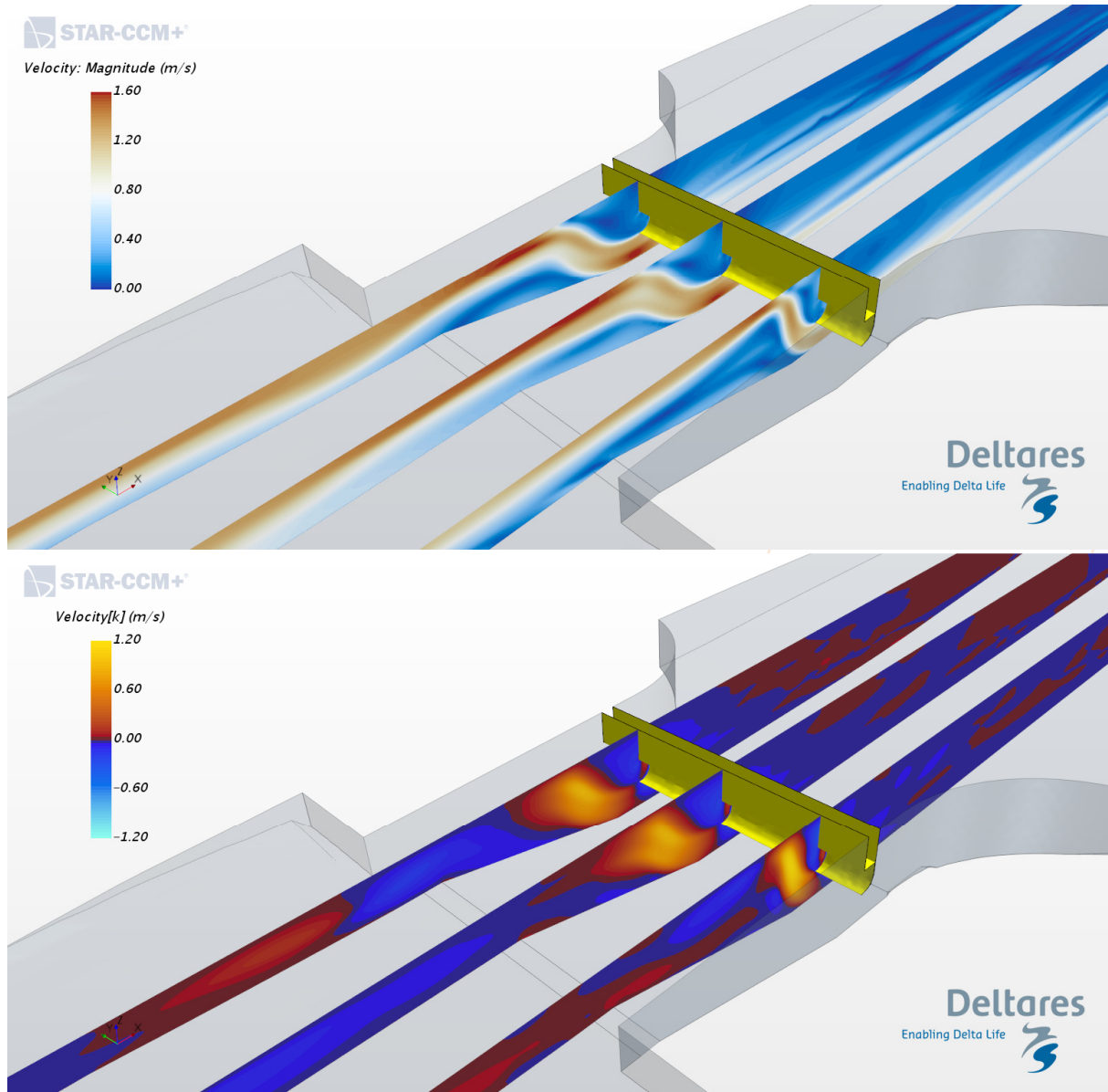
6.3.3 Afvoer 300 m³/s



Figuur 6.3. Stromingsbeeld bij een afvoer van 300 m³/s.

Bij een afvoer van 300 m³/s is het algemene beeld niet veel anders dan bij 100 m³/s. De stroming is nog meer geconcentreerd aan de noordoever en aldaar ook het hoogst (misschien wel tot 1,2 m/s). De pluim onder de SO-IJ buigt wat verder van de SO-IJ af maar is meer gepronceerd in de richting van het wateroppervlak. De stroomsnelheid in de lokale stromingsrichting kent waarden van 0,8 – 1,0 m/s en dus aanzienlijk hoger dan bij 100 m³/s. Bij de SO-IJ van noord naar zuid neemt de sterkte van dit verschijnsel af, maar ook aan de zuidkant is deze stroming sterker dan bij 100 m³/s. De verticale component van de stroming laat een nog duidelijker opwelling zien direct achter de SO-IJ, met waarden van net iets boven 0 tot 0,8 m/s. Bij de maximale verticale snelheid (0,8 m/s) zou het maximale diepteverval (van 23 m naar 0 m) in ongeveer 28 seconden worden overbrugd. In de rest van het Binnenspuikanaal liggen deze waarden rondom de 0 meestal iets hoger, soms iets lager. Ook hier stabiliseert de stroming.

