

**Door getidenturbines toelaatbare vissterfte in het
Grevelingenmeer Fase 1a – effect van de Flakkeese
spuisluis**

Rapportnummer: 20141067/rap02
Status rapport: Definitief
Datum rapport: 14-4-2015

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

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat Zee & Delta
Dhr. P. Paulus
Postbus 5014
4330 KA Middelburg

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 en vraagstelling.....	1
1.3 Leeswijzer.....	1
2 WERKING VAN DE FLAKKEESE SPUISLUIS.....	3
3 VISSTAND GREVELINGENMEER EN OOSTERSCHELDE	8
3.1 Algemeen.....	8
3.2 Grevelingenmeer.....	8
3.3 Oosterschelde	12
3.4 Visbestand rond Grevelingendam	12
4 VISTRANSPORT DOOR DE HEVELS	14
4.1 Algemeen	14
4.2 Hydraulisch onttrekkingsgebied	14
4.3 Passage van vis	16
4.4 Lokkende werking.....	17
5 VISSTERFTE BIJ PASSAGE DOOR DE HEVELS.....	18
5.1 Algemeen.....	18
5.2 Barotrauma.....	18
5.3 Botsing.....	22
5.4 Shear en turbulentie	23
5.5 Discussie omtrent schadefactoren	25
6 IMPACT VAN DE FLAKKEESE SPUISLUIS OP VISPOPULATIES.....	27
6.1 Algemeen.....	27
6.2 Berekende impact van spuisluis	27
7 VRAGEN NAAR AANLEIDING VAN HET RAPPORT	30
7.1 Algemeen.....	30
7.2 Samenstelling visbestand.....	30
7.3 Woelbak	31
7.4 Inschatting van het percentage aan adulte/juveniele vis dat ingezogen kan worden.....	33
7.5 Visbestand in omgeving Flakkeese spuisluis	34
7.6 Inschatting sterftkans van adulte/juveniele vissen die ingezogen worden.....	35
7.7 Koornaarvis	35
7.8 Vishevel Texel	36
7.9 Intrek van vis via de Brouwersdam.....	37
7.10 Compensatoire mechanismen.....	38
8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	40
8.1 Conclusies.....	40
8.2 Aanbevelingen	42
9 LITERATUUR.....	43
 BIJLAGE 1: Afbeeldingen Flakkeese spuisluis (bron: Govers & Westerink, 2013)	

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Rijkswaterstaat (RWS) is voornemens de Flakkeese spuisluis opnieuw in gebruik te nemen om de wateruitwisseling tussen het Grevelingenmeer en de Oosterschelde te bevorderen. In tegenstelling tot de oorspronkelijke functie zal de Flakkeese spuisluis tweezijdig water transporteren. Dit watertransport is afhankelijk van het getij op de Oosterschelde en het (vaste) waterpeil op het Grevelingenmeer. Daggemiddeld gaat het om een debiet van 110 m³/s naar het Grevelingenmeer en 69 m³/s naar de Oosterschelde (Passende beoordeling Flakkeese spuisluis, Grontmij, 2015 in prep.).

De Flakkeese spuisluis is een hevel bestaand uit zes kokers, gelegen in de Grevelingendam. Doordat er met de hevel een aanzienlijke hoogte overbrugd moet worden (ongeveer zes meter), ontstaat er in de hevel een onderdruk. Als gevolg van het peilverschil tussen de Oosterschelde en het Grevelingenmeer is er in de hevel sprake van stroomsnelheden tot maximaal 4,5 m/s, waarbij deze gedurende 80% van de tijd boven de 2 m/s ligt. Nadat het water door de hevel is gegaan, komt dit terecht in een woelbak aan de Oosterscheldezijde. In deze woelbak heersen mogelijk extreme condities als gevolg van de hoge stroomsnelheden, met hierdoor turbulentie en kans op botsing van vis.

Alle genoemde aspecten kunnen leiden tot sterfte van vis die met het water mee door de hevels gaat. Centrale vraag hierbij is, in welke mate veroorzaakt het in gebruik nemen van de Flakkeese spuisluis sterfte van vis en zo ja, wat is het effect hiervan op de vispopulaties in het Grevelingenmeer en de Oosterschelde. Navolgend wordt beschreven hoe deze vraag beantwoord gaat worden.

1.2 Doel en vraagstelling

In het onderzoek wordt een korte beschrijving gegeven van de Flakkeese spuisluis en het proces van de wateruitwisseling tussen de Oosterschelde en het Grevelingenmeer. Dit is van belang omdat de fysische factoren waaraan de vis wordt blootgesteld bij transport door de hevels mede bepalend zijn voor de mate van schade/sterfte die aan de vis wordt toegebracht.

De volgende vragen dienen beantwoord te worden:

- 1.) Hoeveel vis is aanwezig in de nabijheid van de hevels aan de Grevelingenmeerzijde en aan de Oosterscheldezijde?
- 2.) Hoeveel vis gaat er door de hevels?
- 3.) Hoeveel vis gaat dood bij passage?
- 4.) Is de omvang van de sterfte van vis dusdanig dat er een significant effect is op de vispopulaties in het Grevelingenmeer en de Oosterschelde?

Het onderzoek behelst een bureaustudie op basis van bestaande gegevens, voortbouwend op een eerder uitgevoerd onderdeel van deze studie (Vriese & Hop, 2015). Naar aanleiding van een eerste versie van het rapport zijn er aanvullende vragen binnengekomen die worden behandeld in het hoofdstuk "Vragen naar aanleiding van het rapport".

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de werking van de Flakkeese spuisluis beschreven met specifieke aandacht voor de optredende fysische condities. Hoofdstuk 3 gaat in op de visstand van het Grevelingenmeer en de Oosterschelde. Hoofdstuk 4 heeft betrekking op het veronderstelde vistransport door de hevelbuizen.

In hoofdstuk 5 worden de factoren beschreven die mogelijk kunnen leiden tot sterfte van vis bij de passage door de hevels. Hoofdstuk 6 gaat in op de impact van de Flakkeese spuisluis op de vispopulaties in de Oosterschelde en het Grevelingenmeer. Hoofdstuk 7 geeft de antwoorden op de aanvullend gestelde vragen. Hoofdstuk 8 geeft de getrokken conclusies en doet aanbevelingen. Tot slot wordt in hoofdstuk 9 de gebruikte literatuur weergegeven.



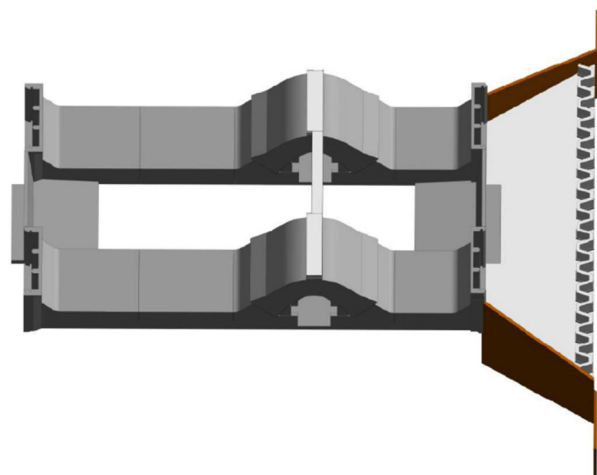
2 WERKING VAN DE FLAKKEESE SPUISLUIS

De bouw van de Flakkeese spuisluis is voltooid in 1983. De spuisluis (afbeelding 2.1) had als doel het zoutgehalte in de noordelijke tak van de Oosterschelde op peil te houden tijdens de afbouw van de Oosterscheldewerken. Na de voltooiing van deze werken, rond 1987, had de spuisluis geen functie meer.



Afbeelding 2.1. De Flakkeese spuisluis, gelegen in de Grevelingendam (bron: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Joop van Houdt).

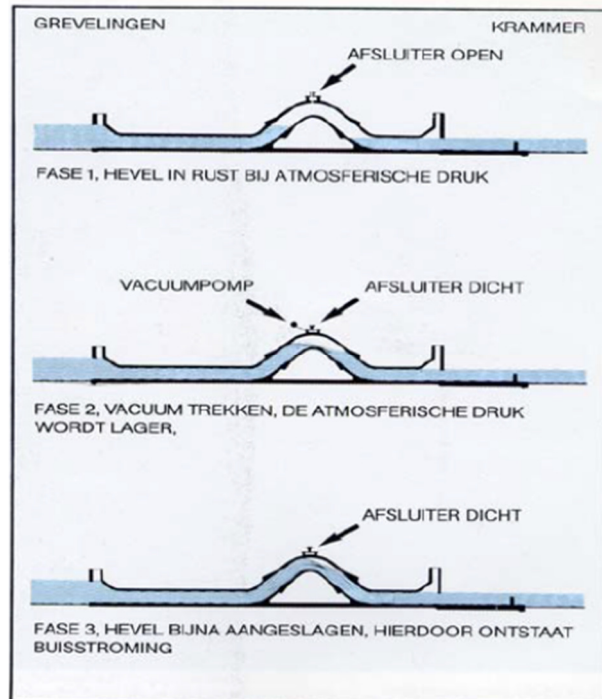
De Flakkeese spuisluis bestaat uit twee bundels van drie kokers die door de Grevelingendam heenlopen. In afbeelding 2.2 is een schematische weergave van de spuisluis weergegeven. Het doorstroomprofiel van elke koker (3,2 x 3,2 m) is 10,24 m². De binnenbovenzijde van deze kokers ligt aan beide zijden op -2,55 m NAP. De binnenonderzijde van de kokers ligt aan beide zijden op -5,75 m NAP. De kruinhoogte van de hevelknie ligt op een hoogte van 3,00 m NAP. De totale lengte van de kokers bedraagt 69,65 m. De zes kokers monden uit in een woelbak met een lengte 16,25 m en een breedte aan de Oosterscheldezijde van 58,67 m. De bodem ervan ligt op -5,75 m NAP (Haas *et al.*, 2006). De lengte van het stortebed aan de Oosterschelde zijde is ongeveer 75 m. De lengte van het stortebed aan de Grevelingenmeer zijde is ongeveer 25 m. Het maximale debiet is 308 m³/s en wordt bepaald door het maximale peilverschil.



Afbeelding 2.2. Schematische weergave Flakkeese spuisluis (linkerzijde Grevelingenmeer, rechterzijde Oosterschelde).

Wanneer de spuisluis (feitelijk hevel) niet in werking is, heerst er een atmosferische druk in de hevel. De afsluiter aan de bovenzijde van de hevelknie is geopend. Er is op dat moment geen waterstroom in de hevel. Om de hevel op te starten, wordt de afsluiter aan de bovenzijde afgesloten.

Vervolgens wordt er met een vacuümpomp een onderdruk in de hevelknie gecreëerd. De hevel vult zich hierbij met water en er ontstaat een waterstroom van het hoger gelegen waterpeil naar het lager gelegen waterpeil. Indien de afsluiter dicht blijft, zal het spuien/hevelen net zo lang doorgaan tot het waterpeil aan beide zijden gelijk is. De stroomsnelheid tijdens het hevelen wordt voornamelijk bepaald door het peilverschil. De spuisluis kan ook water keren als het waterpeil in de Oosterschelde te hoog wordt. Met behulp van een hogedrukventilator kan een overdruk worden opgebouwd, genoeg om waterstanden op de noordelijke tak van de Oosterschelde groter dan 2,5 m NAP te keren. In afbeelding 2.3 is de werking van de Flakkeese spuisluis schematisch weergegeven.



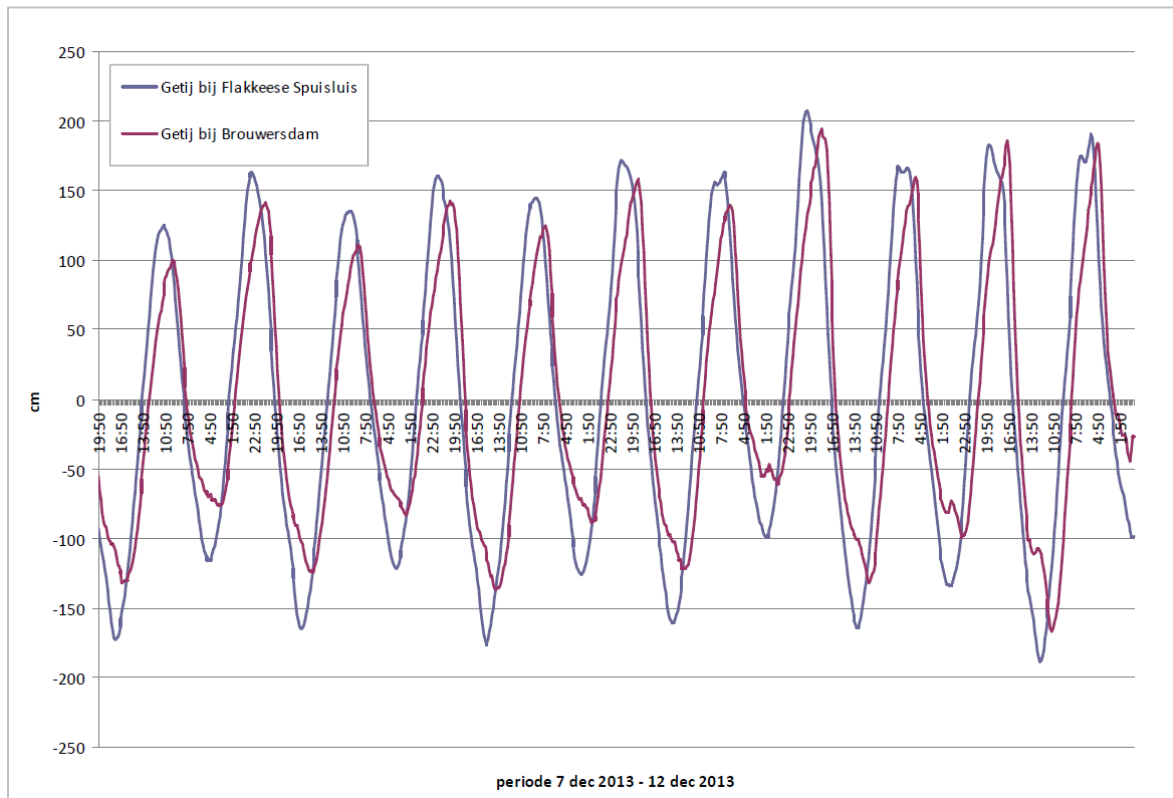
Afbeelding 2.3. Schematische weergave werking Flakkeese spuisluis.

In de nieuwe situatie zal de Flakkeese spuisluis niet functioneren als spuisluis maar zal de hevel werken als doorlaat van het getij van Oosterschelde naar Grevelingenmeer en vice versa. Het gaat hierbij om een (daggemiddeld) debiet naar de Grevelingen van 110 m³/s en 69 m³/s naar de Oosterschelde. De hevelwerking wordt onderbroken indien vanuit de kokers lucht in het bovenste deel van de hevel komt of indien de afsluiter geopend wordt. Deze lucht heeft dan tot gevolg dat de hevelwerking stopt.

Wat betreft het getijverloop op het Grevelingenmeer geldt dat het verschil bij de Flakkeese spuisluis iets groter is dan bij de Brouwersdam (Govers & Westerink, 2013). Globaal is dit verschil maximaal enkele tientallen centimeters, zichtbaar in afbeelding 2.4. In het peilbesluit voor de Grevelingen (7 februari 2013) wordt het volgende vermeld over het getij in het Grevelingenmeer:

“... Sinds de afsluiting van de Grevelingen in 1971 is het peilbeheer formeel niet vastgesteld. Het vaststellen daarvan is herhaaldelijk uitgesteld om beslissingen over het beheer niet te doorkruisen. Het is nu de reële verwachting dat binnen afzienbare tijd keuzes over het toekomstige beheer van het Grevelingenmeer zullen worden genomen. Die keuzes kunnen van invloed zijn op het huidige feitelijke peil en het huidige beheer. Het is daarom van belang, gelet op de positie van belanghebbenden rondom het Grevelingenmeer, dat feitelijke peil formeel in een besluit vast te leggen. De staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu is derhalve voornemens om in een besluit vast te leggen dat het peil gedurende het gehele jaar zal fluctueren tussen maximaal NAP -0,10m en minimaal NAP -0,30m. Daarbij zal het middenpeil zoveel mogelijk worden gehouden op NAP -0,20m NAP waarbij tijdens het broedseizoen gestuurd wordt op een middenpeil van NAP -0,26m en in de periode september-februari in drie perioden van drie weken gestuurd wordt op een middenpeil NAP -0,16m. Genoemde peilen zijn exclusief op- en afwaaiing gemeten op de locatie BOM1 in het midden van het meer...”

In onderhavige rapportage wordt daarom uitgegaan van het streefpeil van -0,20 m NAP. Uitgaande van dit streefpeil betekent dit dat het water van het Grevelingenmeer naar de Oosterschelde stroomt indien het waterpeil op de Oosterschelde lager is dan -0,20 m NAP. Als het peil op de Oosterschelde hoger is, zal het water van dit waterlichaam naar het Grevelingenmeer stromen. Uit afbeelding 2.4 kan worden afgeleid dat dit gedurende een langere periode kan, dus gaat er daggemiddeld meer water van de Oosterschelde naar het Grevelingenmeer dan andersom.



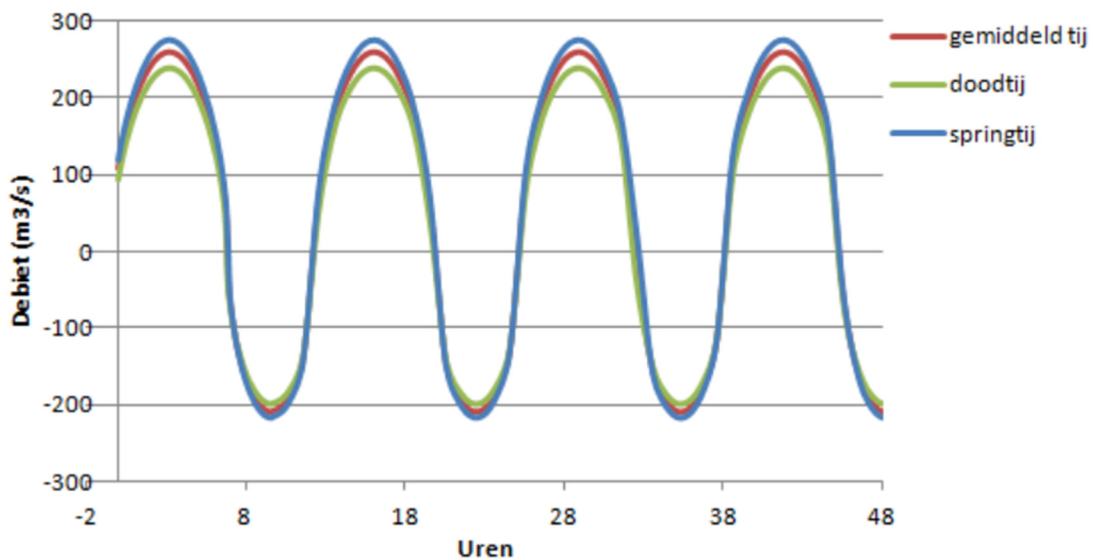
Afbeelding 2.4. Getij Flakkeese Spuisluis t.o.v. getij Brouwersdam (bron: Govers & Westerink, 2013).

Wat betekent het bovenstaande nu voor het drukverloop in de hevel? De onderdruk in de hevel is het grootst op het moment van het aanzuigen van het water. Hierbij dient het niveauverschil tussen de kruin van de hevelknie en het waterlichaam met het laagste peil te worden overwonnen. Dit drukverschil is maximaal indien dit aanzuigen plaatsvindt tijdens het laagste peil op de Oosterschelde (circa -2,0 meter NAP). Op dat moment is het peilverschil tot de kruin van de hevelknie (+6,2 m NAP) circa 8 meter, resulterend in een drukverschil van grofweg 0,8 atm. (onderdruk van 0,2 atm.). Het verdient dan ook de aanbeveling om de hevel op te starten als het peilverschil tussen het Grevelingenmeer en de Oosterschelde het kleinst is. De afstand van het waterpeil tot de kruin van de hevelknie is op dat moment ook het kleinst waardoor de onderdruk minder groot hoeft te zijn.

Als de hevel eenmaal loopt, wordt het drukverschil in de hevel bepaald door het peilverschil tussen het hogere watercompartiment en de hevelkroon. Los van extremen als springtij en doodtij, gaat het hierbij grofweg over een hoogteverschil van maximaal 6,4 m tot 4,2 m (peil Grevelingenmeer: -0,2 m NAP; peil Oosterschelde: -2,0 m NAP tot +2 m NAP, zie afbeelding 2.4). Gezien de hogere dichtheid van zout water (dichtheid zeewater is afhankelijk van temperatuur, saliniteit en druk en varieert op open zee van 1021 tot 1027,5 kg/m³) gaat het dan om een maximaal drukverschil van $6,4 \cdot 0,102$

(atm. per meter) = 0,6528 atm.; een onderdruk in de hevel van 0,3472. Het minimale drukverschil is $4,2 * 0,102 = 0,4284$, een onderdruk in de hevel van 0,5716 atm. Hierop wordt teruggekomen in hoofdstuk 5 Vissterfte bij passage door de hevels.

Zoals eerder aangegeven, de hevels zorgen in de nieuwe situatie voor een debietuitwisseling tussen het Grevelingenmeer en de Oosterschelde. Het daggemiddelde debiet naar het Grevelingenmeer is hierbij 110 m³/s tegenover 69 m³/s naar de Oosterschelde. In afbeelding 2.5 wordt aangegeven hoe het verloop van dit debiet is in de loop van de tijd. De debieten lopen hierbij op tot maximaal ongeveer 300 m³/s naar de Grevelingen tot ongeveer iets meer dan 200 m³/s naar de Oosterschelde.



Afbeelding 2.5. Berekende debieten bij volledige benutting hevel. Een positief debiet betekent een waterstroom van de Oosterschelde naar het Grevelingenmeer. Een negatief debiet is een waterstroom van het Grevelingenmeer naar de Oosterschelde (bron: Maessen, 2015).

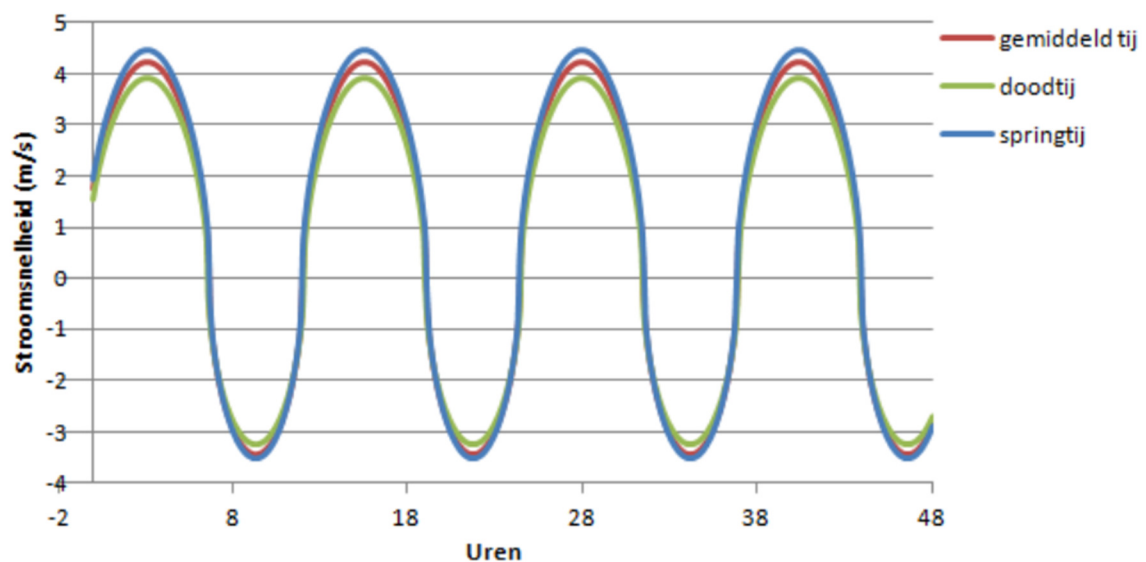
Voor wat betreft de uitwisseling van water zegt Maessen (2015) hierover het volgende:

“... Met behulp van een 2D-waterkwaliteitmodel is de fractie water uit de Grevelingen in de Oosterschelde berekend. Deze varieert per locatie en is afhankelijk van het moment in de getijdenslag. Net voor het laagste water is er maximale uitstroom vanuit de Grevelingen terwijl de stroming in de Oosterschelde dan juist het kleinst is. Op dat moment is het aandeel water uit de Grevelingen tijdelijk het hoogst...”

“... Hieruit blijkt dat in de Noordelijke Oosterschelde vlakbij de Spuisluis de fractie Grevelingenwater maximaal 12% is. Dus als maximum bestaat het water daar uit 12% Grevelingenwater. Deze fractie is relatief klein omdat zich in de Grevelingen rondom de Spuisluis een bel met water uit de Oosterschelde vormt. Hierdoor is een groot deel van het water dat via de Spuisluis van de Grevelingen naar de Oosterschelde stroomt, water dat oorspronkelijk uit de Oosterschelde kwam. Het water klotst als het ware heen en weer rondom de Spuisluis. In de Grevelingen staat het water stil en in de Oosterschelde wordt het door de grote getijslag telkens vervangen door nieuw water. Daardoor is de fractie Grevelingenwater in de Oosterschelde structureel klein. Rondom de Spuisluis is de fractie Grevelingenwater in de Oosterschelde gemiddeld maar 2,7% met maxima van 12%. Vier kilometer

verderop is het maximale aandeel nog naar 2% en gemiddeld 0,3%. 15 kilometer verderop is het maximale aandeel Grevelingenwater minder dan 0,5%...”

Deze constatering is van belang als het gaat om de uitwisseling van vis. Hierop wordt in hoofdstuk 4 teruggekomen.



Afbeelding 2.6. Berekende stroomsnelheden in de Flakkeese spuisluis. Een positieve stroomsnelheid betekent een waterstroom van de Oosterschelde naar het Grevelingenmeer. Een negatieve stroomsnelheid is een waterstroom van het Grevelingenmeer naar de Oosterschelde (bron: Maessen, 2015).

Afbeelding 2.6 geeft de berekende stroomsnelheden door de hevel. Globaal komt het er op neer dat deze variëren tot maximaal ongeveer 4,5 m/s naar het Grevelingenmeer en maximaal ongeveer 3,5 m/s naar de Oosterschelde. Ook deze informatie is relevant als het gaat om eventueel optredende sterfte van vis bij transport door de hevel.

3 VISSTAND GREVELINGENMEER EN OOSTERSCHELDE

3.1 Algemeen

In het eerste onderdeel van het onderzoek zijn visstandgegevens verzameld van het Grevelingenmeer en de Oosterschelde (Vriese & Hop, 2015). Er is hierbij gebruik gemaakt van historische en huidige visgegevens. Aan de hand van deze gegevens is getracht een beeld te vormen van de omvang en samenstelling van de visstand die in het Grevelingenmeer en de Oosterschelde aanwezig zijn. Knelpunt hierbij is de beperkte monitoringsinspanning die de laatste jaren is uitgevoerd om de visstand in beide wateren in beeld te brengen.

3.2 Grevelingenmeer

Gedurende de jaren 1960 tot en met 1980 hebben er op de Grevelingen / het Grevelingenmeer frequent visserijen plaatsgevonden met de boomkor (Vaas, 1978; Doornbos *et al.*, 1986). Deze periode omvat zowel de afsluiting van de Grevelingen door middel van de Grevelingendam in 1964, de afsluiting van de Grevelingen door middel van de Brouwersdam in 1971 en de ingebruikname van de Brouwerssluis eind 1978. Na de jaren '80 tot aan het einde van de vorige eeuw is nog slechts driemaal de visstand in het Grevelingenmeer onderzocht middels actieve vangtuigen zoals de boomkor en kuil. Deze bemonsteringen zijn in 1982, 1988 en 1994 uitgevoerd (Meijer, 1995). Het onderzoek dat in 1994 is uitgevoerd is vrij compleet, waarbij zowel het bestand aan bodemvissen als het bestand aan pelagische vissen in kaart is gebracht.

Na het onderzoek dat in 1994 is uitgevoerd naar de visstand in het Grevelingenmeer (Meijer, 1995) is er lange tijd geen onderzoek meer verricht naar de visstand in dit water. Na de implementatie van de KRW werd het echter noodzakelijk inzicht te krijgen in de visstand van het Grevelingenmeer. In het najaar van 2007 is er daarom een proefbemonstering in het Grevelingenmeer uitgevoerd (Van Kessel *et al.*, 2008). In het voorjaar van 2008, 2011 en 2014 is er vervolgens een visstandonderzoek (MWTL) uitgevoerd. Ook is in 2013 nog een aanvullend onderzoek uitgevoerd omdat de resultaten van de monitoring in 2011 nogal tegenvielen ten opzichte van voorgaande jaren. Tijdens de proefvisserij is er gebruik gemaakt van een boomkuil, waarmee echter slechts enkele vissen zijn gevangen. Om die reden zijn de bemonsteringen op het Grevelingenmeer in de navolgende jaren uitgevoerd middels een boomkor. Hiermee wordt in principe alleen het bestand aan bodemvis in kaart gebracht. Daarnaast geldt dat de bemonsteringsinspanning deze jaren zeer beperkt was.

Als basis voor het visbestand in het Grevelingenmeer geldt in eerste instantie het onderzoek dat in augustus 1994 is uitgevoerd (Meijer, 1995). Zoals vermeld is tijdens dit onderzoek is zowel het bestand aan bodemvissen als het bestand aan pelagische vissen in kaart gebracht. Daarnaast was de bemonsteringsinspanning tijdens dit onderzoek, zeker in relatie tot de onderzoeken na de eeuwwisseling, relatief hoog. Een nadeel van het onderzoek uit 1994 is dat er in die tijd nog geen sprake was van een jaarrond openstelling van de Brouwerssluis. In 1994 heeft de sluis tot begin mei opengestaan. Direct voorafgaand aan het onderzoek heeft er daardoor geen intrek/uitwisseling van vis met de Noordzee kunnen plaatsvinden.

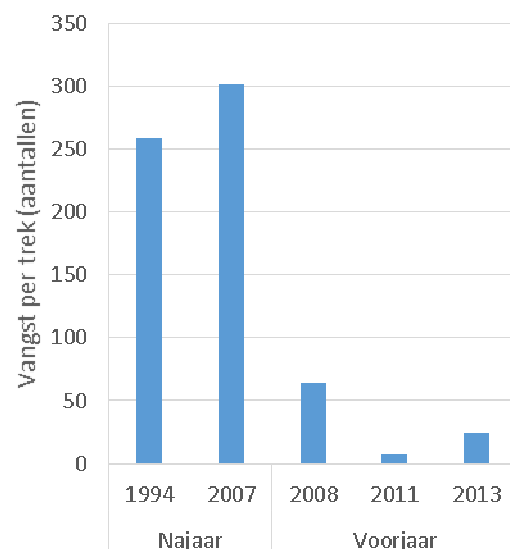
Het visbestand dat in augustus 1994 op het Grevelingenmeer aanwezig was is geschat op 4.628 (1.654 – 34.316) stuks/ha, waarbij enkel de meest voorkomende vissoorten zijn meegenomen (zie tabel 3.1). Voor de overige vissoorten geldt dat de vangstaantallen beperkt waren. De meest voorkomende vissoorten in het Grevelingenmeer waren de dikkopje (40%), sprot (31%), zwarte grondel (14%) en koornaarvis (7%). Wat betreft de toegepaste aannames en vangst efficiëntie bij deze bestandschatting wordt verwezen naar Meijer (1995).

Tabel 3.1. Bestandschatting meest voorkomende vissoorten Grevelingenmeer (1994) (naar; Meijer, 1995).

Groep	Vissoort	Aantal/ha	Range (min-max)		Aandeel
Pelagische vissen	Sprot	1.424	0	21.120	31%
	Haring	87	0	1.267	2%
	Koornaarvis	334	0	1.896	7%
Grondels	Brakwatergrondel	201	0	5.347	4%
	Dikkopje	1.837	1.203	2.649	40%
	Zwarte grondel	659	451	887	14%
Platvissen	Schol	50	0	700	1%
	Bot	19	0	133	0%
	Schar	1	0	50	0%
	Tong	11	0	167	0%
	Griet	5	0	50	0%
	Tarbot	1	0	50	0%
Totaal		4.628	1.654	34.316	100%

In de loop van het jaar is er normaal gesproken sprake van een sterke fluctuatie van het aantal vissen waaruit het visbestand bestaat. Voor elke vissoort geldt dat het visbestand net na de paaiperiode de grootste omvang heeft (op basis van aantallen). Het visbestand bestaat dan grotendeels uit visbroed. In de loop van het jaar neemt het visbestand sterk af als gevolg van predatie en (natuurlijke) sterfte. Deze afname is in absolute aantallen het sterkst bij de jongste jaarklasse, die over het algemeen het kwetsbaarst is voor predatie. Net voor de paaiperiode is de omvang van het visbestand het kleinst. Voor een water als het Grevelingenmeer geldt dat er naast de rekrutering van vis als gevolg van paaiaactiviteit ook intrek van vis kan zijn via het inlaatwerk in de Brouwersdam. De intrek van vis kan hierbij variëren in de loop van de tijd door de aan- of afwezigheid van specifieke soorten (seizoensgasten) of de aanwezigheid van juveniele vis aan de buitenzijde. Meijer (1995) geeft aan dat de grondelsoorten de standvissen zijn op het Grevelingenmeer. De platvissen en pelagische vissen zijn over het algemeen migrerende soorten die een deel van hun levensstadia in het Grevelingenmeer doorbrengen.

Voor de meest recente bemonsteringen geldt dat alleen het bestand aan bodemvis in kaart is gebracht met de boomkor. Het pelagische visbestand is buiten beschouwing gelaten. In afbeelding 2.7 is de vangst per trek met de boomkor van 1994 weergegeven in relatie tot de vangst per trek in de daarop volgende jaren. De weergegeven waarden zijn indicatief. Te zien is dat de vangst in het najaar van 2007 in dezelfde orde van grootte ligt als de vangst in 1994. In het voorjaar van 2008, 2011 en 2013 is de vangst aanzienlijk kleiner van omvang, er kan echter niet met zekerheid gesteld worden dat er sprake is van een afname.



Afbeelding 2.7. Vangst (aantallen) per trek met boomkor. De weergegeven aantallen zijn indicatief.

In tabel 3.2 is voor de meest recente bemonsteringen het aandeel van de meest voorkomende soorten in de vangst (boomkor) weergegeven. In het voorjaar (2008-2013) zijn het de soorten dikkopje/brakwatergrondel, zwarte grondel en schol die het meest gevangen zijn. De vangsten van soorten als tong, schar en puitaal variëren van jaar tot jaar. In het najaar van 2007 maken de soorten dikkopje/brakwatergrondel eveneens een groot deel uit van de totale vangst. Ditmaal is eveneens relatief veel sprout gevangen en in mindere mate haring. In het voorjaar ontbreken deze soorten in de vangst.

Tabel 3.2. Aandeel van soorten in vangst op basis van aantallen.

Vissoort	Najaar		Voorjaar	
	2007	2008	2011	2013
Dikkopje/brakwatergrondel	38%	40%	27%	69%
Zwarte Grondel	4%	19%	20%	14%
Schol	2%	14%	21%	8%
Tong	1%	10%	0%	0%
Schar	3%	7%	3%	0%
Sprot	41%	4%	3%	1%
Haring	9%	0%	0%	0%
Puitaal	0%	0%	12%	3%
Overig	3%	7%	15%	5%
Totaal	100%	100%	100%	100%

Naast de verschillende gegevens die verkregen zijn uit monitoring is er eveneens anekdotische informatie beschikbaar over de visstand in het Grevelingenmeer (Van der Linden, 2006). Deze informatie is in 2006 verkregen door een interview met dhr. T. Boogaart, schipper en eigenaar van de sportvis- en sportduikcharterboot de MS Theo. Enkele bevindingen die uit dit interview naar voren zijn gekomen zijn:

“...De meeste vis houdt zich op in het gebied rondom de Brouwerssluis. De reden hiervoor is de directe invloed van het Noordzeewater, afkomstig uit de Brouwerssluis...”

“...In het oostelijke deel van het Grevelingenmeer komt vooral paling en kleine vis (grondels en koornaarvis) voor...”

Op basis van de beschikbare informatie wordt er met betrekking tot het visbestand in het Grevelingenmeer de volgende aannames gedaan:

- Aangenomen wordt dat het visbestand gemiddeld genomen een omvang heeft zoals deze in het najaar wordt aangetroffen. In werkelijkheid zal het visbestand gedurende het jaar fluctueren in omvang als gevolg van rekrutering, sterfte en migratie van vissoorten.
- Op basis van de vangsten met de boomkor (1994-2007) wordt aangenomen dat de omvang van het bestand aan grondels op het moment vergelijkbaar met de omvang van het bestand aan grondels in 1994. De omvang van het visbestand van deze soortgroep is geschat op ongeveer 2.700 stuks/ha (rond augustus). Dit zijn voornamelijk dikkopjes en daarnaast zwarte grondels en in mindere mate brakwatergrondels. Aangenomen is dat het jaarrond openstellen van de Brouwerssluis geen effect heeft gehad op de populatieomvang van grondels.

- Aangenomen wordt dat de omvang van het bestand aan platvissen op het moment groter is dan in 1994 door het jaarrond openstellen van de Brouwerssluis en daarmee de intrek van platvislarven. In het najaar van 1994 had het platvisbestand een omvang van 86 stuks/ha, overeenkomend met 0,03^{de} deel van het grondelbestand. In het najaar van 2007 kwam het platvisbestand (op basis van vangsten) overeen met 0,14^{de} deel van het grondelbestand. Aangenomen wordt dat het platvisbestand hiermee een omvang heeft van 350-400 stuks/ha (0,14 * 2.700). Dit zijn voornamelijk soorten als schol, schar, bot en tong.
- De omvang van het bestand aan pelagische vis is de laatste jaren niet in beeld gebracht. Om het bestand aan pelagische vis in beeld te brengen dienen de juiste vangtuigen ingezet te worden die de waterkolom bemonsteren. Daarnaast dient de bemonsteringsinspanning voldoende hoog te zijn omdat deze soorten in grote scholen voorkomen. Indien aangesloten wordt bij de resultaten van 1994, dan zal het pelagische bestand een omvang hebben van circa 1.800-1.900 stuks/ha (voornamelijk sprot en in mindere mate haring en koornaarvis). In hoeverre de jaarrond openstelling van de Brouwerssluis een effect heeft gehad op het pelagische visbestand is niet vastgesteld middels monitoring. Wel bleek uit hengelvangsten dat in 2006 specifieke soorten als makreel, geep, wijting, steenbolk, kabeljauw (juveniel) rode poon en rog sp. steeds vaker en in grotere hoeveelheden worden gevangen (Van der Linden, 2006).
- De omvang van het bestand aan overige soorten is bepaald op basis van het aandeel dat deze soorten in de korvangsten hebben in het najaar van 2007 (Van Kessel *et al.*, 2008). Dit aandeel bedraagt bijna 2,6%, overeenkomend met een totaal van 126 vissen per hectare.

Op basis van de beschikbare informatie en eerder genoemde aannames is de omvang van het huidige visbestand in het Grevelingenmeer berekend. De omvang van dit visbestand is geschat op ruim 5.000 vissen per hectare (zie tabel 3.3). Voor de pelagische vissoorten geldt dat de aandelen binnen deze groep gelijk zijn aan het onderzoek in 1994 (Meijer, 1995). Wat betreft de grondels en de platvissen zijn de aandelen van de individuele soorten bepaald op basis van de verdeling zoals deze was in het najaar van 2007 (korvangst in Van Kessel *et al.*, 2008). Met betrekking tot de groepen pelagische vissen, grondels en platvissen geldt dat dit enkel de meest voorkomende vissen binnen deze groep zijn.

Tabel 3.3. **Berekend visbestand Grevelingenmeer.**

Groep	Vissoort	Aantal/ha	Aandeel	Lengte*	
				tot 15 cm	> 15 cm
Pelagische vissen	Haring/sprot	1.515	30%	99%	1%
	Koornaarvis	335	7%	100%	0%
Grondels	Dikkopje/brakwatergrondel	2.469	49%	100%	0%
	Zwarte grondel	231	5%	100%	0%
Platvissen	Schol	118	2%	85%	15%
	Bot	2	0%	82%	18%
	Schar	214	4%	85%	15%
	Tong	39	1%	82%	18%
	Griet	2	0%	50%	50%
	Tarbot	1	0%	85%	15%
Overige soorten	n.v.t.	126	3%	n.b.	n.b.
Totaal		5.051	100%	99%	1%

* lengtesamenstelling schar en tarbot o.b.v. lengtesamenstelling schol.

3.3 Oosterschelde

Met betrekking tot de visstand in de Oosterschelde geldt dat Vriese *et al.* (2014) een inschatting heeft gemaakt van het aanwezige visbestand. Deze inschatting is gemaakt op basis van beschikbare vangstgegevens met de boomkor (Demersal Fish Survey) en met de ankerkuil in de Schelde (Oosten- en Westerschelde).

Met betrekking tot visstanden in overgangswateren als de Oosterschelde geldt het volgende, overgenomen uit Van der Molen *et al.* (2012):

“...De visstand die in overgangswateren aanwezig is, kent een sterke seizoengebondenheid en dynamiek, zowel in soortensamenstelling als in abundantie. Er zijn vissoorten die hun gehele levenscyclus in een estuarium kunnen volbrengen, de zogenaamde estuarien residente soorten. Voor andere soorten functioneert het estuarium als kinderkamer, terwijl er ook soorten zijn waarvoor het estuarium fungeert als migratieroute tussen zee en rivier. Gedurende het jaar zijn er seizoensgasten of dwaalgasten welke uit zee of vanuit de rivier het estuarium bevolken...”

De grote dynamiek die kenmerkend is voor visbestanden in het estuarium maakt het niet eenvoudig om op basis van de huidige gegevens een schatting te maken van de omvang van het visbestand. Het uiteindelijke visbestand in de Schelde is berekend door gebruik te maken van de visgegevens van Jager (2012) en de (boomkor)vangsten van de DFS. De wijze waarop dit gebeurd is wordt beschreven in Vriese *et al.* (2014). Hierbij wordt aangenomen dat het visstand in de Schelde representatief is voor zowel de Ooster- als de Westerschelde. In tabel 3.4 is het berekende visbestand van de Oosterschelde weergegeven.

Tabel 3.4. **Berekend visbestand Oosterschelde.**

Groep	Vissoort	Aantal/ha	Aandeel	Lengte	
				tot 15 cm	> 15 cm
Pelagische vissen	Haring/sprot	1.121	51%	100%	0%
	Koornaarvis	2	0%	100%	0%
Grondels	Grondel sp. *	603	27%	100%	0%
Platvissen	Schol	136	6%	100%	0%
	Bot	37	2%	89%	11%
	Schar	12	1%	99%	1%
	Tong	41	2%	100%	0%
	Griet	0	0%	96%	4%
	Tarbot	0	0%	96%	4%
Overige soorten	n.v.t.	253	11%	88%	12%
Totaal		2.206	100%	99%	1%

* het merendeel van de grondels is niet op soort gebracht.