6.3.4 Afvoer 700 m³/s



Figuur 6.4. Stromingsbeeld bij een afvoer van 700 m³/s.

Bij 700 m³/s is dit verschijnsel nog sterker, zij het dat de stroming na passage van de SO-IJ, nog verderaf van de SO-IJ in de richting van het oppervlak gaat. Direct onder de SO-IJ (nabij de bodem) worden hoge stroomsnelheden bereikt, in de richting van 1,6 m/s. Na het afbuigen naar het oppervlak wordt de hoogste stroomsnelheid aan de oppervlakte van het Binnenspuikanaal bereikt (1,5-1,6 m/s). Van noord naar zuid over het Binnenspuikanaal neemt dit verschijnsel af.

Voor wat betreft de verticale component van de stroming lijkt deze na de opwelling negatief te zijn, duidend op een geringe stroming richting bodem. Verderop in het kanaal heeft deze weer een positieve waarde, duidend op een stroming naar het oppervlak. Bij de maximale verticale snelheid (1,2 m/s) zou het maximale diepteverval (van 23 m naar 0 m) in ongeveer 19 seconden worden overbrugd. Naar verwachting is achter de SO-IJ sprake van neervorming, maar dat is bij lagere debieten naar verwachting ook al het geval.

6.3.5 Betekenis voor de vismigratie

6.3.5.1 Algemeen

Eerder in deze rapportage werd de tot volgende conclusie gekomen: “*Passage door de SO-IJ tijdens spui of malen kan bij physocliste vissoorten leiden tot mortaliteit als gevolg van barotrauma of verhoogde predatie na passage. Het optreden van barotrauma is afhankelijk van de waterdiepte waarop de vissen zich voor en na passage van de SO-IJ bevinden en de snelheid waarmee de waterstroom de vissen naar het oppervlakte voert. Er is een kans op barotrauma als vissen voor passage geacclimatiseerd zijn aan de druk op een diepte van 18 m of meer en na passage van de SO-IJ in de bovenste drie meter van de waterkolom terecht komen. Als gevolg van de milde condities wat betreft stroming, zal ongewenste passage alleen voor de kleinste lengteklassen van vis voor kunnen komen.*”

Op het moment dat deze conclusie werd getrokken, was de opwelling van het water direct achter de SO-IJ nog niet inzichtelijk. Oorspronkelijk werd uitgegaan van een stromingsbeeld waarbij de hoogst optredende stroomsnelheden zich langs de bodem voortplanten, richting het gemaal en spui. De kans voor kleine vis om daarmee snel in de hogere waterlagen (met lagere druk) terecht te komen, was daarbij tamelijk gering. Op basis van de nieuwe stromingsbeelden lijkt deze kans aanmerkelijk groter. Een drietal aspecten zijn hierbij van belang:

- Welke veilige grens voor barotrauma wordt gehanteerd?
- Wat is de zwemcapaciteit van vissen die hier aanwezig zijn?
- Hoe frequent treden bepaalde afvoercondities op waarbij vissen risico lopen?

6.3.5.2 Welke veilige grens voor barotrauma wordt gehanteerd?

In tabel 6.3, in essentie dezelfde als tabel 2.3, is tevens de veilig waarde voor drukverschillen weergegeven uit Boys *et al.* (2016a): $R_{(NE:A)}$ 0,7 (groen gearceerd). Als deze waarde wordt gehanteerd voor passage onder de SO-IJ, is het onveilige deel (donkerblauw, lichtblauw en wit) in de tabel een stuk groter. Evident is dat het onderzoek van Boys *et al.* (2016a) toegespitst is op 2 specifieke physocliste vissoorten (Murray cod: *Maccullochella peelii* en silver perch: *Bidyanus bidyanus*), die in onze wateren niet voorkomen. Als vervolgens gekeken wordt naar tabel 6.1 (hiervoor), dan kan geconstateerd worden dat de meest letsels pas tot stand komen bij veel lagere drempelwaarden voor drukverlaging (globaal 0,11 tot 0,49). Slechts bloedingen in de darmen (*viscera haemorrhage*) bij Murray cod en bloedingen in de nieren (*kidney haemorrhage*) bij silver perch komen bij hogere waarden voor (respectievelijk 0,63 en 0,68).