3.4 Visbestand rond Grevelingendam

De visbestanden die in de voorgaande paragrafen zijn weergegeven betreffen gemiddelde bestanden voor het gehele Grevelingenmeer en de gehele Oosterschelde. Zoals eerder aangegeven is de visstand in het Grevelingenmeer en naar alle waarschijnlijkheid ook in de Oosterschelde, niet homogeen over het waterlichaam verspreid. Met betrekking tot het visbestand dat in de omgeving van de dam aanwezig is, wordt door Van der Linden (2006) het volgende opgetekend:

“...De situatie aan de Oosterscheldezijde van de Grevelingendam is vergelijkbaar met de situatie aan de Grevelingenmeerzijde van de Grevelingendam. Dit gebied bestaat voornamelijk uit zandplaten en bevat eenzelfde geringe diversiteit aan vissen en andere fauna...”

Op basis van deze informatie is het aannemelijk dat de visbestanden die zich in de directe omgeving van de Grevelingendam bevinden, gering van omvang zijn. Deze bestanden zijn naar alle waarschijnlijkheid kleiner van omvang dan de gemiddelde bestanden die in beide wateren aanwezig zijn.



4 VISTRANSPORT DOOR DE HEVELS

4.1 Algemeen

Afhankelijk van het waterpeil in de Oosterschelde zal er via de hevels een waterstroom in de richting van de Oosterschelde of in de richting van het Grevelingenmeer lopen. Het water stroomt hierbij altijd van het hoogste waterpeil naar het laagste waterpeil. Feitelijk wordt er water vanuit het waterlichaam met het hoogste waterpeil onttrokken, dat via de hevels naar het waterlichaam met het laagste waterpeil wordt getransporteerd. Gezien de stroomsnelheden die tijdens het hevelen aan de orde zijn (80% van de tijd > 2 m/s) zal vistransport in de praktijk altijd van het hoger gelegen waterpeil naar het lager gelegen waterpeil lopen. De achterliggende mechanismen bij dit transport is in grote lijnen vergelijkbaar met transport/inzuiging van vis bij waterkrachtcentrales en gemalen. Deze mechanismen zijn uitvoerig beschreven door Vriese (2011). Op grond van de aanwezige kennis is een inschatting gemaakt van de hoeveelheid vis die bij de hevels wordt ingezogen.

4.2 Hydraulisch onttrekkingsgebied

Het hydraulisch onttrekkingsgebied, in dit geval aan de zijde van de hevel met het hoogste waterpeil, is door Vriese *et al.* (2009) en Vriese (2011) als volgt omschreven:

“... dit gebied wordt gedefinieerd als het deel van het waterlichaam waarin de (theoretisch) waarneembare stroomsnelheid richting het onttrekkingspunt (onttrekkingssnelheid), bij maximale onttrekking, groter is dan 1 cm/s... de begrenzing van het ‘risicogebied inzuiging’ wordt gevormd door de stroomsnelheidscontour waarbij de theoretisch waarneembare stroomsnelheid richting onttrekkingspunt groter is dan 1 cm/s vanuit de gedachte dat ook de kleinste vis zich aan lagere stroomsnelheden kan onttrekken...”

Dit hydraulisch onttrekkingsgebied is gebaseerd op de stroomsnelheid waarbij de meeste, vrij zwemmende larven, in staat zijn zich te onttrekken aan de stroming, namelijk 1 cm/s. De vormgeving van de onttrekking, het onttrekkingsgebied en het al dan niet aanwezig zijn van stroming in het water waaraan wordt onttrokken, zijn bepalend voor het resulterende stromingspatroon in de richting van het onttrekkingspunt en daarmee voor (de omvang van) het hydraulisch onttrekkingsgebied (Vriese, 2011). De onttrekkings situatie van de Flakkeese spuisluis kan gekarakteriseerd worden als een grote rechthoekige inlaatstructuur, gelegen aan de oever (in de Grevelingendam).

Het onttrekkingsgebied op basis van de 1 cm/s geldt als onttrekkingsgebied voor larven. In voorliggende rapportage wordt enkel gerekend met de visbestanden zoals deze tijdens visstandonderzoeken zijn aangetroffen. Vislarven ontbreken in deze visbestanden en zijn verder ook niet relevant voor onderhavige studie. Van de vislarven sterven er in het eerste levensjaar >99%, waardoor een eventuele extra sterfte veroorzaakt door de hevel niet meer relevant is. Om die reden wordt het onttrekkingsgebied berekend op basis van de zwemcapaciteit van deze grotere vissen. Als criterium voor de grens van het onttrekkingsgebied wordt een stroomsnelheid van 15 cm/s gehanteerd. Deze waarde wordt door EPRI (2000) aanbevolen als grenswaarde voor de kritische zwemsnelheid van een groot aantal vissoorten (en juvenielen daarvan) onder diverse omstandigheden (waaronder verschillende temperaturen) bij koelwateronttrekkingen (≤ 15 cm, geen onderzoek naar effecten op de visstand nodig in de V.S.).

Wanneer de capaciteit van een onttrekking relatief groot is ten opzichte van de dimensies van het water waaruit onttrokken wordt, beter gezegd de diepte en de oeverlengte ter plaatse van de onttrekking, dan ontstaat een onttrekkingsgebied met de vorm van een halve cilinder (Vriese, 2011). Hierbij geldt dat hoe dichter bij de inlaat, des te groter is de stroomsnelheid. De ligging van de

stroomsnelheidscontour van 15 cm/s, in onderhavig onderzoek de grens van het hydraulisch onttrekkingsgebied en kan op de volgende wijze worden berekend (naar Vriese, 2011).

1. Bepaal het debiet van de onttrekking (in m³/s);
2. Bepaal het oppervlak waarbij de stroomsnelheid is gereduceerd tot 0,15 m/s;
3. Bepaal de straal (r) van een halve cilinder met een hoogte van de waterdiepte ter plaatse (h) met een oppervlak zoals berekend onder stap 2.

Het maximale hydraulisch onttrekkingsgebied aan de Grevelingenmeerzijde (waterstroom van Grevelingenmeer naar Oosterschelde) kan als volgt berekend worden:

1. Het maximale debiet van de onttrekking bedraagt circa 200 m³/s bij laag water op de Oosterschelde;
2. Het oppervlak waarbij de stroomsnelheid is gereduceerd tot 0,15 m/s bedraagt $200 \text{ m}^3/\text{s} / 0,15 \text{ m/s} = \underline{1.333 \text{ m}^2}$.
3. De straal (r) van de cilinder met een hoogte van 5,55 m (aangenomen wordt dat de bodemhoogte van de hevel globaal overeenkomt met de gemiddelde bodemhoogte van het onttrekkingsgebied) en een oppervlakte van 1.333 m² bedraagt $r = 1.333 / (\pi \cdot 5,55) \approx \underline{76,5 \text{ m}}$. Het oppervlak van het onttrekkingsgebied wordt hiermee, inclusief het aanvoerkanaal, circa 1,9 hectare.

Het maximale hydraulisch onttrekkingsgebied aan de Oosterscheldezijde (waterstroom van Oosterschelde naar Grevelingenmeer) kan als volgt berekend worden:

1. Het maximale debiet van de onttrekking bedraagt circa 300 m³/s (bij hoogwater);
2. Het oppervlak waarbij de stroomsnelheid is gereduceerd tot 0,15 m/s bedraagt $300 \text{ m}^3/\text{s} / 0,15 \text{ m/s} = \underline{2.000 \text{ m}^2}$.
3. De straal (r) van de cilinder met een hoogte van 7,75 m (aangenomen wordt dat de bodemhoogte van de hevel globaal overeenkomt met de gemiddelde bodemhoogte in het onttrekkingsgebied, bij hoogwater leidt dit tot een waterdiepte van 7,75 m) en een oppervlakte van 2.000 m² bedraagt: $r = 2.000 / (\pi \cdot 7,75) \approx \underline{82,1 \text{ m}}$. Het oppervlak van het onttrekkingsgebied wordt hiermee, inclusief het aanvoerkanaal, circa 4,7 hectare.

Bij de Oosterschelde is er sprake van een wisselende waterstand als gevolg van eb en vloed. Normaal gesproken is het hydraulisch onttrekkingsgebied het grootst bij eb, doordat de waterdiepte van het onttrekkingsgebied dan lager is. De mate van onttrekking is bij de hevel echter het resultaat van het peilverschil. Deze is maximaal bij hoog water. In voorliggend geval zal het hydraulisch onttrekkingsgebied het grootst zijn tijdens hoogwater.

Als gevolg van waterstromen kan de stromingscontour van het hydraulisch onttrekkingsgebied in stroomopwaartse richting worden opgerekt. Het stromingsbeeld aan de stroomafwaartse zijde van de onttrekking verdwijnt hierbij in het geheel. De mate waarin dit plaatsvindt is afhankelijk van de sterkte van de stroming ter plaatse. Hoewel de vorm van het onttrekkingsgebied hierdoor kan veranderen, is de oppervlakte van het hydraulisch onttrekkingsgebied niet aan grote veranderingen onderhevig (Vriese, 2011).



Afbeelding 2.7. Hydraulisch onttrekkingsgebied (bronnen afbeelding: ESRI).

4.3 Passage van vis

Op basis van de kritische stroomsnelheid van 15 cm/s is in de vorige paragraaf het onttrekkingsgebied gedefinieerd. Aangenomen wordt dat alle vis die in het onttrekkingsgebied aanwezig is tijdens één spuigang door de hevel gaat. De vis die zich buiten het onttrekkingsgebied bevindt gaat niet door de hevel. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de visstand op het moment van spuien een statisch geheel is. In werkelijkheid zal dit niet het geval zijn en kan het zo zijn dat vissen als gevolg van verplaatsingen in het onttrekkingsgebied terecht komen. Ze kunnen er echter ook vanuit wegzwemmen.

De hoeveelheid vis die per spuigang door de hevel gaat, kan berekend worden op basis van het oppervlak van het onttrekkingsgebied en de visstand die zich in dat onttrekkingsgebied ophoudt. Met betrekking tot de visstand wordt gerekend met de bestanden zoals weergegeven in hoofdstuk 3. In tabel 4.1 en tabel 4.2 zijn de aantallen vis in het onttrekkingsgebied weergegeven (aantallen). Deze vissen passeren allen de hevel, respectievelijk circa 9.600 stuks van het Grevelingenmeer naar de Oosterschelde en circa 10.400 stuks van de Oosterschelde naar het Grevelingenmeer. Per spuigang komt dit overeen met een passage van 0,0176% van de totale visstand van het Grevelingenmeer en 0,0134% van de totale visstand van de Oosterschelde.

Tabel 4.1. **Berekend visbestand Grevelingenmeer en aantal in onttrekkingsgebied.**

Groep	Vissoort	Aantal/ha	Aantal/ Grevelingenmeer	Aantal/ onttrekkingsgebied
Pelagische vissen	Haring/sprot	1.515	16.363.024	2.879
	Koornaarvis	335	3.616.976	636
Grondels	Dikkopje/brakwatergrondel	2.469	26.662.873	4.691
	Zwarte grondel	231	2.497.127	439
Platvissen	Schol	118	1.269.258	223
	Bot	2	19.378	3
	Schar	214	2.305.981	406
	Tong	39	426.316	75
	Griet	2	19.378	3
	Tarbot	1	9.689	2
	Overige soorten	n.v.t.	126	1.364.043
Totaal		5.051	54.554.043	9.597

Tabel 4.2. **Berekend visbestand Oosterschelde en aantal in onttrekkingsgebied.**

Groep	Vissoort	Aantal/ha	Aantal/ Oosterschelde	Aantal/ onttrekkingsgebied
Pelagische vissen	Haring/sprot	1.121	39.361.058	5.271
	Koornaarvis	2	81.042	11
Grondels	Grondel sp. *	603	21.159.573	2.833
Platvissen	Schol	136	4.767.117	638
	Bot	37	1.285.997	172
	Schar	12	428.447	57
	Tong	41	1.435.777	192
	Griet	0	12.250	2
	Tarbot	0	810	0
Overige soorten	n.v.t.	253	8.883.837	1.190
Totaal		2.206	77.415.908	10.366

* het merendeel van de grondels is niet op soort gebracht.

Bedacht moet worden dat het voorgaande een 'worst case' benadering is. Het onttrekkingsgebied (en dus de hoeveelheid vis die wordt meegespoeld) is gedefinieerd bij het maximale debiet naar het Grevelingenmeer en naar de Oosterschelde. In werkelijkheid zal het onttrekkingsgebied, qua grootte, tijdens de getijdencyclus in een deel van de tijd aanzienlijk kleiner zijn.

Het vistransport zoals hier is weergegeven betreft de invloed van de Flakkeese spuisluis tijdens de "eerste spuigang" op het ongestoorde visbestand in de waterlichamen. Als gevolg van het transport van vis zal de visstand afnemen (of toenemen) en dient voor een volgende berekening het resulterende visbestand genomen te worden (enzovoort, bij berekeningen over een geheel jaar).

4.4 Lokkende werking

Maessen (2015) geeft aan dat het zoutgehalte van het Grevelingenmeer en de Oosterschelde het merendeel van de tijd gelijk is. Migrerende vissoorten van zout naar zoet of van zoet naar zout ondervinden hierdoor geen extra prikkel om de omgeving van de Flakkeese spuisluis op te zoeken. Normaliter laten veel van deze soorten zich leiden saliniteitsverschillen; een zoete lokstroom in het zoute water of vice versa. Hogere concentraties van vis nabij de hevel worden dan ook niet verwacht.

5 VISSTERFTE BIJ PASSAGE DOOR DE HEVELS

5.1 Algemeen

Belangrijkste oorzaken van sterfte van vis bij transport door kunstwerken zoals gemalen en waterkrachtcentrales zijn botsing, barotrauma, shear en turbulentie. Deze sterfteoorzaken kunnen ook voorkomen bij passage van vis door hevels. De mate waarin sterfte optreedt als gevolg van deze factoren, is soortspecifiek en locatiespecifiek. De ene vissoort is robuuster dan de andere en vissoorten verschillen in de gevoeligheid voor druk(verschillen). Belangrijk hierbij is de druk waaraan een vis is geacclimatiseerd op het moment dat deze wordt ingezogen. Deze omstandigheden zijn locatiespecifiek. De mate waarin botsing tot letsel leidt bij vis is al vele jaren onderwerp van onderzoek geweest en heeft aanleiding gegeven tot een reeks van botsingsmodellen, waarvan de oudste al vele jaren terug gaan. Denk hierbij aan het model van Von Raben (1957) en iets recenter, het model van Montén (1985). Daarna hebben nog de nodige verdere ontwikkelingen plaatsgevonden hierin. De effecten van shear en turbulentie op vis zijn in het verleden uitgebreid onderzocht door Turnpenny *et al.*, 1992; 2000. In de navolgende paragrafen worden deze schadeoorzaken, waar relevant, nader toegelicht.

5.2 Barotrauma

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 onderlossende stuwten/spillways. Ook in een hevel heerst onderdruk, zoals al aan de orde is gekomen in hoofdstuk 2.

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 het 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 zwemblaas, uitpuilen van de ogen, expulsie van maag/darmen (trommelzucht), scheuring van bloedvaten en gasbellen in bloedvaten, ogen, kieuwen, vinnen en overige organen.

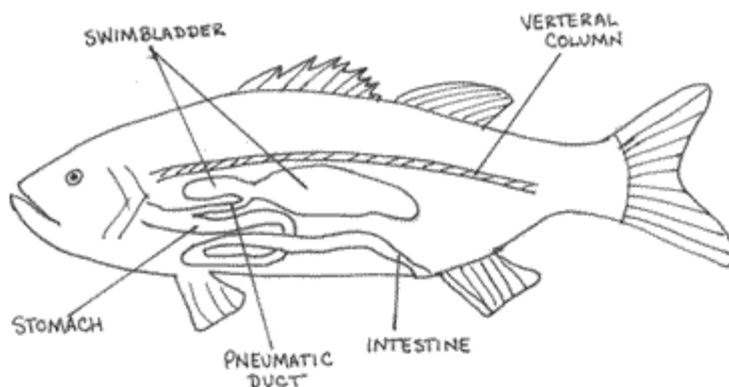


Afbeelding 5.1. Trommelzucht bij snoekbaars (bron: www.roofvisforum.nl)

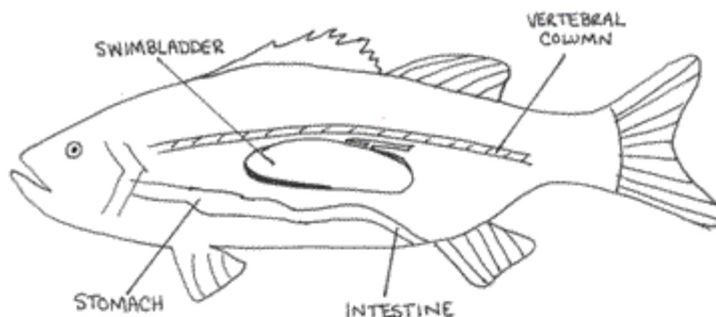
De tweede weg waarlangs barotrauma kan ontstaan, wordt bepaald door de Wet van Henry. Hierbij worden gasbellen gevormd als gevolg van een door drukverlaging geïnduceerde vermindering van de oplosbaarheid van gas. De hoeveelheid gas die opgelost is in een vloeistof (bijvoorbeeld bloedplasma), staat in 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.

De mate waarin schade optreedt, wordt tevens bepaald door de bouw van de vissoorten. Zo wordt er 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* echter dicht. Deze soorten wisselen gas uit de zwemblaas met het bloed via de zogenaamde gasklier en een netwerk van bloedvaten (*retia mirabile*).



Afbeelding 5.2. Physostome vis (bron: Pough et al., 1999)



Afbeelding 5.3. 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 instantane druk/volumeverschillen. De snelheid van de gasregulatie in de zwemblaas verschilt per vissoort. In natuurlijke omstandigheden reguleert de zwemblaas de druk langzaam. De adaptatie aan een verschil van 1 bar druk duurt bijvoorbeeld bij de baars (physoclist) 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 uit te stoten in het bloed en het via de kieuwen kwijt te raken. Het volume van één zwemblaas van een baars kan opgenomen worden in 12 uur. De opname van gas uit 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 doet de zwemblaas dermate vergroten dat de diffusie van deze lucht niet snel genoeg gaat om trommelzucht, dan wel schade aan de zwemblaas, te voorkomen (Vriese *et al.*, 2006). Onderstaande tabel geeft een indeling van de verschillende taxa van vissen en hun type zwemblaas.



Tabel 5.1. Indeling van vissen taxa naar zwemblaas type (bovenste 3 klassen, geen zwemblaas) (bron: Brown *et al.*, 2014).

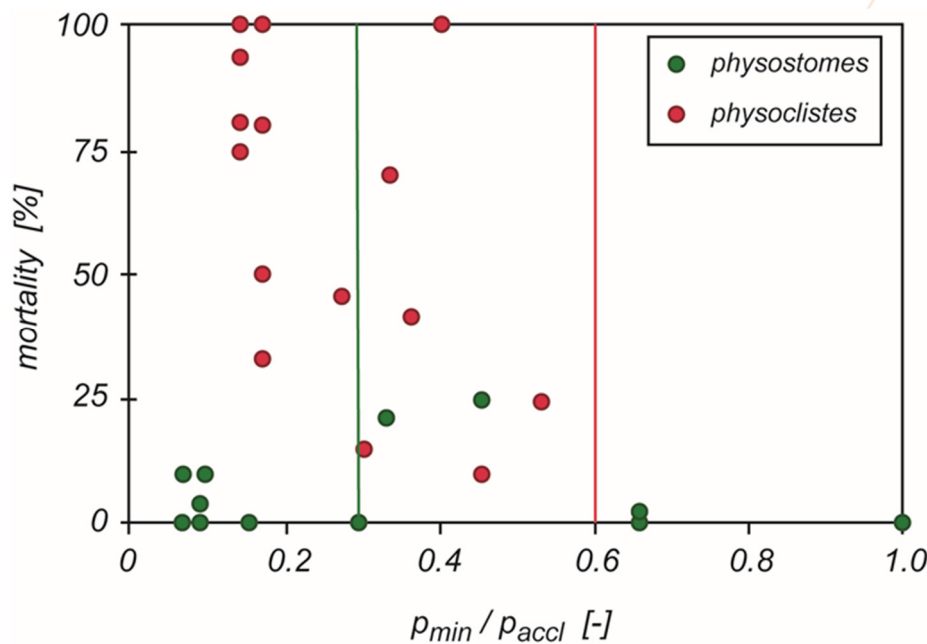
Vissen die op de bodem leven hebben geen zwemblaas nodig. Platvissen (*Pleuronectiformes*) bijvoorbeeld, hebben geen zwemblaas, net als de vele grondelsoorten (*Gobiidae*). Ook een vis als de Spaanse Makreel (*Scomberomorus maculatus*) heeft geen zwemblaas. Het is een roofvis die in zout water leeft. 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 in het Grevelingenmeer leven (grondelsoorten en platvissen), geen zwemblaas hebben en dus ongevoelig zijn voor barotrauma bij passage van de hevels. 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 hebben omdat ze gas uit de zwemblaas kunnen ventileren via de *ductus pneumaticus* en de slokdarm, naar buiten toe. Ook zijn er soorten aanwezig die behoren tot de physoclisten waarvan mag worden aangenomen dat deze mogelijk barotrauma zouden kunnen ondervinden als gevolg van passage door de hevel. De mate van druk verlaging ten opzichte van de druk waaraan de vissen zijn geacclimatiseerd, is hierbij van belang (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: $p > 0,6 \times p_{accl}$.



Afbeelding 5.4. Mortaliteit als gevolg van drukvermindering

Een en ander houdt in dat wanneer vissen zijn geacclimatiseerd aan 1 atm. druk, een drukverlaging van 0,7 atm. voor physostome vissen niet als onveilig wordt gezien. Voor physocliste vissen wordt een drukverlaging van 0,4 atm. nog als acceptabel gezien (Cada *et al.*, 1997) wanneer deze zijn geacclimatiseerd aan 1 atm. In de situatie van de Flakkeese spuisluis met een bodemligging van -5,75 m NAP zijn vissen dus geacclimatiseerd (*worst case*) aan grofweg 1,5 atm. druk. De maximale onderdruk in de hevel is 0,35 atm. de minimale onderdruk in de hevel is 0,57 atm. Uitgaande van de maximale onderdruk betekent:

$$P_{min.} / P_{accl.} = 0,35 / 1,5 = 0,23.$$

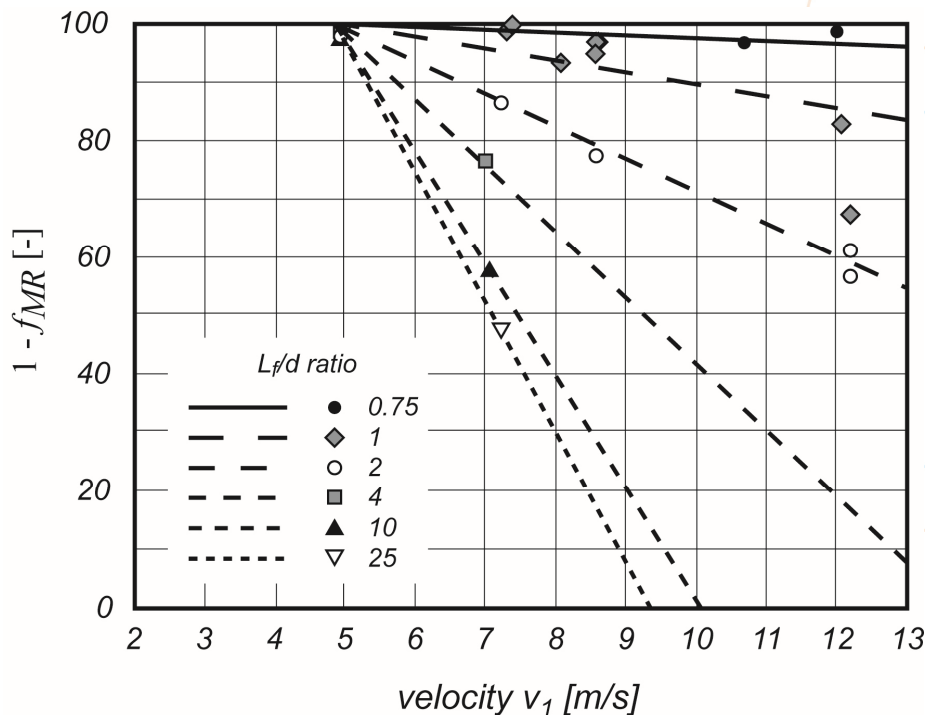
Uitgaande van de minimale onderdruk:

$$P_{min.} / P_{accl.} = 0,57 / 1,5 = 0,38.$$

Hiermee kan worden gesteld dat de situatie voor physostome vissen nog net aan de veilige kant is, maar dat de situatie voor physocliste vissen tot barotrauma zou kunnen leiden (0,23 en 0,38 aanzienlijk kleiner dan de veilige verhouding van 0,6).

5.3 Botsing

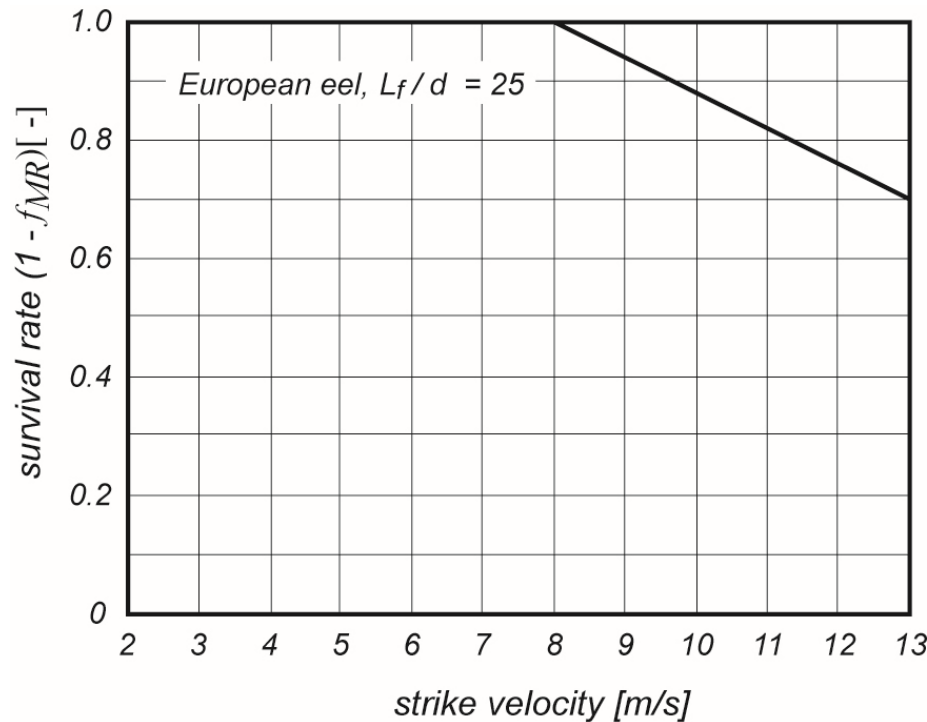
Kennis over de effecten van botsingen van vissen met stationaire of bewegende delen komt in belangrijke mate ook voort uit onderzoek naar turbinepassage van vissen (Turnpenny *et al.*, 1999; 2000; EPRI, 2011). De hierbij ontwikkelde theorieën zijn recent ook toegepast op pompen (Van Esch, 2012). Schade aan vis bij botsingen in turbines wordt in belangrijke mate bepaald door de botsingssnelheid, maar ook door de verhouding tussen de bladdikte van de turbinebladen en de lengte van de vis. Daarnaast is er verschil tussen vissoorten. Een soort als (schier)aal is beter bestand tegen botsingen dan de meeste schubvis. Binnen schubvis kan nog onderscheid gemaakt worden tussen de baarsachtigen en de overige vissoorten. Baarsachtigen hebben ctenoïde schubben die steviger zijn dan de cycloïde schubben van bijvoorbeeld karperachtigen. Uit onderzoek naar de effecten van gemaalpassage door vis komt naar voren dat de baarsachtigen stelselmatig een lagere schade ondervinden dan de andere vissoorten (Stowa, 2012). Driedoornige stekelbaarzen hebben beenplaten, waardoor deze ook goed bestand zijn tegen botsingen. In de VS is uitgebreid onderzoek verricht naar de mate van mortaliteit bij salmoniden (vergelijkbaar met schubvis met cycloïde schubben) als gevolg van de botsingssnelheid en de verhouding tussen de bladdikte van de turbinebladen en de lengte van de vis. Onderstaande afbeelding geeft het verband (EPRI, 2011).



Afbeelding 5.5. Relatie tussen botsingssnelheid en mortaliteit voor verschillende verhoudingen tussen L/d voor forel (bron: EPRI, 2011).

Uit de figuur valt op te maken dat een botsingssnelheid lager dan 5 m/s eigenlijk nooit tot mortaliteit leidt (los van vislengte en bladdikte). Voor aal is een en ander ook onderzocht (Van Esch & Spierts, 2014). Hoewel gebaseerd op minder data kan geconstateerd worden dat een botsingssnelheid van lager dan 8 m/s niet tot mortaliteit leidt bij aal. Welke implicatie heeft dit voor eventuele vissterfte bij de

Flakkeese spuisluis als gevolg van botsing met de binnenkant van de hevel of het stortebed? Al eerder is aangegeven dat de maximale stroomsnelheid richting Grevelingenmeer 4,5 m/s en de maximale stroomsnelheid richting Oosterschelde 3,5 m/s is. De maximale botsingsnelheid kan dan ook niet hoger zijn dan 4,5 m/s (eerder lager). Het risico op mortaliteit als gevolg van botsing moet als zeer gering worden ingeschat.



Afbeelding 5.6. Relatie tussen botsingsnelheid en mortaliteit voor aal (bron: Van Esch & Spierts, 2014).

5.4 Shear en turbulentie

Net als bij botsing zijn de effecten van shear en turbulentie voornamelijk onderzocht met betrekking tot passage van vis door turbines (Čada *et al.*, 1997). Shear ontstaat wanneer twee waterlagen met verschillende snelheid (en ook richting) langs elkaar stromen. Als een vis zich in beide waterlagen bevindt, worden er krachten op het lichaam uitgeoefend in verschillende (tegengesteld) richtingen. Het schadebeeld dat hierbij ontstaat heeft de volgende kenmerken (Eicher *et al.*, 1987):

- Ogen die uit de oogkas zijn getrokken;
- Onthoofdingen en doorgescheurde lichamen;
- Afgescheurde kieuwdeksels.

Shear is direct proportioneel met de verandering van de stroomsnelheid over de afstand. Dat wil zeggen, als de stroomsnelheden van 2 waterlagen verschillen met 3 m/s over een afstand van 1 m, de shear een grootte heeft van 30 m/s/m.

Door de jaren heen is er heel wat onderzoek verricht, waarbij shear dan werd nagebootst door in een basin een waterstraal te creëren (middels een pomp en een straalbuis) en vis vlak voor de straal los te laten, zodat een deel van de vis zich in het stilstaande water bevond en een ander deel in de waterstraal. Deze aanpak werd geïntroduceerd door Groves (1972) en later weer gebruikt door Turnpenney *et al.* (1992). Deze laatste onderzocht de effecten van shear op zalm, (zee)forel, regenboogforel, zeebaars, tong, wijting, haring, fint en aal. De pomp die hij gebruikte had een

maximaal debiet van 23 m³/s en de testen werden uitgevoerd met debieten van 0, 5, 10, 15 en 20 m³/s met bijbehorende stroomsnelheden van 0, 5, 10, 15 en 20 m/s. Bijbehorende shear niveaus waren respectievelijk: 0, 206, 774, 1920 en 3410 N/m². Niet alle vissoorten werden blootgesteld aan alle experimenten. Samengevat geven de resultaten het volgende beeld, pas vanaf 15 m/s (shear 1920 N/m²), was er sprake van mortaliteit en het eerder genoemde schadebeeld. Aal bleek het best bestand tegen shear, bij alle experimenten was er 100% overleving na 7 dagen. Ook tong bleek goed bestand tegen shear, pas op het hoogste shear niveau was er sterfte na 7 dagen (dit werd veroorzaakt door een schimmelinfectie als gevolg van verlies van delen van de slijmhuide, of dit ook in het buitenwater zou optreden is de vraag). De haringachtigen (haring en fint) stierven na blootstelling aan zelfs de laagste niveaus van shear allemaal binnen het uur. Deze soorten zijn zeer gevoelig voor schubverlies en als grote delen van het lichaam ontdaan worden van schubben en slijmhuide zijn ze niet meer in staat de osmotische balans te behouden (sterven aan uitdroging, zeewater is twee keer zo zout als de lichaamsvloeistoffen van de vissen).

Wat betekent dit voor sterfte als gevolg van shear bij de Flakkeese spuisluis? Niet bekend is welke shear niveaus daar optreden. Echter, uitgaande van de maximale stroomsnelheid van het water (in de hevel) is te verwachten dat de stroomsnelheid in de woelbak aan de Oosterschelde zijde niet boven de 4,5 m/s komt (waarschijnlijk aanzienlijk lager is door de grotere dimensies van de woelbak) en een eventueel optredende retourstroom ook een lagere snelheid heeft. Een en ander blijft dan onder het shear niveau waarbij in de experimenten van Turnpenny *et al.* (1992) schade optreedt, voor nagenoeg alle vissoorten met uitzondering van de haringachtigen. Voor deze laatste groep is mogelijk wel schade te verwachten. Turnpenny *et al.* (1992) maakten wel gebruik van een controle groep, deze had geen mortaliteit maar wel enige schade als gevolg van de 'handling'. De stroomsnelheid richting Grevelingenmeer is lager (3,5 m/s) zodat ook hier geen effecten te verwachten zijn (met uitzondering van mogelijk de haringachtigen).

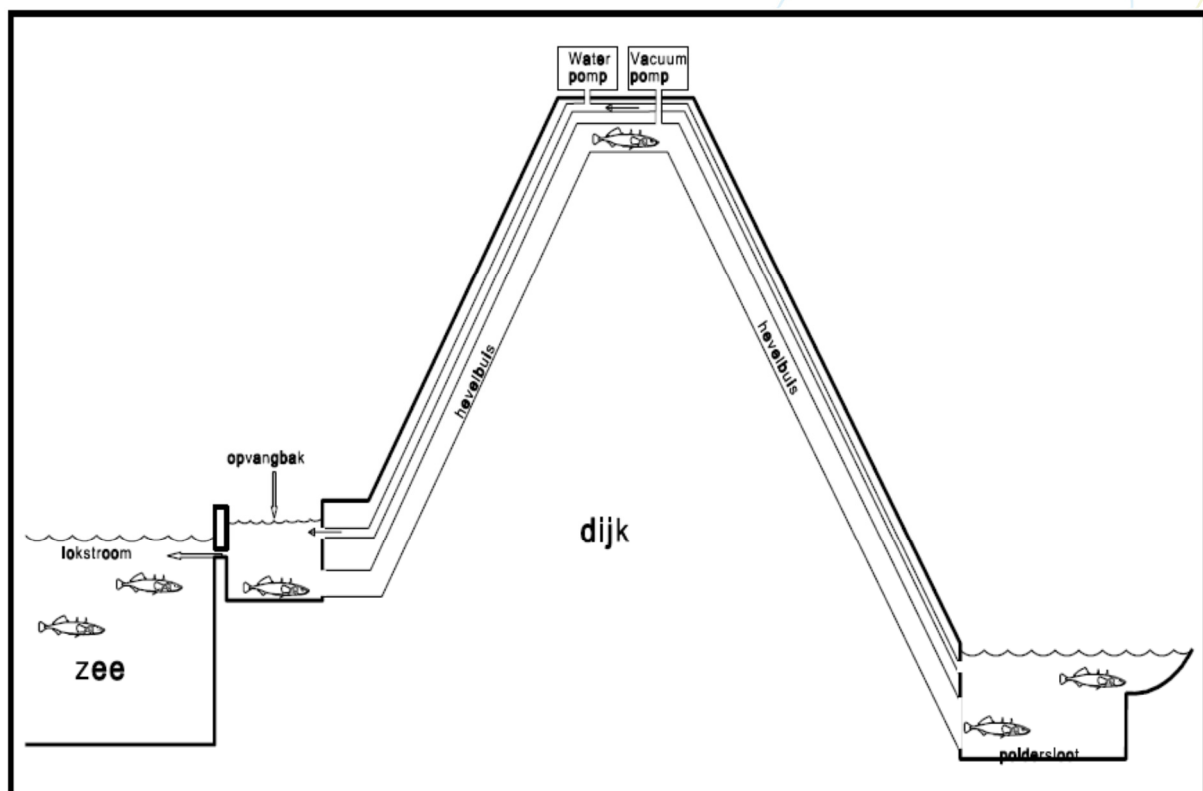
Turbulentie en shear zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. Čada *et al.* (1997) omschrijven turbulentie als volgt: "...Turbulent flow occurs when fluid particles move in a highly irregular manner, even if the fluid as a whole is traveling in a single direction. That is, there are intense, small scale motions present in directions other than that of the main, large scale flow...". Odeh *et al.* (2002) voegt hieraan toe: "... shear stress will cause turbulent eddies. Similarly, turbulent flows, by definition, will create shear forces and shear stresses, because parcels of water that are moving in different directions and with different velocities will interact...".

Binnen in een turbine is shear een grotere oorzaak voor mortaliteit dan turbulentie. Echter, in de uitstroomopening van de turbine kan turbulentie een groter effect op vis hebben. Kleinschalige turbulentie kan leiden tot kneuzingen en schubverlies. Grootschalige turbulentie (enkele keren groter dan de afmetingen van de vis) zal de vis rondslingeren met als gevolg desoriëntatie, evenwichtsverlies en verminderde zwemcapaciteiten. Hierdoor is de vis gevoeliger voor predatie (Odeh *et al.*, 2002). Naar verwachting is de turbulentie het grootst in de woelbak aan de Oosterscheldezijde. Of de turbulentie daadwerkelijk groot genoeg is om schade aan vis te veroorzaken is onduidelijk (predatierisico zal wel toenemen). De vergelijking kan gezocht worden met de spillways van de grote Amerikaanse stuwdammen aan de Columbia en Snake river. Het water komt hier van grote hoogte naar beneden (tientallen meters) en komt ook terecht in een woelbakachtige constructie. In het Columbia riviersysteem is veel onderzoek gedaan naar de overleving van smolts van diverse salmoniden soorten, waarbij in het algemeen de conclusie is dat passage via de spillway de te prefereren route is om stroomafwaarts te komen, waarbij slechts geringe schade ontstaat (hooguit enkele procenten tot 0%). Na 60 jaar onderzoek in de praktijk wordt in modelstudies aangaande het opwekken van waterkracht gerekend met een gemiddelde (directe) mortaliteit van 2% (Ferguson *et al.*, 2005). Deze laatste studie is een synthese van al het onderzoek dat vanaf 1995 is uitgevoerd.

Om geen effecten op vis te veroorzaken is voldoende diepte en grootte van de woelbak van groot belang. DWA (2005) citeren hier Odeh & Orvis (1998) die stellen dat de diepte een kwart van valhoogte (niveauverschil) maar minimaal 0,9 m dient te zijn en de woelbak een volume moet hebben van 10 m³ per 1 m³/s afvoer. Hoewel de situatie voor de Flakkeese spuisluis wel iets anders is, zou voor de diepte de hoogte van de spuikoker aangenomen kunnen worden (3,2 m), hetgeen voldoende zou moeten zijn. Het volume van de woelbak is bij benadering: 16 m x 58 m x 5 m = 4.640 m³. Met een maximaal debiet richting Oosterschelde van 300 m³/s zouden ook de afmetingen van de woelbak voldoen aan de gestelde eisen (merendeel van de tijd is het debiet aanzienlijk kleiner). Naar verwachting vindt er bij de Flakkeese spuisluis geen vissterfte plaats als gevolg van turbulentie. Een toegenomen predatie kan echter niet uitgesloten worden.

5.5 Discussie omtrent schadefactoren

In de voorgaande paragrafen zijn diverse mogelijke schade oorzaken voor vis bij passage van de Flakkeese spuisluis aan de orde gekomen. Geconstateerd is hierbij dat de onderdruk in de hevel mogelijk onveilig zou zijn voor physocliste vissoorten. Voor physostome vissen en vissen zonder zwemblaas is er geen risico op barotrauma. Uit hoofdstuk 3 is duidelijk geworden dat vissoorten die het grootste aandeel vormen van de visstand (op basis van monitoring) voornamelijk platvissoorten, grondelsoorten en haringachtigen zijn, die ofwel geen zwemblaas hebben danwel behoren tot de physostome vissoorten. Andere vissoorten van belang, zoals aal en salmoniden, behoren eveneens tot de physostome vissoorten. De koornaarvis is een physocliste vissoort die ook nog in redelijke aantallen op het Grevelingenmeer voorkomt. Daarnaast zijn er in de categorie overige vissoorten ook diverse vissoorten die behoren tot de physocliste vissoorten, waaronder de driedoornige stekelbaars. Of deze vissoort daadwerkelijk barotrauma zal vertonen is de vraag. Zo is er in het najaar van 1995 een hevelvispassage aangelegd bij het gemaal Eijerland in De Cocksdorp op Texel (afbeelding 5.7).



Afbeelding 6.1. De hevelvispassage te Cocksdorp

De passage op Texel is aangelegd om het voedselaanbod en indirect het voortplantingssucces van lepelaars op het eiland te verbeteren. De bedoeling was tevens vooral kleinere trekvissen als driedoornige stekelbaars en glasaal, maar mogelijk ook garnaal, jonge bot, spiering en koornaarvis gebruik te laten maken van de passage. De hevelvispassage werkt door een zoete lokstroom aan de zeezijde te genereren gedurende enige tijd, waarmee vis in een opvangbak kan komen. Nadat vis zich hier heeft verzameld, wordt de bak afgesloten en de vacuümpomp aangezet waarmee het water tot bovenin de hevel wordt opgezogen en het onder “vrij verval” naar de poldersloot kan stromen (Ekkelboom & Wintermans, 1997).

De hevelvispassage voert over een dijk met een hoogte van 8,5 m. Uit de monitoring is gebleken dat naast driedoornige stekelbaars ook glasaal, jonge bot, harder en uitgespoelde zoetwatervissen gebruik maken van de hevelvispassage. Al deze soorten vertoonden geen barotrauma (mondellinge mededeling van G. Wintermans), terwijl de drukcondities (gezien de opvoerhoogte) slechter zijn dan bij de Flakkeese spuisluis. Het is niet onmogelijk dat de kleinere vis (en vissoorten) een wat andere bouw hebben (kleiner volume zwemblaas ten opzicht van de dikte van de zwemblaaswand) waardoor bij korte blootstelling de negatieve effecten minder groot zijn. Op grond hiervan is te verwachten dat driedoornige stekelbaars (maar ook glasaal, jonge bot, harder) geen negatieve effecten zal ondervinden van passage door de Flakkeese spuisluis.

In § 5.3 is aangegeven dat botsing als schade oorzaak geen rol van betekenis speelt. Hierbij dient wel de kanttekening gemaakt te worden dat dit voornamelijk onderzocht is bij salmoniden en bij aal. Al eerder is gezegd dat de haringachtigen relatief kwetsbaar zijn. Hoe deze op botsing reageren is minder bekend. Waarschijnlijk speelt shear een groter effect als het gaat om schade aan de haringachtigen.