Boys *et al.* (2016) geven zelf aan dat het de vraag is of naar 0% letsel (dus een grenswaarde van 0,7) gestreefd moet worden, gezien de vele risico's die juveniele/kleine vissen sowieso lopen. Ook is nog altijd niet duidelijk welke letsels, veroorzaakt door barotrauma, per definitie tot sterfte leiden en in welke mate deze soortafhankelijk zijn. Echter, geredeneerd vanuit het voorzorgsprincipe kan worden gesteld dat het toch zinvol is om uit te gaan van deze waarde (0,7). Een en ander heeft dan mogelijk wel aanzienlijke consequenties. In tabel 6.3 valt te zien dat er al risico is op letsel wanneer een physocliste vis van 6 tot 7 m diepte terecht komt in de bovenste meter van het wateroppervlak. Dit geldt ook voor vissen die van een diepte van 23 m terecht komen achter het SO-IJ op een diepte van 13 m. Dus bij een verticaal transport van vis, circa 6 tot 10 m, afhankelijk van de diepte waaraan de vis is geacclimatiseerd is er een kans op schade. Uit de stromingsbeelden in § 6.3 valt te zien dat de aanstroom van de SO-IJ voornamelijk via de onderste waterlagen plaatsvindt, waarin vissen zwemmen die aan relatief hoge druk zijn geacclimatiseerd.

Tabel 6.3 Drukverandering (uitgedrukt als P_{min}/P_{acc}) bij passage van de SO-IJ in relatie tot diepte (m). De gearceerde vlakken geven de dieptes weer (voor en na de SO-IJ) waarbij er kans is op het optreden van barotrauma voor physocliste vissen (0,6 (lichtblauw) en 0,4 (donkerblauw)). Het rode kader geeft de grenzen weer van de waterdiepte op enige afstand van de SO-IJ (voor- en na SO-IJ). De veilige waarden volgens Boys et al. (2016) is tevens weergegeven (de groen gearceerde cellen).

Diepte (m)		Waterdiepte t.o.v. oppervlak (voor SO-IJ)																										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23				
P (atm)	P (atm)	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3				
		1	1,1	1,00	0,92	0,85	0,79	0,73	0,69	0,65	0,61	0,58	0,55	0,52	0,50	0,48	0,46	0,44	0,42	0,41	0,39	0,38	0,37	0,35	0,34	0,33		
2	1,2	1,09	1,00	0,92	0,86	0,80	0,75	0,71	0,67	0,63	0,60	0,57	0,55	0,52	0,50	0,48	0,46	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,38	0,36				
3	1,3	1,18	1,08	1,00	0,93	0,87	0,81	0,76	0,72	0,68	0,65	0,62	0,59	0,57	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46	0,45	0,43	0,42	0,41	0,39				
4	1,4	1,27	1,17	1,08	1,00	0,93	0,88	0,82	0,78	0,74	0,70	0,67	0,64	0,61	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48	0,47	0,45	0,44	0,42				
5	1,5	1,36	1,25	1,15	1,07	1,00	0,94	0,88	0,83	0,79	0,75	0,71	0,68	0,65	0,63	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48	0,47	0,45				
6	1,6	1,45	1,33	1,23	1,14	1,07	1,00	0,94	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	0,48				
7	1,7	1,55	1,42	1,31	1,21	1,13	1,06	1,00	0,94	0,89	0,85	0,81	0,77	0,74	0,71	0,68	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52				
8	1,8	1,64	1,50	1,38	1,29	1,20	1,13	1,06	1,00	0,95	0,90	0,86	0,82	0,78	0,75	0,72	0,69	0,67	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,55				
9	1,9	1,73	1,58	1,46	1,36	1,27	1,19	1,12	1,06	1,00	0,95	0,90	0,86	0,83	0,79	0,76	0,73	0,70	0,68	0,66	0,63	0,61	0,59	0,58				
10	2,0	1,82	1,67	1,54	1,43	1,33	1,25	1,18	1,11	1,05	1,00	0,95	0,91	0,87	0,83	0,80	0,77	0,74	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61				
11	2,1	1,91	1,75	1,62	1,50	1,40	1,31	1,24	1,17	1,11	1,05	1,00	0,95	0,91	0,88	0,84	0,81	0,78	0,75	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64				
12	2,2	2,00	1,83	1,69	1,57	1,47	1,38	1,29	1,22	1,16	1,10	1,05	1,00	0,96	0,92	0,88	0,85	0,81	0,79	0,76	0,73	0,71	0,69	0,67				
13	2,3	2,09	1,92	1,77	1,64	1,53	1,44	1,35	1,28	1,21	1,15	1,10	1,05	1,00	0,96	0,92	0,88	0,85	0,82	0,79	0,77	0,74	0,72	0,70				
14	2,4	2,18	2,00	1,85	1,71	1,60	1,50	1,41	1,33	1,26	1,20	1,14	1,09	1,04	1,00	0,96	0,92	0,89	0,86	0,83	0,80	0,77	0,75	0,73				
15	2,5	2,27	2,08	1,92	1,79	1,67	1,56	1,47	1,39	1,32	1,25	1,19	1,14	1,09	1,04	1,00	0,96	0,93	0,89	0,86	0,83	0,81	0,78	0,76				
Pmin/PacII <0,6																												
Pmin/PacII <0,4																												
R(NE'A) >0,7 (Boys et al., 2016)																												