6 IMPACT VAN DE FLAKKEESE SPUISLUIJ OP VISPOPULATIES

6.1 Algemeen

In hoofdstuk vier is berekend welk deel van de aanwezige visstand zich in het onttrekkingsgebied bevindt en tijdens het spuien van het Grevelingenmeer naar de Oosterschelde gaat of omgekeerd. De passage van vis door de spuisluis leidt bij het ontvangende waterlichaam tot een toename van de visstand en bij het lozende waterlichaam tot een afname van de visstand. De mate waarin er sterfte optreedt tijdens passage bepaald in hoeverre er aanwas van het visbestand is in het ontvangende water. Op basis van deze gegevens is een inschatting gemaakt van de impact van de Flakkeese spuisluis op de vispopulaties die in het Grevelingenmeer en in de Oosterschelde aanwezig zijn. Bij deze inschatting is gebruik gemaakt van de volgende aannames:

- Er is geen sprake van veranderingen in de visstand (in- en uittrek, rekrutering, sterfte) dan veranderingen als gevolg van de in- en uittrek van vis via de Flakkeese spuisluis;
- De visstand in het Grevelingenmeer en de Oosterschelde is homogeen verdeeld over het gehele waterlichaam. Het effect van eventuele in- of uittrek van vis via de Flakkeese spuisluis wordt homogeen verdeeld over de visstand in het gehele waterlichaam (een negatief effect indien er vis uittrekt en een positief effect indien er vis intrekt);
- Aangenomen is dat alle vissen en alle aanwezige lengteklassen in het onttrekkingsgebied via de hevels passeren. In de praktijk zullen het voornamelijk kleine vissen zijn met een geringe zwemcapaciteit.

De in dit hoofdstuk weergegeven impact van de Flakkeese spuisluis op de vispopulaties in het Grevelingenmeer en de Oosterschelde is enkel een inschatting van de impact als gevolg van passage via de hevels. Eventuele indirecte effecten van de Flakkeese spuisluis op de aanwezige vispopulaties zijn niet meegenomen. Indirecte effecten zijn bijvoorbeeld veranderingen in de waterhuishouding als gevolg van wateruitwisseling.

6.2 Berekende impact van spuisluis

De impact (effecten) van de Flakkeese spuisluis op de vispopulaties in het Grevelingenmeer en de Oosterschelde betreft enerzijds de intrek (+) van vis via de hevels en anderzijds de uittrek (-) van vis via de hevels.

Intrek (+)

De intrek van vis via de hevels leidt tot een toename van het visbestand in het ontvangende water. De impact van deze intrek op de visstand in het ontvangende water is afhankelijk van de absolute intrek van vis in verhouding tot het totale visbestand in het ontvangende water. De absolute intrek is hierbij afhankelijk van de grootte van het onttrekkingsgebied in het lozende water en de daarin aanwezige visstand. Het sterftepercentage tijdens passage bepaald welk deel van deze vissen uiteindelijk daadwerkelijk tot een toename van het visbestand in het ontvangende water leidt.

Uittrek (-)

De uittrek van vis via de hevels leidt tot een afname van het visbestand in het lozende water. De impact van deze uittrek op de visstand is afhankelijk van de grootte van het onttrekkingsgebied en de daarin aanwezige visstand. Eventuele sterfte van vis tijdens passage heeft geen effect op de uittrek aangezien deze vis hoe dan ook het waterlichaam verlaat.

In tabel 6.1 en tabel 6.2 is de ontwikkeling van het visbestand in het Grevelingenmeer en de Oosterschelde weergegeven als resultaat van de veronderstelde in- en uittrek van vis via de

Flakkeese spuisluis. Het visbestand dat is weergegeven betreft het visbestand na één jaar spuien, waarbij er sprake is van geen sterfte en sterftepercentages van 5%, 50% en 100% bij passage.

Tabel 6.1. *Ontwikkeling visbestand Grevelingenmeer na één jaar spuien.*

Groep	Vissoort	Huidig visbestand	Visbestand na één jaar bij sterfte (%)							
			0%		5%		50%		100%	
Pelagische vissen	Haring/sprot	1.515	1.656	9%	1.639	8%	1.495	-1%	1.338	-12%
	Koornaarvis	335	298	-11%	298	-11%	297	-11%	296	-12%
Grondels	Grondel sp.	2.700	2.565	-5%	2.555	-5%	2.471	-8%	2.385	-12%
Platvissen	Schol	118	142	21%	140	19%	123	4%	104	-12%
	Bot	2	12	552%	11	524%	7	270%	2	-12%
	Schar	214	193	-10%	193	-10%	191	-11%	189	-12%
	Tong	39	46	17%	46	16%	41	3%	35	-12%
	Griet	2	2	-6%	2	-6%	2	-9%	2	-12%
	Tarbot	1	1	-10%	1	-11%	1	-11%	1	-12%
	Overige soorten	n.v.t.	126	182	44%	178	41%	147	16%	112
Totaal		5.051	5.096	1%	5.063	0%	4.772	-6%	4.461	-12%

Tabel 6.2. *Ontwikkeling visbestand Oosterschelde na één jaar spuien.*

Groep	Vissoort	Huidig visbestand	Visbestand na één jaar bij sterfte (%)							
			0%		5%		50%		100%	
Pelagische vissen	Haring/sprot	1.121	1.078	-4%	1.075	-4%	1.048	-7%	1.020	-9%
	Koornaarvis	2	14	489%	13	464%	8	240%	2	-9%
Grondels	Grondel sp.	603	644	7%	639	6%	596	-1%	548	-9%
Platvissen	Schol	136	128	-6%	128	-6%	126	-7%	124	-9%
	Bot	37	34	-8%	34	-8%	33	-9%	33	-9%
	Schar	12	18	52%	18	48%	15	21%	11	-9%
	Tong	41	39	-5%	39	-5%	38	-7%	37	-9%
	Griet	0	0	9%	0	8%	0	0%	0	-9%
	Tarbot	0	0	125%	0	118%	0	58%	0	-9%
	Overige soorten	n.v.t.	253	236	-7%	236	-7%	233	-8%	230
Totaal		2.206	2.192	-1%	2.182	-1%	2.096	-5%	2.007	-9%

0 = < 0,5 vis per hectare

Indien er tijdens het hevelen door de Flakkeese spuisluis geen sterfte optreed bij de passerende vissen, leidt dit op het Grevelingenmeer tot een lichte stijging (1%) van het visbestand en op de Oosterschelde tot een lichte daling (1%). Dit doordat er tijdens het spuien netto meer vis naar het Grevelingenmeer gaat dan dat er vis naar de Oosterschelde gaat (debietbepaald). De percentages verschillen van soort tot soort. Indien het sterftepercentage bij het hevelen 100% bedraagt leidt dit in het Grevelingenmeer tot een afname van het visbestand van 12% en in de Oosterschelde tot een afname van het visbestand van 9%. Dit percentage is gelijk voor alle soorten doordat er geen intrek van vis is.

Hoewel de impact per soort aanzienlijk verschilt en het grootst is bij de soorten die in geringe aantallen voorkomen, is het *overall* effect op de visstand gering, zelfs bij hoge aangenomen sterftepercentages. In de praktijk zullen de sterftepercentages laag zijn. Mogelijk is er enige sterfte van fysocliste vissoorten als gevolg van barotrauma. Dit betreffen echter soorten die verhoudingsgewijs in geringe aantallen aanwezig zijn, dus geen grote impact op de totale visstand hebben. Naar verwachting zal er geen sterfte optreden van driedoornige stekelbaars gezien de

resultaten van Ekkelboom & Wintermans (1997). Bij de hevelvispassage te Cocksdorp (Texel) worden driedoornige stekelbaarzen over een grotere hoogte geheveld en treedt geen enkele sterfte op.

Indien de haringachtigen een grote sterfte als gevolg van shear laten zien, dan is er enige impact op het visbestand in de Grevelingen en de Oosterschelde. Bij 100% sterfte van de haringachtigen is er op de totale visstand in het Grevelingenmeer een vermindering met 6,2%. Voor de Oosterschelde is dit een vermindering met 2,7%.

Duidelijk moet zijn dat dit een *worst case* benadering is. Met betrekking tot het onttrekkingsgebied is gerekend met de maximale debieten, terwijl gedurende het grootste deel van het getij de debieten veel geringer zijn en het onttrekkingsgebied dus navenant kleiner. Daarnaast wordt ook aangenomen dat alle vis willoos mee spoelt. Naar verwachting zullen veel vissen zich tegen de stroming verzetten en zullen de effecten van de onttrekking vooral lokaal optreden. Een belangrijke aanwijzing hiervoor is de volgende, als gevolg van onttrekking van koelwater door de Bergumermeercentrale gaat het totale volume van het meer in ongeveer 3 dagen door de centrale. Het visbestand van het Bergumermeer wordt hierdoor niet noemenswaardig beïnvloed (Bruijs *et al.*, 2008).

Verder moet het volgende moet worden bedacht. Er is sprake van een haringbestand van miljoenen tonnen in de Noordzee (Brevé, 2006). Juvenielen van de soort trekken jaarlijks noordwaarts vanuit de paaigebieden in het kanaal. Langs de kust is voornamelijk de 1-jarige haring zeer talrijk. Een dusdanige vermindering in het Grevelingenmeer en in de Oosterschelde is voor de haring als soort niet relevant. Daarbij, de aanwezigheid van de haring langs de Nederlandse kust is zeer grillig. Het ene moment zijn er zeer grote scholen dicht onder de kust. Het andere moment zijn deze afwezig. Juvenile haring verzameld zich vooral op plaatsen waar het zoete water in zee komt (denk aan het Haringvliet of het kustgebied rond de Nieuwe Waterweg) vanwege het plankton waarop zij foerageren. De eventuele intrek het Grevelingenmeer en de Oosterschelde in zal een zeer grillig verloop hebben, zoals ook uit de monitoringsgegevens blijkt (Vriese & Hop, 2015). Hierdoor zijn er jaarlijks veel grotere fluctuaties in aanwezigheid in het bestand van de haringachtigen en is een effect van eventuele bovengenoemde sterfte verwaarloosbaar.

7 VRAGEN NAAR AANLEIDING VAN HET RAPPORT

7.1 Algemeen

Op basis van een eerdere versie van dit rapport is een vragenlijst opgesteld om zoveel mogelijk onderbouwing te kunnen geven aan de argumenten waarmee significante effecten kunnen worden uitgesloten. In navolgende paragrafen worden deze vragen weergegeven en waar mogelijk beantwoord.

7.2 Samenstelling visbestand

“...Op dit moment is er eigenlijk onvoldoende inzicht in de actuele samenstelling van de vispopulatie in de Grevelingen (meest complete referentie is uit 1994). De lijst met vissen met name pelagisch is vrij beperkt. Dit lijkt deels het gevolg van de gehanteerde vangsttechnieken (boomkor). Specifieke vragen die beantwoord moeten worden:

- a. In hoeverre is het bestand nog representatief voor de huidige situatie? Verwachting/onderbouwing?*
- b. Kunnen we aannemelijk maken dat er niet meer andere relevante vissen voorkomen die schade kunnen ondervinden van de FSS en een belangrijk deel van het huidige visbestand uitmaken?..”*

De huidige visstand is grotendeels gebaseerd op het bestand dat in 1994 is aangetroffen, ondertussen al ruim twintig jaar geleden. Dit is de meest complete referentie van de visstand in het Grevelingenmeer. De actuele omvang en samenstelling van de vispopulatie in het Grevelingenmeer is de afgelopen jaren slechts in beperkte mate in beeld gebracht. In een periode van meer dan twintig jaar kan er veel veranderen binnen een visstand. Terecht is daarom de vraag gesteld in hoeverre het visbestand uit 1994 nog representatief is voor de huidige situatie.

Eén van de veranderingen die ten opzichte van 1994 heeft plaatsgevonden is de jaarrond openstelling van de Brouwerssluis. Tot 1999 was de Brouwerssluis enkel tijdens de herfst- en wintermaanden geopend. Sinds 1999 is er sprake van een min of meer permanente uitwisseling van water via de Brouwerssluis. Na deze jaarrondopenstelling werden steeds vaker en in grotere hoeveelheden specifieke soorten als makreel, geep, wijting, steenbolk, kabeljauw (juveniel), rode poon en rog sp. gevangen (Van der Linden, 2006). Op basis van de gegevens van 1994 mag verondersteld worden dat de aantallen van deze soorten onderschat zijn. Hierbij dient echter wel opgemerkt te worden dat de meeste vis zich echter ophoudt in het gebied ten westen van Den Osse (Van der Linden, 2006), ver van de Flakkeese spuisluis. De kans op passage van deze soorten door de Flakkeese spuisluis is hiermee relatief klein.

In tabel 3.2 is van de meest recente jaren het aandeel van de meest voorkomende soorten in de vangst weergegeven. Het betreft hierbij voornamelijk bodemsoorten, aangezien de visstand de laatste jaren in kaart is gebracht met een boomkor. De meest voorkomende soorten zijn over het algemeen dikkopje/brakwatergrondel en zwarte grondel en van de platvissoorten schol. In grote lijnen zijn dit ook de meest voorkomende bodemsoorten in het bestand in tabel 3.3. In dat bestand heeft ook de schar een relatief groot aandeel. Deze laatste vissoort komt in de wintermaanden onder de kust en wordt daarom tijdens bemonsteringen in het voorjaar vrijwel niet gevangen.

De vangsten met de boomkor zijn de afgelopen jaren relatief laag. Dit kan betekenen dat het huidige visbestand kleiner van omvang is dan het bestand zoals dat in het verleden aanwezig was. Daarnaast geldt dat, zoals eerder aangegeven, de meeste vis zich in het westelijke deel van het

Grevelingenmeer ophoudt. In het oostelijke deel van het Grevelingenmeer komt vooral paling en kleine vis (grondelsoorten en koornaarvis) voor (Van der Linden, 2006). Op basis van deze gegevens kan gesteld worden dat de kans reëel is dat het bestand waarmee gerekend wordt, zoals weergegeven in tabel 3.3, een overschatting is van het bestand dat daadwerkelijk in de omgeving van de Flakkeese spuisluis aanwezig is. In dat geval zal de hoeveelheid vis die door de Flakkeese spuisluis gaat een kleiner deel van het totale visbestand vormen dan volgens de berekeningen in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 4 is dan sprake van een worst-case scenario.

Om een actueel beeld van de visstand te verkrijgen is het aan te bevelen zowel in het Grevelingenmeer en de Oosterschelde een visstandonderzoek uit te voeren met een voldoende grote bemonsteringsinspanning en vangtuigen waarmee het totale visbestand in kaart wordt gebracht. Deze aanbeveling is reeds in dit rapport aangedragen. Een belangrijk punt van aandacht hierbij is de jaarrond dynamiek van de visstand, die onder andere het resultaat is van intrek van vis via de Brouwerssluis en de ontwikkelingen in het visbestand gedurende het jaar. Ondanks dat het huidige visbestand recentelijk niet in kaart is gebracht, is het wel aannemelijk dat in het gebied rondom de Flakkeese spuisluis voornamelijk soorten als paling en kleine vissoorten (grondelsoorten en koornaarvis) voorkomen (Van der Linden, 2006), mede vanwege de eenvormigheid van het habitat. Zoals in paragraaf 3.4 reeds is weergegeven is het op basis van de beschikbare informatie aannemelijk dat de visbestanden die zich in de directe omgeving van de Grevelingendam bevinden gering van omvang zijn. Deze bestanden zijn naar alle waarschijnlijkheid kleiner van omvang dan de gemiddelde bestanden die in beide wateren (Grevelingenmeer en Oosterschelde) aanwezig zijn.

7.3 Woelbak

“...Gesteld is dat de dimensionering van de woelbak voldoet aan de eisen die hieraan gesteld worden vanuit de visvriendelijkheid op basis van Amerikaans onderzoek (?). Dit moet nader uitgezocht en onderbouwd worden op basis van de concrete technische specificaties en de gestelde criteria. Daarbij is van belang te onderbouwen dat de vereisten ook van toepassing zijn op de soorten die in de FSS terecht kunnen komen dan wel op basis van worst-case benadering. Detailvragen:

- a. In hoeverre beschikken de “Amerikaanse woelbakken” over een verticale wand, vergelijkbaar met de FSS? Zijn significante shear effecten uit te sluiten bij het afbuigen van de stroming op deze wand?*
- b. Bij de beschrijving van de effecten van de woelbak wordt gerefereerd naar Amerikaans/Canadees onderzoek. Het betreft de effecten op salmoniden die van nature thuishoren in snelstromend water. In hoeverre is dit onderzoek representatief voor soorten uit de Grevelingen en Oosterschelde. Daarnaast hebben de spills uit de referenties betrekking op water dat oppervlakkig stroomt. In dit geval betreft het “jets” die 3 meter onder water worden afgevuurd op een betonnen wand. Tijdens een overleg met Deltares mbt het doorrekenen van deze situatie gaven zij aan dat ze verwachten dat deze jets bijna niets van hun snelheid zouden verliezen tot aankomst bij de damwand. Deze situatie is anders dan bij de woelbakken bij spills bij dammen. Daarnaast is aangegeven dat de stroomsnelheid vaak onder de maximale waarde zit. Dit is niet correct. De stroomsnelheid neemt snel toe en bijna continu tot het moment dat de stroming omdraait en wordt dan snel bijna maximaal...”*

De woelbak bevindt zich aan de Oosterschelde zijde van de Flakkeese spuisluis. Aan het einde van de woelbak bevindt zich een betonnen wand. Feitelijk is deze betonnen wand een debietbegrenzer, maar in de praktijk functioneert deze voornamelijk als stroomverdeler. Deze stroomverdeler bestaat, op grond van gunstige ervaringen met koelwateruitlaten, uit een zigzag vormige overlaat met een horizontale kruin (Waterloopkundig laboratorium Delft, 1976). De stroomverdeler reikt vanaf de

waterbodem tot een hoogte van -3,50 m NAP. De omstandigheden in deze woelbak zijn beschreven door Vrijburcht (1988), waaruit de volgende passage grotendeels is overgenomen.

“...Het uit de Flakkeese spuisluis stromende water komt als een straal in de woelbak. De bovenste waterlaag kan in principe vrijelijk over de stroomverdeler stromen, de onderste waterlaag zal tegen de stroomverdeler opbotsen. Bij een verhouding tussen zigzag-hoogte/waterdiepte benedenpand zoals deze bij de Flakkeese spuisluis aanwezig is, botst de straal in het verlengde van de kokers tegen de zigzag. Hierdoor ontstaat opstuwning voor de zigzag. Deze opstuwning doet het water zijwaarts afbuigen naar de zijwanden van de woelbak. Hierdoor stroomt het water dat over de hele lengte over de zigzag komt, redelijk verdeeld het benedenpand in. In de hoeken van de woelbak zijn kleine neren aanwezig. Het stroombeeld in de woelbak is uitermate turbulent met een sterk variërend oppervlak. Er is sprake van een instabiel stroombeeld, waarbij neren steeds van plaats en afmeting veranderen. Er is sprake van grote snelheidsverschillen en de waterstanden verschillen sterk in langs- en dwarsrichting van de woelbak. Waterstands- en snelheidsmetingen in de woelbak zijn daarom niet goed uitvoerbaar...”

Op basis van bovenstaande is er voor vissen die in de woelbak terechtkomen kans op schade door botsing en door shear en turbulentie. Zoals in paragraaf 5.3 aangegeven, komt de kennis over de effecten van botsingen van vissen met stationaire of bewegende delen in grote mate voort uit onderzoek naar turbinepassage van vissen (Turnpenny *et al.*, 1999; 2000; EPRI, 2011). Hoewel de omstandigheden bij dergelijke onderzoeken vaak niet één op één vergelijkbaar zijn met de huidige situatie, geldt wel dat de principes met betrekking tot botsing, shear en turbulentie gelijk zijn.

Bij stuwen en stuwdammen is er veelal sprake van water dat verticaal in de woelbak valt/stroomt. Odeh & Orvis (1998) stellen dat de diepte (afstand van wateroppervlak tot bodem) een kwart van de valhoogte (niveauverschil) dient te zijn met een minimum van 0,9 meter. Bij de Flakkeese spuisluis komt het water horizontaal de woelbak binnen en bereikt de waterstroom niet de bodem, maar de stroomverdeler. Deze stroomverdeler bevindt zich circa 16 meter van de uitstroom. Bij een valhoogte (peilverschil) van maximaal 1,8 meter is deze afstand aanzienlijk groter dan twee derde van de valhoogte.

Met betrekking tot de stroomsnelheid geldt dat deze in de richting van de Oosterschelde maximaal 3,5 m/s is. Dit is theoretisch de maximale snelheid waarmee het water de stroomverdeler bereikt om vervolgens naar het oppervlak af te buigen (opstuwning). In de praktijk zal dit leiden tot een afname van de stroomsnelheid, al is niet bekend in welke mate. De botsingssnelheid waarmee vis eventueel tegen de stroomverdeler aankomt is maximaal 3,5 m/s, maar zal in de praktijk lager zijn. Voor salmoniden geldt dat een botsingssnelheid lager dan 5 m/s eigenlijk nooit tot mortaliteit leidt (EPRI, 2011). De vraag is gesteld in hoeverre de resultaten voor salmoniden te vertalen zijn naar de vissen die in het Grevelingenmeer voorkomen. Salmoniden zijn vissoorten die van nature thuishoren in snelstromend water. Turnpenny *et al.* (1992) geven aan dat salmoniden redelijk bestand zijn tegen turbulentie, waarschijnlijk mede door de levenswijze van deze soortengroep (stromingsminnend, vaak gebruik makend van zones met de hoogste stroomsnelheden in het kader van migratie). Botsing van vis is echter niet hetzelfde als de mate waarin vissen zich kunnen handhaven in turbulent water. Zoals in paragraaf 5.3 weergegeven hebben salmoniden cycloïde schubben die relatief kwetsbaar zijn in vergelijking met vissen met ctenoïde schubben. Op basis van deze gegevens, in combinatie met stroomsnelheden die aanzienlijk lager zijn dan 5,0 m/s, kan het risico op mortaliteit als gevolg van botsing als zeer gering worden ingeschat. Overigens geldt voor de vissen die in de bovenste waterlagen de Flakkeese spuisluis verlaten de kans op botsing met de stroomverdeler relatief laag is.