6.3.5.3 Wat is de zwemcapaciteit van vissen die hier aanwezig zijn?

Juvenile, physocliste vissen met een beperkte zwemcapaciteit lopen het grootste risico op barotrauma. Bedacht moet worden dat gedurende belangrijke delen van de dag de stroming onder de SO-IJ nagenoeg nihil is. Als er vervolgens gespuid / gemalen wordt, komt de stroomsnelheid langzaam op gang totdat bij de verschillende afvoersituaties waarden worden bereikt zoals weergegeven in § 6.3.2 - § 6.3.4. Dit geeft de vis kans weg te zwemmen, uit de gevarenzone, wanneer de stroomsnelheid nog relatief gering is. Pavlov (1989; 1994) geciteerd in DWA (2005) geeft aan dat de relatie tussen zwemsnelheid en lichaamslengte afhankelijk is van de grootte van de vis (ook van de watertemperatuur en conditie van de vis): de zogenaamde '*sustained swimming speed*' van adulte vis is gemiddeld 5 x de lichaamslengte per seconde, jonge vis met een lengte van 10 cm heeft een '*sustained swimming speed*' van 10 x de lichaamslengte per seconde, terwijl deze waarden bij vrij zwemmend broed nog aanzienlijk hoger kunnen liggen. Tabel 6.2 (uit DWA, 2005) geeft een verzameling referenties met betrekking tot zwemsnelheden van heel kleine vis (enkele cm lengte). Hierbij geldt het volgende: $V_{sustained}$ is de zwemsnelheid die vis gedurende maximaal 200 minuten kan volhouden (in vislengte (L vis) per seconde); in de tabel wordt deze ook $V_{critical}$ genoemd ($V_{critical} = V_{sustained} \times L_{vis}$), vanuit de gedachte dat bij visbescherming een zwemsnelheid belangrijk

is die gedurende enige tijd kan worden volgehouden door de vis. De maximale zwemprestaties van vis liggen echter veel hoger; zo noemt DWA de *darting swimming speed* (*V sprint*) die gedurende enkele seconden kan worden volgehouden (en bijvoorbeeld gebruikt wordt om aan predatoren of gevaarlijke situaties te ontsnappen); deze ligt 2 tot 2,5 keer zo hoog als de *sustained swimming speed*.

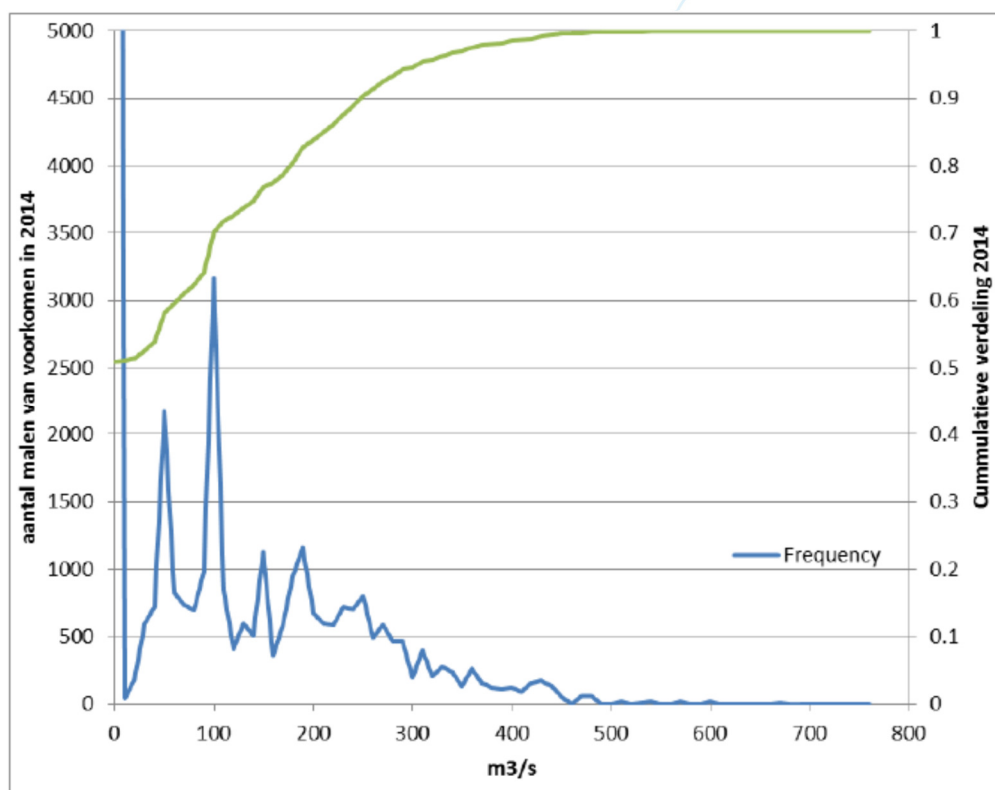
Tabel 6.1. Zwemsnelheden van kleine vis (bron: DWA, 2005).