Met betrekking tot shear en turbulentie geldt dat er in de woelbak sprake is van een stroombeeld dat uitermate turbulent, sterk variërend en instabiel is, waarbij neren steeds van plaats en afmeting

veranderen (Vrijburcht, 1988). Zoals in paragraaf 5.4 weergegeven is niet bekend in welke mate er sprake is van shear, maar mag op basis van de maximale stroomsnelheid aangenomen worden dat deze onder het shear niveau blijft waarbij in de experimenten van Turnpenny *et al.* (1992) schade optreedt (15 m/s!) voor nagenoeg alle vissoorten, met uitzondering van de haringachtigen. Wat betreft de turbulentie dient de dimensionering van de woelbak voldoende groot te zijn om overmatige krachten van het vallende water te voorkomen (Odeh & Orvis, 1998). De woelbak dient hierbij een volume te hebben van 10 m³ per 1 m³/s afvoer om de optredende krachten te dempen. Zoals in dit rapport weergegeven voldoet het volume van de woelbak aan de hierboven genoemd eisen. Hoewel beperkte tot middelhoge turbulentie niet hoeft te leiden tot schade en mortaliteit zijn er sterke aanwijzingen dat visgedrag, reactievermogen en zwemhouding erdoor kunnen worden beïnvloed, waardoor deze vissen mogelijk onderhevig zijn aan een grotere mate van predatie.

7.4 Inschatting van het percentage aan adulte/juveniele vis dat ingezogen kan worden

“...Om de effecten van de FSS op het visbestand te kunnen kwantificeren is het nodig om een onderbouwde inschatting te kunnen maken van het % van het visbestand aan adulte/juveniele vis die ingezogen kan worden in de FSS op basis van stroomsnelheden en vluchtgedrag. Bij verwijzing naar referenties dient onderbouwd te worden in hoeverre de omstandigheden vergelijkbaar zijn met die bij de FSS. Detailvraag:

- a. Het vistransport door de hevel wordt geschat aan de hand van een zone rondom de hevel. Op basis van het RIKZ rapport 2004.043; “Effecten van koelwater op het zoute aquatische milieu” en het Inventarisatierapport MER 2e E-centrale Borssele wordt aangegeven dat er in de praktijk in de jaren 90 ongeveer 3 miljoen vissen per jaar per ingezogen m³/s wordt ingezogen. Het daggemiddelde debiet is 110 m/s. Extrapolerend zou dit voor de hevel van de Flakkeese Spuisluis 330 miljoen vissen per jaar zijn. In de rapportage van ATKB wordt aangegeven dat de visstand in Schelde, Westerschelde en Oosterschelde als gelijkwaardig zijn aangenomen (pag 11, boven tabel 3.4). Hieruit zou kunnen worden afgeleid dat dergelijke getallen ook voor de Oosterschelde geldig zouden moeten zijn. De gemeten waarden wijken zeer sterk af van de schatting in tabel 4.1 en 4.2...”*

De mate waarin er inzuiging van vis plaatsvindt bij de Flakkeese spuisluis is afhankelijk van het onttrekkingsgebied en de hoeveelheid vis die in dit onttrekkingsgebied aanwezig is. De hoeveelheid vis in het onttrekkingsgebied varieert gedurende het jaar. Dit komt enerzijds door migratie van vis en anderzijds door rekrutering als gevolg van voortplanting (productie). Net na de voortplanting bereikt het visbestand van een bepaalde soort de grootste omvang op basis van aantallen. Het visbestand bestaat dan voornamelijk uit vislarven. De totale hoeveelheid vislarven is onder meer afhankelijk van de mate waarin de paai/rekrutering succesvol is verlopen en in hoeverre er sprake is van voldoende voedsel en predatie. Van jaar tot jaar kunnen deze factoren sterk verschillen, leidend tot sterke fluctuaties in de hoeveelheid vislarven. Gedurende het eerste groeiseizoen sterft een groot deel van de vislarven en veelal bereikt aanzienlijk minder dan 1% het volwassen stadium. Het merendeel van de vislarven (de productie) sterft en slechts een klein deel gaat onderdeel uitmaken van de zogenaamde “standing stock”. Deze “standing stock” is het visbestand aan het einde van het groeiseizoen en is meer constant over de tijd. Feitelijk is de omvang van de “standing stock” relevant met betrekking tot het uiteindelijke visbestand in het Grevelingenmeer en de Oosterschelde.

In voorliggende rapportage is enkel gerekend met de visbestanden zoals deze tijdens de visstandonderzoeken zijn aangetroffen. Zoals eerder aangegeven ontbreken vislarven in deze bestandschatting, waarmee de bestanden aanzienlijk kleiner zijn dan de bestanden die op basis van aantallen kunnen voorkomen. Dit is waarschijnlijk de voornaamste reden dat de aantallen in deze

rapportage aanzienlijk lager zijn dan in de bij deze vraag aangehaalde literatuur. Immers geldt dat wanneer er weinig vis in het onttrekkingsgebied aanwezig is er evenzo weinig vis wordt ingezogen. Zoals in voorgaande tekst is weergegeven, sterft veelal meer dan 99% van de vislarven gedurende het eerste groeiseizoen. Additionele sterfte als gevolg van de Flakkeese spuisluis heeft waarschijnlijk geen effect als gevolg van compensatoire mechanismen en is daarom niet relevant.

Naar aanleiding van de gestelde vraag moet tevens worden bedacht dat een debiet van 69 m³/s van de Oosterschelde naar het Grevelingenmeer gaat. Al eerder in deze rapportage is aangegeven dat eigenlijk sprake is van een bel water die min of meer heen en weer klotst. Zo er al sprake zou zijn van een groot transport van vis, bedacht moet worden dat een belangrijk deel van die vis $((69/110) * 100 = 62\%)$ ook weer terug wordt getransporteerd.

Verder, Bruijs *et al.* (2008) beschrijven de situatie van koelwateronttrekking door de Bergumermeer centrale. Het betreft hier een onttrekking van 27,7 m³/s, wat er op neer komt dat de gehele volume van het Bergumermeer in minder dan 5 dagen door de centrale gaat bij maximale onttrekking. Het visbestand van het meer is in al die jaren praktisch niet veranderd (Vernooij & Kampen, 2007; Koole & Koopmans, 2013).

Vriese *et al.* (2012) berekenen middels het visserijmodel van MacCall *et al.* (1983) dat een reductie van de hele 0-groep vissen en de groep >0+-15 cm vissen met 10% resulteert in een evenwichtspopulatie die slecht 2% kleiner is dan de oorspronkelijke populaties. Gezien hetgeen aangegeven in hoofdstuk 4 en hoofdstuk 6 en de geringe kans op sterfte, is het de verwachting dat de evenwichtspopulatie in het Grevelingenmeer niet zal veranderen.

7.5 Visbestand in omgeving Flakkeese spuisluis

“...Gesteld wordt dat het visbestand in de omgeving van de FSS lager is dan gemiddeld in de Grevelingen. Geldt dit voor alle vissoorten of alleen bepaalde soorten. Hoe zou dit kunnen veranderen onder invloed van het spuien?..”

Van der Linden (2006) maakt melding dat de meeste vis zich in het Grevelingenmeer zich op houdt in het gebied rondom de Brouwerssluis. De reden hiervoor is de directe invloed van het Noordzeewater, afkomstig uit de Brouwerssluis. Eveneens wordt er gesteld dat in het oostelijke deel van het Grevelingenmeer vooral paling en kleine vis (grondelsoorten en koornaarvis) voorkomt (Van der Linden, 2006).

Meijer (1995) geeft aan dat de verspreiding van vissoorten in belangrijke mate samenhangt met de ligging van de dieptezones. Brakwatergrondels zijn geconcentreerd in de ondiepere delen; dikkopje en zwarte grondel komen tot 20 meter vrijwel overal voor, in de diepste delen (> 20 meter) echter minder vaak. Schol werd in alle gedefinieerde dieptezones gevonden, het meest echter in de 5-15 meter zone. Dit laatste geldt ook voor bot en tong. Sprot en haring werden vooral in de delen dieper dan 5 meter gevonden. Koornaarvis daarentegen met name in de ondiepere delen (< 5 meter). Voor de meeste soorten is af te leiden dat de dichtheden in het westelijk deel groter zijn dan in het oostelijk deel. Per soort varieert de begrenzing van beide delen, zeer globaal ligt de grens ten oosten van de Veermansplaat. Voor koornaarvis blijkt juist het tegenovergestelde het geval; de grootste dichtheden werden gevonden ten oosten van de lijn Dreischor-Herkingen.

De mate waarin de visstand in het Grevelingenmeer rondom de Flakkeese spuisluis veranderd onder invloed van het spuien is afhankelijk van de in- en uitstroom van vis (via de Flakkeese spuisluis) en eventuele veranderingen in het aanwezige habitat. Veranderingen in het habitat hebben hierbij vooral

betrekking op veranderingen in de waterkwaliteit (positief, dan wel negatief). In het Grevelingenmeer is de waterkwaliteit na de afsluiting geleidelijk verslechterd, waarbij gebrek aan dynamiek en het daaraan gekoppelde ontstaan van stratificatie en zuurstofloosheid nadelige gevolgen heeft voor (bodem)vissen (Didderen *et al.*, 2014). Indien het spuien de noodzakelijke dynamiek weer terugbrengt op het Grevelingenmeer kan dit leiden tot een toename van het visbestand. Bouma *et al.* (2008) geven aan dat een verbetering van de lokale zuurstofcondities en het bodemleven een positief effect heeft op de visstand. Afhankelijk van de mate waarin dit gebeurt kan in theorie de toename van het visbestand groter zijn dan de afname als gevolg van eventuele sterfte bij passage door de Flakkeese spuisluis. Dit is op voorhand echter niet te kwantificeren.

7.6 Inschatting sterftetekans van adulte/juvenile vissen die ingezogen worden

“...Om de effecten van de FSS op het visbestand te kunnen kwantificeren is het nodig om een onderbouwde inschatting te kunnen maken van de sterftetekans van adulte/juvenile vissen die ingezogen worden in de FSS op basis van drukverschillen, shear en turbulentie. Bij verwijzing naar referenties dient onderbouwd te worden in hoeverre de omstandigheden vergelijkbaar zijn met die in de FSS...”

In deze rapportage is, op basis van de beschikbare literatuur, een inschatting gegeven van de effecten van drukverschillen, shear en turbulentie op de sterftetekans van vissen bij passage door de Flakkeese spuisluis. Met betrekking tot deze vraag wordt dan ook verwezen naar voorgaande hoofdstukken. Kort samengevat geldt het volgende:

- Met betrekking tot drukverschillen is geconcludeerd dat de situatie voor physostome vissen nog net aan de veilige kant is, maar dat de situatie voor physocliste vissen tot barotrauma kan leiden;
- Op basis van de maximaal optredende stroomsnelheden is geconcludeerd dat de kans op letsel als gevolg van botsing gering is;
- De mate waarin shear optreedt is niet bekend. Indien uitgegaan wordt van de maximaal optredende stroomsnelheid en een eventueel optredende retourstroom met een lagere stroomsnelheid, dan is de mate van shear aanzienlijk onder het niveau waarbij er bij de meeste vissoorten schade optreedt. Uitzondering hierop zijn haringachtigen. Bij deze groep is wel schade te verwachten als gevolg van shear en mogelijk botsing.

7.7 Koornaarvis

“...De koornaarvis maakt volgens de rapportage van ATKB een belangrijk deel uit van het pelagisch visbestand van de Grevelingen. Het betreft een soort met een gesloten zwemblaas die gevoelig is voor drukverschillen. Nadere onderbouwing is nodig naar de gevoeligheid van deze vis voor de berekende drukverschillen. Bij verwijzing naar referenties dient onderbouwd te worden in hoeverre de omstandigheden vergelijkbaar zijn...”

De koornaarvis is op basis van de gegevens die beschikbaar zijn een relatief veel voorkomende vis in het Grevelingenmeer. De dichtheden zijn hierbij hoger aan de oostelijke kant van het Grevelingenmeer. De koornaarvis behoort tot de orde van de Atheriniformes (koornaarvisachtigen), welke onder de physoclisten vallen. Deze vissen zijn gevoeliger voor drukverschillen dan physostomen. Er is echter geen specifieke informatie gevonden met betrekking tot de gevoeligheid voor barotrauma bij koornaarvisachtigen. Om die reden wordt aangesloten bij de data die voor physoclisten in het algemeen gelden. Schade als gevolg van barotrauma bij koornaarvissen kan op voorhand niet worden uitgesloten. Echter, met betrekking tot physoclisten geldt dat de gevoeligheid

voor barotrauma tijdens turbine passage afhankelijk is van de druk waaraan vissen zijn geacclimatiseerd (Cada *et al.*, 1997; Abernethy *et al.* 2001, 2002 en 2003). Vissen die geacclimatiseerd zijn aan een grotere diepte zijn gevoeliger voor barotrauma dan vissen die geacclimatiseerd zijn aan kleinere dieptes (Brown *et al.*, 2007). Voor de koornaarvis geldt dat dit een pelagische vissoort is die zich relatief hoog in de waterkolom ophoudt. Het is hiermee waarschijnlijk dat de gevoeligheid van de koornaarvis voor barotrauma lager is dan voor physoclisten die zich dieper in de waterkolom ophouden.

7.8 Vishevel Texel

“...Gerefereerd is aan de vishevel bij Texel, waarbij er geen relevante vissterfte optreedt. Het dient kwantitatief onderbouwd dient te worden in hoeverre de omstandigheden met name de drukdalingen en de stroomsnelheden ivm de reactietijd om het druk verschil te compenseren (voor physostome vissen is ook de snelheid van decompressie van belang i.v.m. kunnen compenseren van het drukverschil d.m.v. “boeren” om de druk in de zwemblaas op te heffen; bij een langzame stroomsnelheid is er meer tijd om te compenseren (zie ook Cada e.a., 1997)) vergelijkbaar zijn met die in de FSS. Detailvragen:

- a. Op basis van de formule voor drukverlaging ten opzichte van de druk waaronder vissen geacclimatiseerd zijn (p_{min}/p_{accl}), wordt in het rapport van atkb geconcludeerd dat er waarschijnlijk geen effect van de hevel is als het gaat om druk. Echter de waarden voor physostome vissen zijn berekend op 0,23 en 0,38 (maximale vs. minimale onderdruk), terwijl voor physostome vissen 0,3 grenswaarde wordt gehanteerd (0,6 voor physoclisten). Hoe kan worden uitgesloten dat effecten niet optreden bij deze onderdrukken?..”*

De vishevel bij Texel heeft een lengte van circa 80 meter. In de praktijk blijkt de hevelsnelheid circa 0,45 m/s. Indien de vissen met de stroom meegevoerd worden betekent dit dat de passage circa drie minuten duurt. Indien de vissen tegen de stroom in zwemmen duurt dit langer, indien de vissen met de stroom mee zwemmen gaat de passage sneller. Ekkelboom & Wintermans(1997) gaven hierbij foutief aan dat in de hevel een onderdruk zou ontstaan van 0,2 bar. Gezien de karakteristieken van de vishevel werd hier een absolute druk bedoeld (0,8 bar onderdruk). De Flakkeese spuisluis heeft een horizontale lengte van bijna 70 meter. De daadwerkelijke lengte is enkele meters langer door de verticale component in deze. De maximaal optredende stroomsnelheden bedragen circa 4,5 m/s naar de Oosterschelde en circa 3,5 m/s naar het Grevelingenmeer. Indien de vissen met de stroom meegevoerd worden betekent dit dat de passage circa 15 tot 20 seconden duurt.

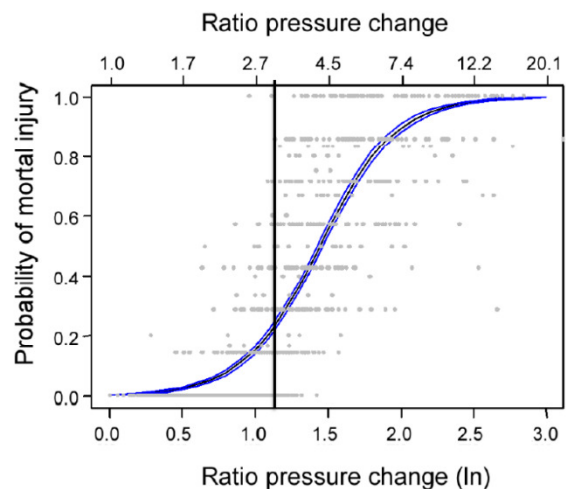
Uit bovenstaande blijkt dat het aannemelijk is dat passage van vis door de Flakkeese spuisluis aanzienlijk sneller gaat dan passage door de vishevel op Texel. Dit betekent dat de drukveranderingen in de Flakkeese spuisluis aanzienlijk sneller optreden dan in de vishevel op Texel. De vraag die gesteld wordt, is in hoeverre dit verschil in tijd effect heeft op de mogelijkheden tot het compenseren van de decompressie door physostome vissen.

Physostome vissen zijn in staat om in korte tijd gassen uit de zwemblaas te ventileren, vaak binnen enkele seconden, terwijl physoclisten hiervoor minuten tot uren voor nodig hebben (lit. in Esch, 2012). Hogan (1941) stelde in een studie diverse vissoorten bloot aan een relatieve langzame decompressie (van atmosferische druk naar circa 17 kPa in circa 15 seconden ($P_{min}/P_{accl} = 0,17$)). De meeste physostome vissen overleefden dit, terwijl dit bij veel van de physocliste vissen niet het geval was. Bij de Flakkeese spuisluis bedraagt de decompressie in het ergste geval circa 7 tot 8 seconden, het drukverschil is echter aanzienlijk kleiner dan in de studie van Hogan (1941). Gezien de resultaten uit deze studie en de vermelding dat physostome vissen binnen enkele seconden gassen uit de zwemblaas kunnen ventileren (lit. in Esch, 2012) kan gesteld worden dat de snelheid van

decompressie geen probleem hoeft te zijn voor physostome vissen. De vergelijking met de vishevel bij Texel is wat dat betreft valide.

Wat betreft de grenswaarde van 0,3 ($P_{\min.}/P_{\text{accl.}}$) die voor physostome vissen wordt gehanteerd geldt dat deze als veilige waarde wordt gehanteerd (Cada *et al.*, 1997). Voor physoclisten is een veilige waarde 0,6 (Cada *et al.*, 1997). Deze waarden zijn echter geen harde grens, waaronder er nooit sprake is van sterfte en waarboven er altijd sprake is van sterfte. In afbeelding 7.1 is de kans op sterfte beschreven op basis van drukveranderingen bij een groot aantal juveniele zalmen (chinook). De grafiek geeft duidelijk weer dat de kans op sterfte in eerste instantie langzaam toeneemt bij een grotere drukverandering om vervolgens sneller te stijgen. In de grafiek is zichtbaar dat er veel variatie is in de kans op sterfte tussen individuele vissen. Uit de studie van Hogan (1941) blijkt dat de meeste physostome vissen een waarde van 0,17 ($P_{\min.}/P_{\text{accl.}}$) overleven (bij een relatief langzame decompressie).

Op basis van de berekende waarden van 0,23 tot 0,38, die schommelen rond de acceptabele grenswaarde van 0,3 wordt om deze reden geconcludeerd dat de situatie voor physostome vissen nog net aan de veilige kant is. Voor physocliste vissen kunnen deze berekende waarden echter wel tot barotrauma leiden, aangezien deze aanzienlijk kleiner zijn dan de acceptabele verhouding van 0,6.



Afbeelding 7.1. Kans op sterfte als gevolg van drukveranderingen bij physostome vissen (Brown *et al.*, 2012).

7.9 Intrek van vis via de Brouwersdam

“...Gesteld wordt dat er sprake is van aanzienlijke intrek van vis via de Brouwersdam. In hoeverre is er sprake van intrek van vissen die de sterfte door de FSS zouden kunnen aanvullen. In het onderzoek van BUWA wordt geconcludeerd dat er geen relevante trek plaatsvindt. Anderzijds bestaat een groot deel van het pelagische visbestand uit haring/sprot die vanuit de Noordzee intrekt. Is deze intrek beperkt tot de zone achter de Brouwersdam? In hoeverre kan er trek naar de FSS plaatsvinden als deze in gebruik is? Is de samenstelling van het visbestand in de buurt van de FSS niet anders dan die achter de Brouwersdam, waar we rekening mee moeten houden...”

Voor zover bekend is de intrek van vis via de Brouwerssluis nog nooit kwantitatief vastgesteld. Desondanks zijn er wel duidelijke indicaties dat er sprake is van intrek van vis. In het westelijke deel van het Grevelingenmeer is bijvoorbeeld de soortenrijkdom van de visstand het grootst, wat zal samenhangen met het beheer van de Brouwerssluis en/of de daar aanwezige vissluis (Meijer & Waardenburg, 1990).

Anekdotische informatie van dhr. T. Boogaart (schipper en eigenaar van sprotvis- en sportduikcharterboot de MS Theo) geeft aan dat de jaarrond openstelling van de Brouwerssluis direct merkbaar was op de visfauna in het Grevelingenmeer (Van der Linden, 2006). Voor de jaarrondopenstelling behoorden, zoals eerder vermeld, platvis, haring en in mindere mate wijting tot de meest gevangen vissoorten. Na de jaarrondopenstelling worden steeds vaker en in grotere hoeveelheden specifieke soorten als makreel, geep, wijting, steenbolk, kabeljauw (juveniel), rode

poon en rog sp. gevangen. Ook worden steeds vaker grote Noordzeekrabben gevangen en ook sepia wordt steeds vaker gezien in het Grevelingenmeer.

Het effect van de jaarrondenstelling op het aantal visdagen is groot, van 40 dagen in 1999 tot circa 300 dagen in 2005. Deze stijging is vooral te danken aan een toename van wijting in het Grevelingenmeer. Deze vissoort komt in het najaar voor de kust en kan via de spuisluis het Grevelingenmeer binnentrekken. Van de platvissoorten, die in vergelijking met wijting minder vaak en in kleine aantallen worden gevangen, bestaat de vangst voor het grootste deel uit schol. De gemiddelde lengte van de gevangen schollen neemt af, wat veroorzaakt zou worden door de aanwas van jonge schol (schollarven kunnen sinds de jaarrondenstelling in relatief grote aantallen naar binnen trekken). Tijdens de 30-dagenregeling, wanneer de Brouwerssluis afgesloten is, wordt er weinig tot niets gevangen. Pas een week na de openstelling gaan de vangsten weer geleidelijk omhoog.

Op basis van bovenstaande informatie kan geconcludeerd worden dat er sprake is van relevante intrek van vis via de Brouwerssluis. Zoals eerder aangegeven houdt de meeste vis zich op in het gebied rondom de Brouwerssluis. De reden hiervoor is de directe invloed van het Noordzeewater, afkomstig uit de Brouwerssluis (Van der Linden, 2006). Dit betekent echter niet dat vissen die via de Brouwerssluis intrekken zich niet verder verspreiden over het Grevelingenmeer. Afhankelijk van de vissoort en het voorkeurshabitat van deze verspreiden vissen zich in meer of mindere mate over het Grevelingenmeer. In hoeverre dit gebeurt als de Flakkeese spuisluis in werking is kan op voorhand niet gezegd worden. Indien de verspreiding van vis voornamelijk gerelateerd is aan de dieptezones, zoals aangegeven door Meijer (1995), zal de verspreiding beperkt zijn. Indien op dit moment de waterkwaliteit in het oostelijke deel niet optimaal is voor vissoorten en dit bij het gebruik van de Flakkeese spuisluis wel het geval is, kan de inzet van de spuisluis wel een effect hebben op de verdere verspreiding van vissoorten.

Anekdotische informatie in Van der Linden (2006) geeft aan dat een mogelijke ingebruikname van de hevel in de Grevelingendam (verbinding met Oosterschelde) door dhr. Boogaart als zeer positief en wenselijk beschouwd wordt, mits er gespuid wordt vanaf het Grevelingenmeer naar de Oosterschelde. Dit leidt tot een grotere doorstroming door het Grevelingenmeer, van west naar oost. De gedachte hierbij is dat de vis, die nu voornamelijk in het westelijke deel aanwezig is, zich in grotere mate in oostelijke richting zal verplaatsen en vestigen. De uitwisseling van vissen door de hevel tussen het Grevelingenmeer en de Oosterschelde zal niet interessant zijn. De situatie aan de Oosterscheldezijde van de Grevelingendam/hevel is vergelijkbaar met de situatie aan de Grevelingenmeer zijde van de Grevelingendam/hevel. Dit gebied bestaat voornamelijk uit zandplaten en bevat eenzelfde geringe diversiteit aan vissen en ander fauna.

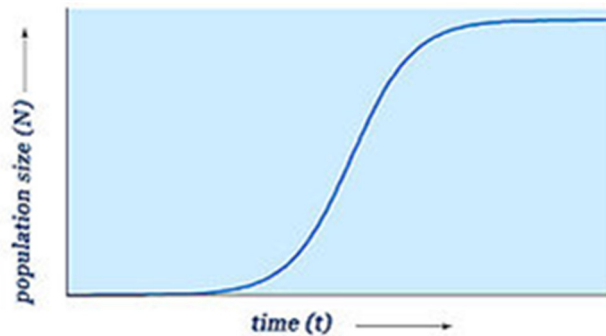
Al eerder is geconstateerd dat er nauwelijks verschillen zijn in de saliniteit van het Grevelingenmeer en de Oosterschelde. Het is daarom niet de verwachting dat van de wateruitwisseling tussen beide waterlichamen een lokkende werking uitgaat, leidend tot een grotere concentratie van vis in het onttrekkingsgebied. Evident is ook dat de aangetroffen soorten na de jaarrond openstelling van Brouwerssluis niet behoren tot obligate zoet-zout (of vice versa) migranten maar mariene (of estuariene) soorten betreffen die dispersiegedrag vertonen. Een gerichte trek naar de Flakkeese spuisluis is niet te verwachten.

7.10 Compensatoire mechanismen

“... Gesteld is dat de sterfte aan vis in de FSS gecompenseerd wordt door grotere overlevingskansen van de overige vissen. Hierbij wordt er van uitgegaan dat de draagkracht van het systeem aan

voedsel limiterend is voor de vispopulatie. Onderbouwd dient te worden in hoeverre dit voor de betreffende vissoorten in de Grevelingen ook kan worden verwacht en wat de reactietijd van de populatie is. Bij verwijzing naar referenties dient onderbouwd te worden in hoeverre de omstandigheden vergelijkbaar zijn..."

De groei van vispopulaties is te beschrijven middels een logistisch groeimodel. De maximale populatieomvang is hierbij afhankelijk van de draagkracht van het systeem. Dit model kent twee extremen, namelijk wanneer er geen individuen meer zijn om zich voort te planten en wanneer de maximale populatieomvang is bereikt (draagkracht). De groeisnelheid van de populatie heeft de vorm van een sigmoïde. Bij een kleine populatieomvang is de groei beperkt als gevolg van een beperkt aantal individuen. Bij een toenemende populatieomvang neemt de groei sterk toe. Op een gegeven moment neemt deze groei af en bereikt deze het nulpunt op het moment dat de populatie zijn maximale omvang heeft bereikt. De maximale populatiegroei wordt bij dit model bereikt indien de populatieomvang 50% van de maximale omvang bedraagt.



Afbeelding 7.2. Populatieomvang in de loop van de tijd.

Indien een vispopulatie groter is dan 50% van de maximale populatieomvang en deze niet verder afneemt dan 50% van de populatieomvang, dan resulteert deze afname in een toename van de groeisnelheid van de populatie. Er ontstaat een nieuw evenwicht, waarbij de uiteindelijke populatieomvang groter is dan de oorspronkelijke populatie minus de afname. Deze algemeen geldende regel met betrekking tot de omvang van populaties is ook van toepassing op de vispopulaties in de Grevelingen.

Aangenomen wordt dat de huidige visstand de maximale populatieomvang heeft bereikt onder de heersende omstandigheden. Een afname van circa 10% van deze populatieomvang leidt tot een aanzienlijk grotere groeisnelheid, waarmee het netto effect op de populatieomvang veel kleiner is dan 10%. Een en ander wordt ook weergegeven in Vriese *et al.* (2012).

8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

8.1 Conclusies

- De naar aanleiding van de conceptversie van dit rapport gestelde vragen zijn door de auteurs zo goed als mogelijk beantwoord onder de gegeven condities. De auteurs zien dan ook geen reden de in de conceptversie getrokken conclusies te wijzigen.
- De onderdruk in de hevel is groot op het moment van het aanzuigen van het water. Hierbij dient het niveauverschil tussen de kruin van de hevelknie en het waterlichaam met het laagste peil te worden overwonnen. Dit drukverschil is maximaal indien dit aanzuigen plaatsvindt tijdens het laagste peil op de Oosterschelde (circa -2,0 meter NAP). Op dat moment is het peilverschil tot de kruin van de hevelknie (+6,2 m NAP) circa 8 meter, resulterend in een drukverschil van grofweg 0,8 atm. (onderdruk van 0,2 atm.).
- Als de hevel eenmaal loopt, wordt het drukverschil in de hevel bepaald door het peilverschil tussen het hogere watercompartiment en de hevelkroon. Het maximale drukverschil is dan 0,65 atm.; een onderdruk van 0,35 atm. in de hevel. Het minimale drukverschil is 0,43 atm.; een onderdruk in de hevel van 0,57 atm.
- Een knelpunt in het huidige onderzoek is de beperkte monitoringsinspanning die de laatste jaren is uitgevoerd om de visstand in het Grevelingenmeer en de Oosterschelde in beeld te brengen. Daarnaast wordt alleen bemonsterd met een boomkor. Hiermee worden pelagische vissoorten en grote vissoorten maar beperkt gevangen.
- Physostome vissoorten kunnen snel druk verlagen door deze uit te stoten, via de *ductus pneumaticus* naar de slokdarm. Een drukverlaging die als veilig wordt beschouwd is $p > 0,3 \times p_{accl}$.
- Physocliste vissoorten hebben uren nodig om gas via bloed uit de zwemblaas te laten diffunderen. Een drukverlaging die als veilig wordt beschouwd is $p > x 0,6 p_{accl}$.
- Vissen zonder zwemblaas (bijvoorbeeld de platvissen en de grondelsoorten) zijn ongevoelig voor barotrauma.
- In de situatie van de Flakkeese spuisluis met een bodemligging van -5,75 m NAP zijn vissen geacclimatiseerd (*worst case*) aan grofweg 1,5 atm. druk. De maximale onderdruk in de hevel is 0,35 atm. de minimale onderdruk in de hevel is 0,57 atm. Uitgaande van de maximale onderdruk betekent:
 - $P_{min.} / P_{accl.} = 0,35 / 1,5 = 0,23$.
 - Uitgaande van de minimale onderdruk:
 - $P_{min.} / P_{accl.} = 0,57 / 1,5 = 0,38$.
 - Hiermee kan worden gesteld dat de situatie voor physostome vissen nog net aan de veilige kant is, maar dat de situatie voor physocliste vissen tot barotrauma zou kunnen leiden (0,23 en 0,38 aanzienlijk kleiner dan de veilige verhouding van 0,6).
- Gezien de optredende maximale stroomsnelheden naar de Oosterschelde (3,5 m/s) en naar het Grevelingenmeer (4,5 m/s) is de kans op letsel als gevolg van botsing gering. Botsingsproeven hebben uitgewezen dat bij forel (een soort met cycloïde schubben) de botsingsnelheid groter dan 5 m/s moet zijn, wil er schade optreden. Voor aal geldt dat bij

snelheden vanaf 8 m/s er kans is op schade. In welke mate haringachtigen gevoelig zijn voor lagere botsingssnelheden is niet duidelijk.

- Niet bekend is welke shear niveaus bij de Flakkeese spuisluis optreden. Uitgaande van de maximale stroomsnelheid van het water (in de hevel) is te verwachten dat de stroomsnelheid in de woelbak aan de Oosterschelde zijde niet boven de 3,5 m/s komt en een eventueel optredende retourstroom ook een lagere snelheid heeft. Een en ander blijft dan onder het shear niveau waarbij in eerdere experimenten schade optreedt (15 m/s), voor nagenoeg alle vissoorten met uitzondering van de haringachtigen. Voor deze laatste groep is mogelijk schade te verwachten. De stroomsnelheid richting Grevelingenmeer is hoger (4,5 m/s). Maar ook hier zijn mogelijk alleen effecten te verwachten voor de haringachtigen. Aan deze zijde is geen woelbak aanwezig, dus minder turbulentie, waardoor de effecten op haringachtigen naar verwachting minder zijn (minder retourstroming). Een vis in een snelstromende watermassa loopt geen risico en op grond hiervan is een vrije uitstroom te prefereren boven een woelbakconstructie (alleen bodemverdediging naast en in de lengterichting van de uitstroom naar het Grevelingenmeer, het liefst glad afgewerkt).
- Naar verwachting is de turbulentie het grootst in de woelbak aan de Oosterscheldezijde. Of de turbulentie daadwerkelijk groot genoeg is om schade aan vis te veroorzaken is onduidelijk (predatierisico zal wel toenemen).
- Om geen effecten op vis te veroorzaken is voldoende diepte en grootte van de woelbak aan de Oosterscheldezijde van groot belang. Met een maximaal debiet richting Oosterschelde van 300 m³/s voldoen de afmetingen van de woelbak aan de in de literatuur gestelde eisen. Het merendeel van de tijd is het debiet kleiner, waardoor de condities gunstiger zijn. Naar verwachting vindt er bij de Flakkeese spuisluis geen vissterfte plaats als gevolg van turbulentie. Een toegenomen predatie kan echter niet uitgesloten worden.
- Uit eerder onderzoek is gebleken dat driedoornige stekelbaars geen barotrauma liet zien in de vishevel te Cocksdoorp (overigens ook andere kleine vissen en vissoorten niet). De onderdrukcondities te Cocksdoorp zijn extremer dan die zullen optreden bij de Flakkeese spuisluis. Op grond hiervan is het niet te verwachten dat driedoornige stekelbaars barotrauma zal ervaren bij passage door de Flakkeese spuisluis.
- Niet uit te sluiten is dat haringachtigen enige schade zullen ondervinden bij passage door de Flakkeese spuisluis als gevolg van shear (en mogelijk botsing). Een en ander zou op jaarbasis leiden tot een (theoretische) vermindering in het visbestand in het Grevelingenmeer van 6,2% en op de Oosterschelde van 2,7% bij een sterfte van 100% bij transport door de hevel (*worst case* inschatting). Voor de haring *an sich* is de beschreven mortaliteit niet relevant. Er zijn miljoenen tonnen haring in de Noordzee. De aanwezigheid van jonge haring (voornamelijk 1 jarige dieren) langs de kust is van jaar tot jaar zeer wisselend. Deze natuurlijke schommelingen zijn van veel grotere orde dan een eventuele sterfte als gevolg van de Flakkeese spuisluis.
- De verschillende schadefactoren in ogenschouw nemend alsmede de opbouw en de soortensamenstelling van visstand in het Grevelingenmeer en de Oosterschelde zijn significante effecten op de visstand in beide wateren niet te verwachten.

8.2 Aanbevelingen

- Om een goed beeld van de visstand in het Grevelingenmeer en de Oosterschelde te krijgen, zou de bemonsteringsinspanning vergroot moeten worden en zouden ook vangtuigen moeten worden gebruikt waarmee pelagische vissen goed worden gevangen.
- Het verdient dan ook de aanbeveling om de hevel op te starten als het peilverschil tussen het Grevelingenmeer en de Oosterschelde het kleinst is. De afstand van het waterpeil tot de kruin van de hevelknie is op dat moment ook het kleinst waardoor de onderdruk minder groot hoeft te zijn.



9 LITERATUUR

Abernethy, C.S., Amidan, B.G. & Cada, G.F., 2001. Laboratory Studies of the Effects of Pressure and Dissolved Gas Supersaturation on Turbine Passed Fish. PNNL-13470, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington.

Abernethy, C.S., Amidan, B.G. & Cada, G.F., 2002. Simulated Passage Through A Modified Kaplan Turbine Pressure Regime: A Supplement to "Laboratory Studies of the Effects of Pressure and Dissolved Gas Supersaturation on Turbine-Passed Fish" PNNL-13470-A, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington.

Abernethy, C.S., Amidan, B.G., & Cada, G.F., 2003. Fish Passage through a Simulated Horizontal Bulb Turbine Pressure Regime: A supplement to "Laboratory Studies of the Effects of Pressure and Dissolved Gas Supersaturation on Turbine-Passed Fish," PNNL-13470-B, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington.

Bell, M.C. & A.C. Delacy, 1972. A compendium on the survival of fish passing through spillways and conduits. Fish. Eng. Res. Prog., U.S. Army Corps of Eng., North Pacific Div., Portland, Oregon, 121 p.

Brevé, N.W.P., 2006, Kennisdocument Atlantische haring, *Clupea harengus harengus* L. (Linnaeus, 1758). Kennisdocument 18, 105 pag. Sportvisserij Nederland, Bilthoven.

Brown, R.S., Carlson, T.J., Welch, A.E., Stephenson, J.R., Abernethy, C.S., McKinstry, C.A. & Theriault, M.H., 2007. Assesment of Barotrauma Resulting from Rapid Decompression of Depth-Acclimated Juvenile Chinook Salmon Bearing Radio Telemetry Transmitters. Final Report September, 2007. Pacific Northwest National Laboratory.

Bruijjs, M.C.M., G.H.F.M. van Aerssen* J.H. Kemper** & F.T. Vriese, 2008. Onderzoek naar de inzuiging van vis en het effect daarvan op vispopulaties in het onttrekkingsgebied bij centrale Bergum. 50863541 08-FINAL. KEMA. Arnhem, VisAdvies, Utrecht.

Bucholc, A. & C.J. Jaspers, (in prep.). Passende Beoordeling Flakkeese Spuisluis. Passende Beoordeling in het kader van de Natuurbeschermingswet. Grontmij Nederland B.V. Houten, 13 januari 2015 (concept).

Brown, R. S., T. J. Carlson, A. J. Gingerich, J. R. Stephenson, B. D Pflugrath, A. E. Welch, M. J. Langeslay, M. L. Ahmann, R. L. Johnson, J. R. Skalski, A. G. Seaburg, R. L. Townsend. 2012a. Quantifying mortal injury of juvenile Chinook salmon exposed to simulated hydro-turbine passage. Transactions of the American Fisheries Society 141:147-157.

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.

Didderen, K., Wielakker, D. & Lengkeek, W., 2014. KRW doelafleiding Grevelingen en Volkerak. Afleiden MEP/EP en effectinschatting voor de MER-RGV. Rapport nr. 14-001. Bureau Waardenburg bv, Culemborg. I.o.v. Rijkswaterstaat Zee en Delta.

Doornbos, G., Twisk, F., Bogaards, R.H., 1986. Kwantificering van vissen. ZOWEC III, eindrapport Nota: Z 86 III 5: In: Linden, P.R.A. van der, 2006.

DWA, 2005. Fish protection technologies and downstream fishways. Dimensioning, design, effectiveness, inspection. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Theodor-Heuss-Allee 17 . 53773 Hennef, Duitsland.

Eicher, G.J., C.J. Campbell, R.E. Craven & M.A. West, 1987. Turbine related fish mortality: review and evaluation of studies. Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, Report No. EPRI AP-5480.

Eckelboom H. & G. Wintermans 1997. Handleiding Hevelvispassage. WEB-rapport nr. 97-02. Wintermans Ecologenbureau, Texel.

EPRI, 2011. Fish passage through turbines: application of conventional hydropower data to hydrokinetic technologies. Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, CA, Final technical report No. 1024638.

Esch, B.P.M. van, 2012. Fish Injury and Mortality During Passage Through Pumping Stations. Journal of Fluids Engineering, July 2012, Vol. 134. 071302-1 to 071302-9.

Esch, B.P.M. van & I.L.Y. Spierts, 2014, Validation of a Model to Predict Fish Passage Mortality in Pumping Stations, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences (under review)

Ferguson, J.W., G.M. Matthews, R.L. McComas, R.F. Absolon, D.A. Brege, M.H. Gessel & L.G. Gilbreath, 2005. Passage of adult and juvenile salmonids through federal Columbia River power system dams. U.S. Dept. Commerce., NOAA Tech. Memo. NMFS-NWFSC-64, 160 p.

Govers, J & M. Westerink, 2013. Vooronderzoek en rapport. Programma van Eisen Tidal Testing Centre Grevelingendam. Projectnr. 258010.11. Oranjewoud, Goes. In opdracht van Stichting TTC.

Groves, A.B., 1972. Effects of hydraulic shearing actions on juvenile salmon. National Marine Fisheries Service, Seattle, W.A.

Haas, H., P. van der Linden & H. Holzhauser, 2006. Flakkeese Spuisluis in ere hersteld. Studie naar de effecten van de ingebruikname van de Flakkeese Spuisluis op het Grevelingenmeer. RIKZ rapport 2006.022. December 2006.

Hogan, J., 1941. "The Effects of High Vacuüm on Fish" Trans. Am. Fish. Soc., 70(1), pp. 469-474. In: Esch, B.P.M. van, 2012. Fish Injury and Mortality During Passage Through Pumping Stations. Journal of Fluids Engineering, July 2012, Vol. 134. 071302-1 to 071302-9.

Jager, Z., 2012. Technical evaluation of the Water Framework Directive Fish Index and Fish Monitoring of Transitional Water. Rapportnr. 4500200516, 2012. ZiltWater Advies. I.o.v. RWS Waterdienst.

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

Kessel, N. van, Dorenbosch, M., Spikmans, F., Kranenbarg, J. & Crombaghs, B., 2008. Jaarrapportage Actieve Vismonitoring Zoete Rijkswateren. Samenstelling van de visstand in de grote rivieren gedurende het winterhalfjaar 2007-2008. Natuurbalans - Limes Divergens BV & Stichting RAVON, Nijmegen.

Koole, M. & M. Koopmans, 2013. Visstandopname Friese wateren 2012. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden.

MacCall A.D., K.R. Parker Leithiser, B. Jesse, 1983. Power plant impact assessment: a simple fishery production model approach. Fisheries Bulletin: Vol. 81, NO. 3, 1983.

Maessen, M., 2015. Onderzoek waterkwaliteit Flakkeese Spuisluis. Inzicht in de effecten op de waterkwaliteit na ingebruikname van de Flakkeese Spuisluis. Projectnummer 338734. Referentienummer GM-0151683. Grontmij, Velp.

Meijer, A.J.M. & Waardenburg, H.W., 1990. Monitoring-onderzoek aan de visfauna van het Grevelingenmeer. Rapportage resultaten 1980-1989. In: Linden, P.R.A. van der, 2006.

Meijer, A.J.M., 1995. Bestandsopname visfauna Grevelingenmeer augustus/september 1994. In: Linden, P.R.A. van der, 2006.

Molen, D.T. van der, Pot, R., Evers, C.H.M. & Nieuwerburgh, L.L.J. van, (red.) 2012. Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water 2015-2021. Rapport 2012-31. ISBN 978.90.5773.569.1. Uitgave STOWA, Amersfoort.

Montén, E., 1985. Fish and Turbines: Fish Injuries During Passage Through Power Station Turbines. Norstedts Tryckeri, Sweden, Report No. 549.

Odeh, M. & C. Orvis, 1998. Downstream fish passage design considerations and developments on hydroelectric projects in the north-east USA. - In: Jungwirth, M. et al. (ed.): Fish migration and fish bypasses. - Oxford (Fishing News Books), 67 - 280.

Odeh M., J. F. Noreika, A. Haro, A. Maynard, T. Castro-Santos (U.S. Geological Survey), G. F. Cada (Oak Ridge National Laboratory), 2002. Evaluation of the effects of turbulence on the behaviour of migratory fish, final report 2002, Report to Bonneville Power Administration, Contract No. 00000022, Project No. 200005700, 55 electronic pages (BPA Report DOE/BP-00000022-1).

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.

Raben, K. von, 1957. Über Turbinen und ihre schädlichen Wirkung auf Fische. Zeitschrift für Fischerei und deren Hilfswissenschaften. Band VI N.F. Heft 1-8, pp. 171-182.