Vissoort	L vis (m)	V sustained (L vis / s)	V critical (m/s)
Baars	0,05	9,3	0,42
Rivierdonderpad	0,02	9,5	0,19
Kroeskarper	0,02	13,0	0,26
Vetje	0,03	12,0	0,36
Blankvoorn	0,03	12,0	0,36
Zeelt	0,02	8,3	0,19
Kleine modderkruiper	0,02	9,6	0,22
Driedoornige stekelbaars	0,05	7,4	0,36
Kolblei	0,02	17,0	0,34

Op grond van het bovenstaande is het de verwachting dat ook de meeste kleine vis in staat zal zijn gevaarlijke situaties met betrekking tot druk te ontwijken, zelfs bij afvoersituaties tot 300 m³/s (zie § 6.3.3). Daarbij is tevens van belang dat zones met lagere stroomsnelheden relatief dichtbij zijn (meters tot tientallen meters) zodat deze met enkele seconden sprints bereikt kunnen worden.

6.3.5.4 Hoe frequent treden bepaalde afvoercondities op waarbij vissen risico lopen?

Figuur 6.5 geeft ondermeer de cumulatieve verdeling van de 10-minuten debieten in 2014.



Figuur 6.5. Histogram en cumulatieve verdeling van de 10-minuut afvoerdebieten van 2014 te IJmuiden (uit: “Zoutindringing IJmuiden, Fase 3: Verdere uitwerking mogelijke bronmaatregelen”, Deltares, 1220309, 2016)

Uit deze figuur kan worden geconstateerd dat in 2014 grofweg 5% van de tijd de afvoeren groter waren dan 300 m³/s. Afvoeren van 700 m³/s komen praktisch gezien nauwelijks voor. Ergens in dit afvoertraject nemen waarschijnlijk de risico's voor juveniele physocliste vissen toe, hoewel ook bij zeer hoge afvoeren blijft gelden dat bij aanvang van het spuien / malen vissen zich nog in veiligheid kunnen brengen. Op grond van het voorgaande mag worden verondersteld dat de daadwerkelijke risico's op sterfte maar heel beperkt zijn.

6.3.5.5 Functioneren vispassages

De ingangen van de vispassages (voor stroomopwaarts migrerende vissen) bevinden zich direct langs de oever (D en E in figuur 3.2) en in het midden van de SO-IJ (B in figuur 3.2). Vis, migrerende in de relatief ondiepe oeverzone zal niet wezenlijk worden beïnvloed door de optredende stromingspatronen; de landhoofden zorgen voor een stromingsluwe zone met mogelijk een neer waarbij de stroming langs de oever zelfs in de richting van het landhoofd gaat. De bereikbaarheid van ingang B (in het midden van de SO-IJ) lijkt onder normale afvoercondities eveneens niet problematisch. Bij hogere debieten (zeg, vanaf 300 m³/s) is de afvoer meer geconcentreerd aan de noordzijde en aan het oppervlak van het Binnenspuikanaal, waardoor ingang B mogelijk minder goed bereikbaar is voor zwakke zwemmers, vanaf die zijde. De stroomsnelheden aan de zuidelijke zijde van het Binnenspuikanaal zijn bij hogere afvoeren (≥ 300 m³/s) aanzienlijk lager, waardoor deze ingang naar verwachting toch toegankelijk is. Bedacht moet worden dat het merendeel van de tijd, de stroomsnelheid nihil tot beperkt is, bij stroomsnelheden die optreden bij maximaal 100 m³/s, en er uitstekende condities zijn voor de migratie.

Stroomopwaartse migratie onderdoor de SO-IJ lijkt bij normale afvoeren tot hogere afvoeren (300 m³/s) eveneens niet problematisch, zeker niet voor bodemgebonden vissen, die zullen profiteren van het grove substraat. Tevens zal het feit dat de stroming meer geconcentreerd is in de bovenste waterlagen, de migratie in het onderste deel van de waterkolom vergemakkelijken.

Stroomafwaarts migrerende schieraal zal geen hinder van de stromingspatronen ondervinden, bij veruit de meeste afvoersituaties is de zwemcapaciteit van deze soort groot genoeg om een eigen koers te bepalen. Verder is al eerder gebleken dat de aal zeer goed bestand is tegen barotrauma en er voor deze soort geen risico is. De migratie onderdoor de SO-IJ zal niet problematisch zijn voor deze vissoort.

6.4 Conclusies naar aanleiding van de heroverweging

Algemeen

- De nieuwe stromingsbeelden gepresenteerd in §6.3.2. - §6.3.4 laten een opwelling van water benedenstrooms van de SO-IJ zien, die sterker is (grotere stroomsnelheid) naarmate het debiet groter is. Oorspronkelijk werd uitgegaan van een stromingsbeeld waarbij de hoogst optredende stroomsnelheden zich langs de bodem voortplanten, richting het gemaal en spui. De kans voor kleine vis om daarmee snel in de hogere waterlagen (met lagere druk) terecht te komen, was daarbij tamelijk gering. Op basis van de nieuwe stromingsbeelden lijkt deze kans aanmerkelijk groter.

Gevoeligheid voor barotrauma

- De kans op barotrauma voor physostome vissen is, ook bij de nieuwe stromingsbeelden, zeer klein tot gering. Alleen als physostome vis van 23 m diepte voor de SO-IJ helemaal naar de oppervlak achter de SO-IJ zou worden gebracht, is er een kans op schade en mogelijk

vissterfte. Overigens, bij onderzoek aan aal, een physostome soort, trad schade pas op bij een waarde van 0,08 (P_{\min}/P_{accl}).

- De kans op barotrauma voor physocliste vissen is groter. Deze zouden al schade kunnen oplopen bij verplaatsingen in verticale richting van 6-10 m (veilige waarde P_{\min}/P_{accl} van 0,7). Hierbij wel de kanttekening, dat dit een tamelijk extreme veilige waarde is. Uit divers onderzoek blijkt dat ernstige schade pas optreedt bij lage waarden van P_{\min}/P_{accl} van 0,1-0,4.

Afvoercondities en zwemcapaciteit

- Globaal wordt gedurende de helft van de dag water afgevoerd middels spuien en pompen. De rest van de tijd is er geen afvoer en is er geen stroming van betekenis in het Binnenspuikanaal. Stroomsnelheid is dan geen beperking voor verplaatsing van vis.
- Grote debieten, waarbij de opwelling achter de SO-IJ sterker is, komen heel weinig voor (als voorbeeld, in 2014 was de afvoer gedurende 5% van de tijd groter dan 300 m³/s. Afvoeren van 700 m³/s komen praktisch gezien nauwelijks voor). Bij een afvoer van 100 m³/s is de maximale stroomsnelheid in verticale richting 0,4-0,6 m/s. Deze stroomsnelheid kan makkelijk overwonnen worden door kleine (juvenile) (physocliste en physostome) vissen. Hierbij moet worden bedacht dat de stroomsnelheid zich langzaam opbouwt en vissen ruimschoots in de gelegenheid zijn stromingsluwere dele te bereiken.

Vismigratievoorzieningen in de SO-IJ

- Gezien de ligging van de inzwemopeningen aan de oevers van het kanaal wordt de stroomopwaartse migratie alhier niet negatief beïnvloed door de nieuwe stromingsbeelden.
- De bereikbaarheid van ingang B (in het midden van de SO-IJ) lijkt onder normale afvoercondities eveneens niet problematisch.
- Stroomafwaarts migrerende schieraal zal geen hinder van de stromingspatronen ondervinden; bij veruit de meeste afvoersituaties is de zwemcapaciteit van deze soort groot genoeg om een eigen koers te bepalen.

Resumerend

De nieuwe inzichten in de stromingsbeelden leveren naar beste inschatting geen problemen op voor de stroomopwaartse en stroomafwaartse vismigratie, wanneer hiervoor voorzieningen worden getroffen zoals hiervoor zijn beschreven. Vissterfte als gevolg van barotrauma is, mede door de omstandigheden en het gedrag van de vis, niet waarschijnlijk.

7 LITERATUUR OVERZICHT PROQUEST

Williamson, M. J., Dudgeon, C., & Slade, R. (2018). Tonic immobility in the zebra shark, *Stegostoma fasciatum*, and its use for capture methodology. *Environmental Biology of Fishes*, 101(5), 741-748. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s10641-018-0734-2>.

Wilkes, M. A., McKenzie, M., & J, A. W. (2018). Fish passage design for sustainable hydropower in the temperate southern hemisphere: An evidence review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 28(1), 117-135. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s11160-017-9496-8>.

Olander, D. (2018, 02). LOOKDOWN. *Sport Fishing*, 33, 16-20. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1987343668?accountid=28351>.

Mosquito-borne diseases - malaria; uniformed services university of the health sciences reports findings in malaria (safety of antimalarial medications for use while scuba diving in malaria endemic regions). (2017, Sep 26). Zika & Mosquito Week Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1941089461?accountid=28351>.

Flaherty, G. T., & Keng, L. Y. (2017). Bibliometric analysis and curriculum mapping of travel medicine research. *Journal of Travel Medicine*, 24(5) doi:<http://dx.doi.org/10.1093/jtm/tax024>.