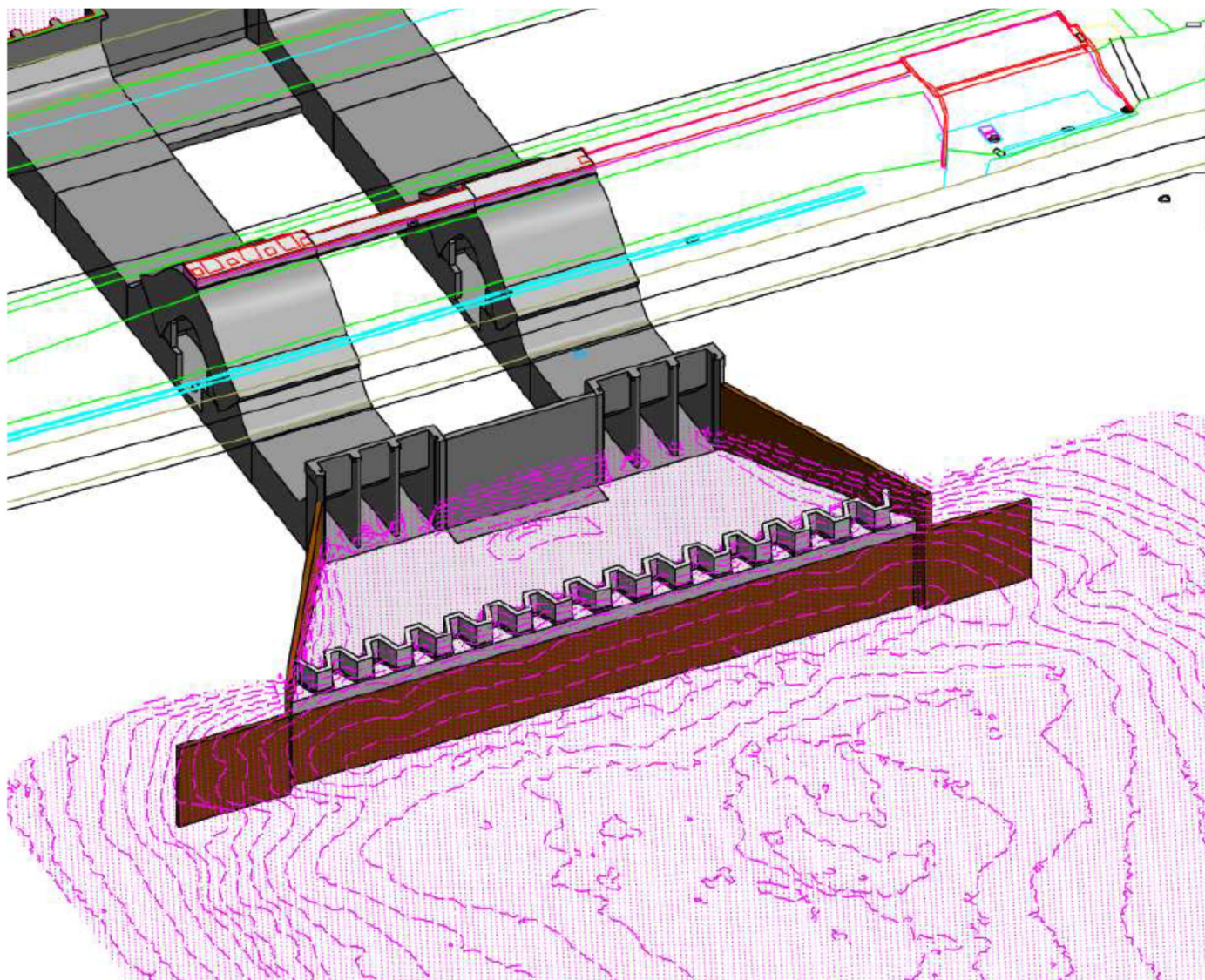
STOWA, 2012. Gemalen of vernalen worden? Onderzoek naar de visvriendelijkheid van 26 opvoerwerktuigen. STOWA 2012-04, ISBN 978.90.5773.540.0.

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

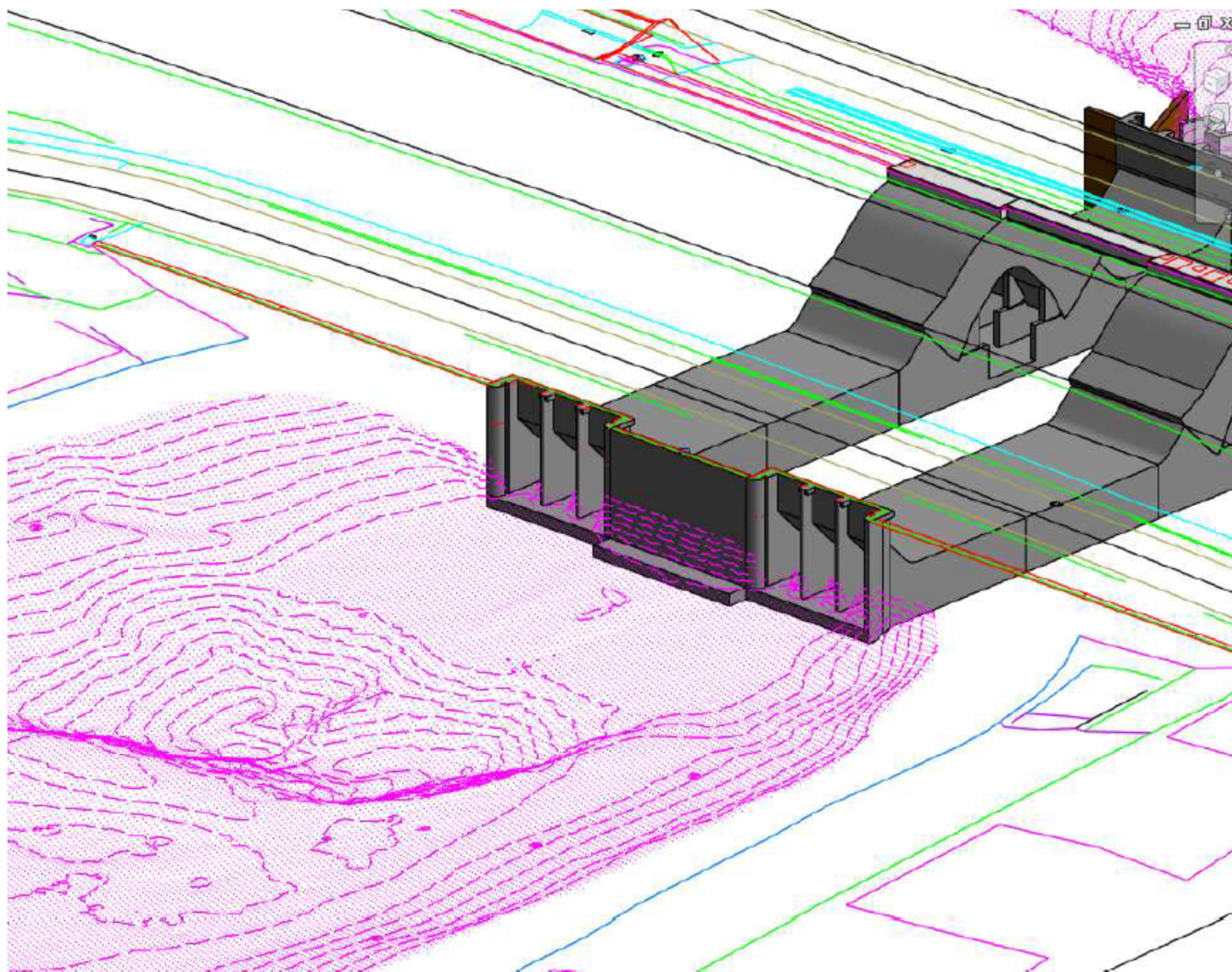
- Turnpenny, A.W.H., D.M. Davis, J.M. Fleming & J.K. Davies, 1992. Experimental studies relating to passage of fish and shrimps through tidal power turbines. National Power PLC, Hampshire, UK.
- Turnpenny, A.W.H., S. Clough, K.P. Hanson, R. Ramsey & D. McEwan, 2000. Risk assessment for fish passage through small low-head turbines. Energy technical support unit, Harwell, U.K. Report No. ETSU H/06/00054/REP.
- Vaas, K.F., 1978. Veranderingen in de visfauna van de Grevelingen tussen de jaren 1960 en 1976. In: Linden, P.R.A. van der, 2006.
- Vernooij, S. & J. Kampen, 2007. Monitoring van de visstand in een aantal wateren binnen het beheersgebied van Wetterskip Fryslân, 2006. AquaTerra Geldermalsen.
- Vriese, F.T., M.J. Kroes & M. Bovenberg, 2006. Trommelzucht bij vissen. VisAdvies BV, Utrecht. Project VA2006_15, 45 pag.
- Vriese, F.T., M.C.M. Bruijs & A. bij de Vaate, 2009. Ecologische effecten van onttrekking van (koel-) water op vis: aanzet tot een handreiking. Nieuwegein. Projectnummer VA2009_38. 58 pag. en bijlagen.
- Vriese, F.T., 2011. Beoordelingssystematiek koelwateronttrekkingen. Rapport 20100951/002. ATKB, Geldermalsen. I.o.v. DHV, Maastricht.
- Vriese (ATKB), A.B. Griffioen & C. Deerenberg (IMARES), 2010. Beoordelingssystematiek koelwateronttrekkingen – vervolg. Rapport C024/12. IMARES, IJmuiden.
- Vriese, F.T., Hop, J. & Boerkamp, A.H.M. Boerkamp, 2014. Ecologische beoordelingsmethodiek koelwateronttrekking. Rapport 20140035/01. ATKB Geldermalsen. I.o.v. Rijkswaterstaat WVL.
- Vriese, F.T. & Hop, J., 2015. Door getijdenturbines toelaatbare vissterfte in het Grevelingenmeer Fase 1. Rapport 20141067/01. ATKB, Geldermalsen. I.o.v. Rijkswaterstaat Zee & Delta.
- Vrijburcht, A., 1988. Zigzag-overlaat als debietspreider. Verslag modelonderzoek. O 179, december 1988. Waterloopkundig laboratorium.
- Waterloopkundig laboratorium Delft hydraulics laboratory, 1976. Hevels in de Grevelingendam. Vormgeving uitstroomconstructie bij 3 groepen van 3 hevels. Nota III vooronderzoek. M 1331 nota III.
- Waterstraat, A., 1992. Populationsökologische Untersuchungen an Cottus gobio L. und anderen Fischarten aus zwei Flachlandbächen Norddeutschlands. Limnologica 22 (2): p. 137-149.

BIJLAGE 1: Afbeeldingen spuisluis (bron: Govers & Westerink, 2013)

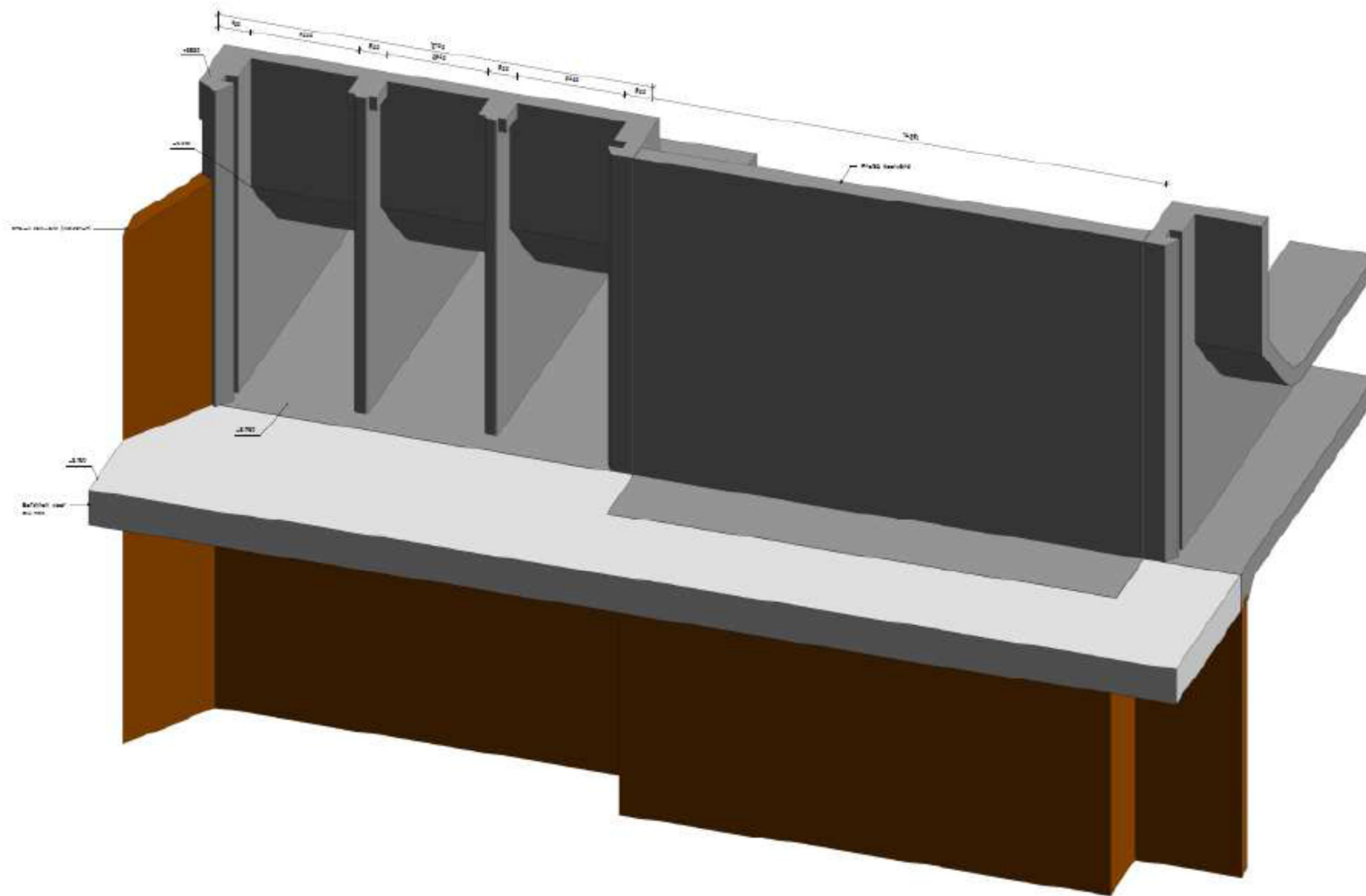




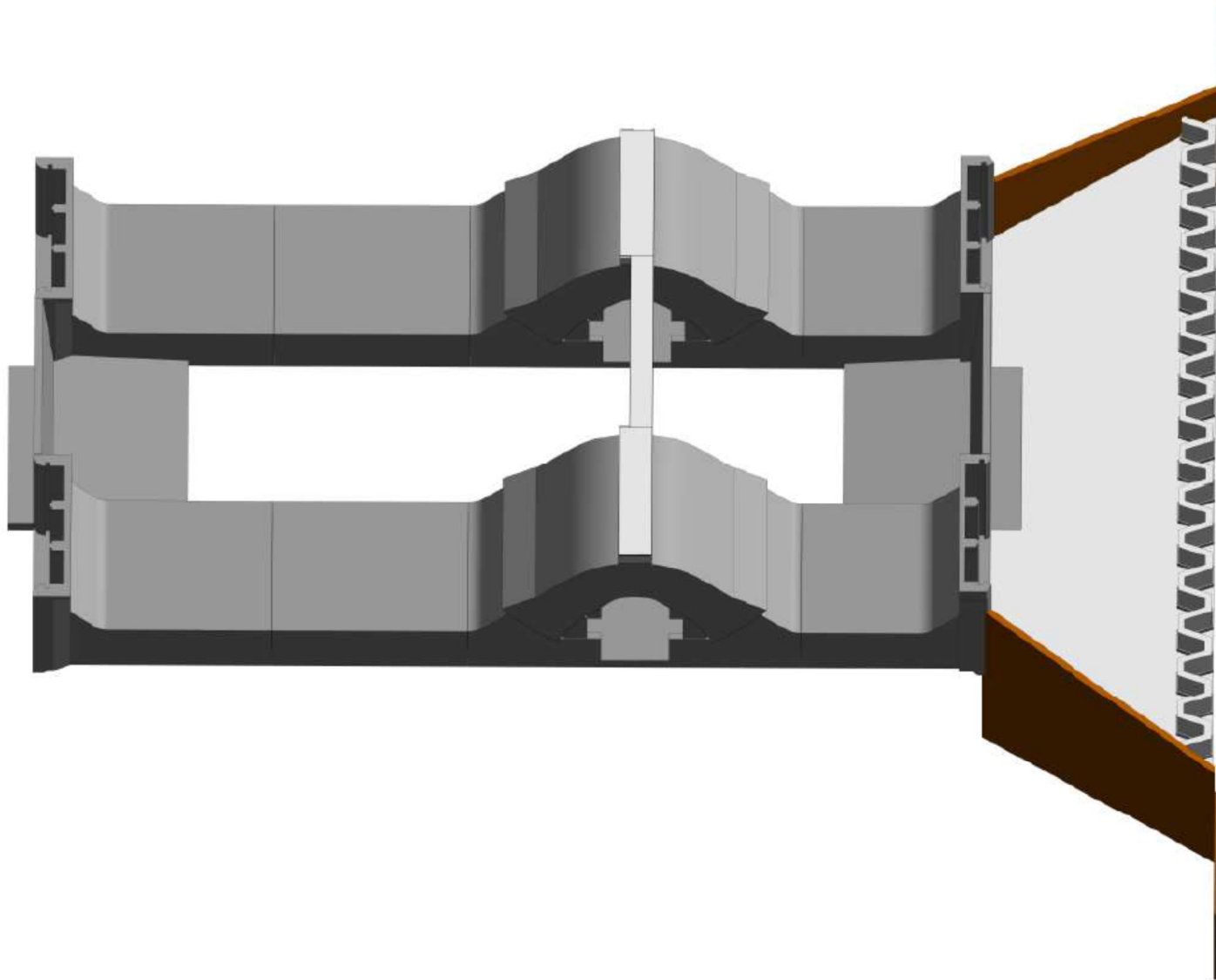
3D aanzicht hevelsluis aan Oosterscheldezijde



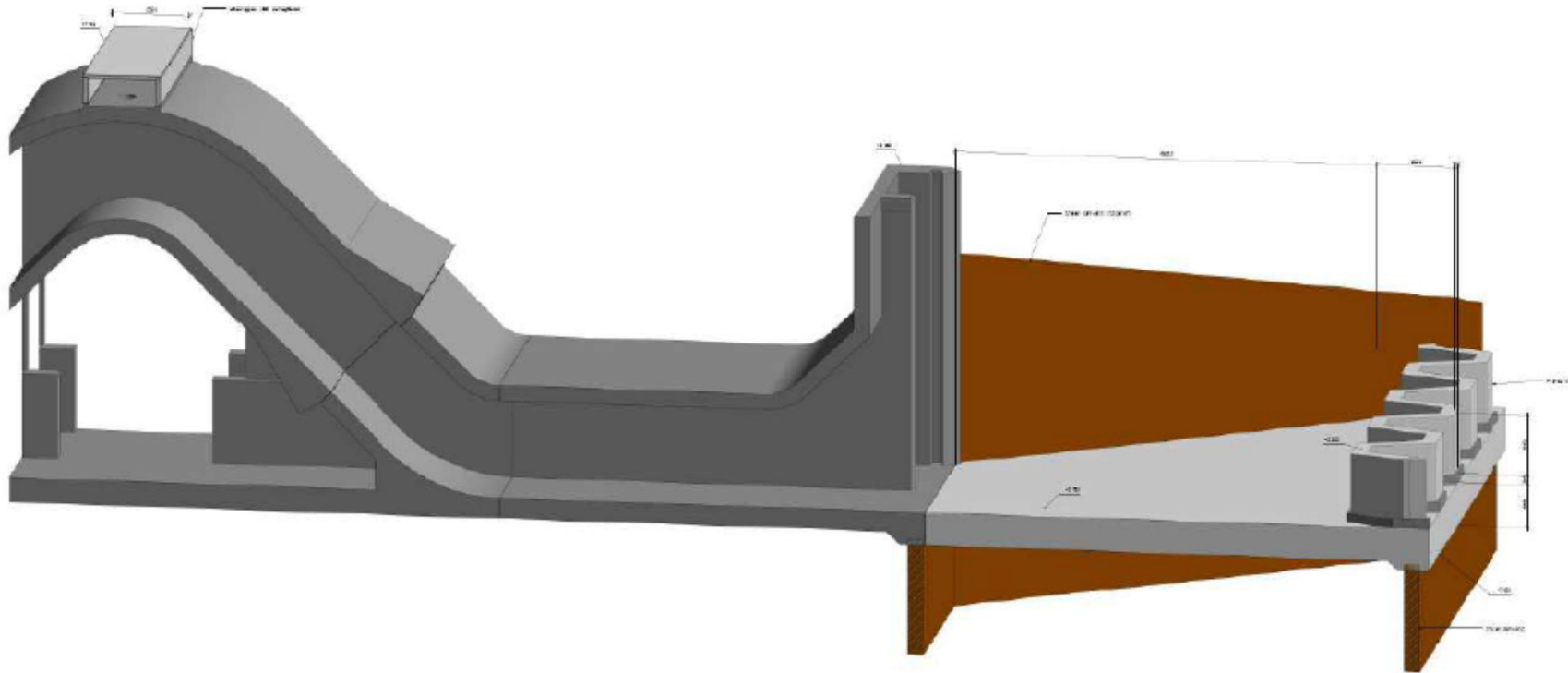
3D aanzicht hevelsluis aan Grevelingenzijde



3D aanzicht hevelsluis ingezoomd aan Oosterscheldezijde



3D bovenaanzicht hevelsluis (links Grevelingen en rechts Oosterschelde)



3D zijaanzicht hevelsluis