Sitar, S. P., Brenden, T. O., He, J. X., & Johnson, J. E. (2017). Recreational postrelease mortality of lake trout in lakes superior and huron. *North American Journal of Fisheries Management*, 37(4), 789-808. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/02755947.2017.1327903>.

Lancaster, D., Dearden, P., Haggarty, D. R., Volpe, J. P., & Ban, N. C. (2017). Effectiveness of shore-based remote camera monitoring for quantifying recreational fisher compliance in marine conservation areas. *Aquatic Conservation (Online)*, 27(4), 804-813. doi:<http://dx.doi.org/10.1002/aqc.2736>.

Eberts, R. L., & Somers, C. M. (2017). Venting and descending provide equivocal benefits for catch-and-release survival: Study design influences effectiveness more than barotrauma relief method. *North American Journal of Fisheries Management*, 37(3), 612-623. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/02755947.2017.1307292>.

Poveromo, G. (2017, 06). Keeping the sport in fishing. *Salt Water Sportsman*, 78, 31-32,34-35. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1912121302?accountid=28351>.

Willis, T. V., Wilson, K. A., & Johnson, B. J. (2017). Diets and stable isotope derived food web structure of fishes from the inshore gulf of maine. *Estuaries and Coasts*, 40(3), 889-904. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s12237-016-0187-9>.

Collins, A. B., & Motta, P. J. (2017). A kinematic investigation into the feeding behavior of the goliath grouper *Epinephelus itajara*. *Environmental Biology of Fishes*, 100(4), 309-323. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s10641-016-0543-4>.

Rankin, P. S., Hannah, R. W., Blume, M. T. O., Miller-Morgan, T., & Heidel, J. R. (2017). Delayed effects of capture-induced barotrauma on physical condition and behavioral competency of recompressed yelloweye rockfish, *Sebastes ruberrimus*. *Fisheries Research (Amsterdam)*, 186, 258-268. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2016.09.004>.

Humborstad, O., Ferter, K., Kryvi, H., & Fjelldal, P. G. (2017). Exophthalmia in wild-caught cod (*gadus morhua* L.): Development of a secondary barotrauma effect in captivity. *Journal of Fish Diseases*, 40(1), 41-49. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/jfd.12484>.

Fontes, J., & Afonso, P. (2017). Long-term residency and movements of yellowmouth barracuda (*sphyaena viridensis*) at a shallow seamount. *Marine Biology*, 164(1), 1-10. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s00227-016-3045-1>.

Humborstad, O., Ferter, K., Kryvi, H., & Fjelldal, P. G. (2017). Exophthalmia in wild-caught cod (*gadus morhua* L.): Development of a secondary barotrauma effect in captivity. *Journal of Fish Diseases*, 40(1), 41-49. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/jfd.12484>.

Matley, J. K., Tobin, A. J., Lédée, E. J., , I., Heupel, M. R., & Simpfendorfer, C. A. (2016). Contrasting patterns of vertical and horizontal space use of two exploited and sympatric coral reef fish. *Marine Biology*, 163(12), 1-12. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s00227-016-3023-7>.

Flaherty, G., & Sabir, K. (2016). Recurrent headache in a frequent flyer. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 14(5), 531-532. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.tmaid.2016.08.001>.

Frisch, A. J., Cameron, D. S., Pratchett, M. S., Williamson, D. H., Williams, A. J., Reynolds, A. D., . . . Hobbs, J. A. (2016). Key aspects of the biology, fisheries and management of coral grouper. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 26(3), 303-325. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s11160-016-9427-0>.

Newman, S. J., Williams, A. J., Wakefield, C. B., Nicol, S. J., Taylor, B. M., & O'malley, J.,M. (2016). Review of the life history characteristics, ecology and fisheries for deep-water tropical demersal fish in the indo-pacific region. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 26(3), 537-562. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s11160-016-9442-1>.

Hughes, J. M., Rowland, A. J., Stewart, J., & Gill, H. S. (2016). Discovery of a specialised anatomical structure in some physoclistous carangid fishes which permits rapid ascent without barotrauma. *Marine Biology*, 163(8), 1-12. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s00227-016-2943-6>.

Jawad, L. A., Humborstad, O. B., & Fjelldal, P. G. (2016). Record of litter ingestion by cod (*gadus morhua*) collected from masfjorden, western norway. *International Journal of Marine Science*, 6(41) Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1858740002?accountid=28351>.

Zenetos, A., Apostolopoulos, G., & Crocetta, F. (2016). AQUARIA KEPT MARINE FISH SPECIES POSSIBLY RELEASED IN THE MEDITERRANEAN SEA: FIRST CONFIRMATION OF INTENTIONAL RELEASE IN THE WILD. *Acta Ichthyologica Et Piscatoria*, 46(3), 255-262. doi:<http://dx.doi.org/10.3750/AIP2016.46.3.10>.

Pracheil, B. M., Derolph, C. R., Schramm, M. P., & Bevelhimer, M. S. (2016). A fish-eye view of riverine hydropower systems: The current understanding of the biological response to turbine passage. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 26(2), 153-167. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s11160-015-9416-8>.

Olander, D. (2016, 05). SMALL WONDERS. *Sport Fishing*, 31, 54-59. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1803045912?accountid=28351>.

Boys, C. A., Robinson, W., Miller, B., Pflugrath, B., Baumgartner, L. J., Navarro, A., Deng, Z. (2016a). A piecewise regression approach for determining biologically relevant hydraulic thresholds for the protection of fishes at river infrastructure. *Journal of Fish Biology*, 88(5), 1677-1692. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/jfb.12910>.

Ciancio, J. E., Venerus, L. A., Trobbiani, G. A., Beltramino, L. E., Gleiss, A. C., Wright, S., . . . Wilson, R. P. (2016). Extreme roll angles in argentine sea bass: Could refuge ease posture and buoyancy control of marine coastal fishes? *Marine Biology*, 163(4), 1-11. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s00227-016-2869-z>.

Cooke, S. J., Wilson, A. D., M., Elvidge, C. K., Lennox, R. J., Jepsen, N., . . . Brown, R. S. (2016). Ten practical realities for institutional animal care and use committees when evaluating protocols dealing with fish in the field. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 26(1), 123-133. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s11160-015-9413-y>.

Opucki, R., & Mróz, I. (2016). An assessment of non-volant terrestrial vertebrates response to wind farms--a study of small mammals. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(2), 1-9. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s10661-016-5095-8>.

Womble, M. R., & Bullard, S. A. (2016). Ocular anomaly in atlantic midshipman porichthys plectrodon (batrachoidiformes: Batrachoididae) from the mississippi canyon, north-central gulf of mexico. *Journal of Fish Biology*, 88(2), 794-799. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/jfb.12842>.

Humborstad, O., Breen, M., Davis, M. W., Loekkeborg, S., Mangor-Jensen, A., Midling, K. O., & Olsen, R. E. (2016). Survival and recovery of longline- and pot-caught cod (*gadus morhua*) for use in capture-based aquaculture (CBA). *Fisheries Research (Amsterdam)*, 174, 103-108. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2015.09.001>.

Bennett, R. H., Ellender, B. R., Mäkinen, T., Miya, T., Patrick, P., Wasserman, R. J., . . . Weyl, O. L. F. (2016). Ethical considerations for field research on fishes. *Koedoe*, 58(1), 1-15. doi:<http://dx.doi.org/10.4102/koedoe.v58i1.1353>.

Ng, E. L., Fredericks, J. P., & Quist, M. C. (2015). Effects of gill-net trauma, barotrauma, and deep release on postrelease mortality of lake trout. *Journal of Fish and Wildlife Management*, 6(2), 265-277. doi:<http://dx.doi.org/10.3996/122014-JFWM-096>.

Williams, L. J., Herbig, J. L., & Szedlmayer, S. T. (2015). A cage release method to improve fish tagging studies. *Fisheries Research (Amsterdam)*, 172, 125-129. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2015.06.030>.

Ballanti, R. (2015, 11). BIG BITE. *Salt Water Sportsman*, 76, 74-79. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1806994950?accountid=28351>.

Ferter, K., Weltersbach, M. S., Humborstad, O., Fjellidal, P. G., Samba, F., Strehlow, H. V., & Voelstad, J. H. (2015). Dive to survive: Effects of capture depth on barotrauma and post-release survival of atlantic cod (*gadus morhua*) in recreational fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 72(8), 2467-2481. doi:<http://dx.doi.org/10.1093/icesjms/fsv102>.

Hardy, R. S., Stephenson, S. M., Neufeld, M. D., & Young, S. P. (2015). Adaptation of lake-origin burbot stocked into a large river environment. *Hydrobiologia*, 757(1), 35-47. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s10750-015-2226-0>.

Cott, P. A., Guzzo, M. M., Chapelsky, A. J., Milne, S. W., & Blanchfield, P. J. (2015). Diel bank migration of burbot (*Iota Iota*). *Hydrobiologia*, 757(1), 3-20. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s10750-015-2257-6>

Overige literatuur

DWA, 2005. Fish Protection Technologies and Downstream Fishways. Dimensioning, Design, Effectiveness Inspection. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser and Abfall e.V. Hennef, Germany.

Pavlov, D. S. (1989): Structures assisting the migrations of non-salmonid fish: USSR.-FAO Fisheries Technical Paper 308, 1 - 97.

Pavlov, D. S. (1994): The downstream migration of young fishes in rivers: mechanisms and distribution. -*Folia Zoologica* 43, 193 - 208.

BIJLAGE 1: PRESENTATIE AALONDERZOEK

