

## **Advies betreffende een monitoringsprogramma voor de effecten van de lozingspluim van het koelwater van de kerncentrales van Doel**

Nummer:	<b>INBO.A.2012.173</b>
Datum advisering:	<b>15 april 2013</b>
Auteur(s):	<b>Erika Van den Bergh, Jan Breine &amp; Jeroen Speybroeck</b>
Contact:	<b>Lode De Beck (<a href="mailto:lode.debeck@inbo.be">lode.debeck@inbo.be</a>)</b>
Kenmerk aanvraag:	<b>e-mail van 29 november 2012 ; ANB-INBO-BEL-2013-24</b>
Geadresseerden:	<b>Agentschap voor Natuur en Bos Provinciale Dienst Oost-Vlaanderen</b>  <b>T.a.v. Steven Laureys Gebr. Van Eyckstraat 2-6 9000 Gent</b>  <b><a href="mailto:steven.laureys@lne.vlaanderen.be">steven.laureys@lne.vlaanderen.be</a></b>
Cc:	<b>Agentschap voor Natuur en Bos Centrale Diensten</b>  <b>T.a.v. Carl De Schepper <a href="mailto:Carl.deschepper@lne.vlaanderen.be">Carl.deschepper@lne.vlaanderen.be</a></b>

## AANLEIDING

De kerncentrale zorgt voor het grootste deel van de thermische belasting van de Schelde. Uit het milieueffectenrapport blijkt dat weinig bekend is over de omvang en de effecten van de lozingen van warm water. Deze temperatuurverhoging ligt aan de basis van een ingewikkelde keten van mogelijke ecologische gevolgen.

Om de milieueffecten en mogelijke milderende maatregelen in de toekomst beter te kunnen inschatten moet een opvolgingsprogramma aan de milieuvergunning gekoppeld worden. Het opmeten van de thermische pluim is een eerste vereiste. Op die manier kunnen in de toekomst modellen gevalideerd worden. Deze metingen moeten gecombineerd worden met een monitoring van de zuurstofgehalten. Zowel temperatuur als zuurstofgehalte moeten opgevolgd worden via transectmetingen (van lozingspunt tot aan het punt waar het effect niet meer meetbaar is).

Hogere temperaturen zorgen in de winter voor een schuilplaats voor exotische soorten. In de zomer kunnen exoten zich mogelijk beter reproduceren in de warme pluim. Ook hier is het noodzakelijk om, als milderende maatregel, een concreet engagement aangaande de monitoring van vissen en kreeftachtigen in de buurt van de kerncentrale te onderschrijven.

In de beoordeling van de passende beoordeling heeft het Agentschap voor Natuur en Bos daartoe het volgende opgenomen:

*"Het monitoringsprogramma moet voorgelegd worden bij de aanvraag van de vergunning en, na gunstig advies van het Agentschap voor Natuur en Bos, opgenomen worden in de vergunning."*

Tot op heden is de monitoring echter beperkt gebleven tot het opmeten van de warmtepluim. Uit deze monitoring komt de kerncentrale tot het besluit dat de omstandigheden nu voldoende zijn gekend. Monitoring van vissen en kreeftachtigen zien ze niet als hun taak maar ook als niet zinvol wegens het lage risico en effect.

## VRAAGSTELLING

Kan het INBO een inschatting maken in hoeverre verder onderzoek naar de effecten van de exploitatie zinvol is én op welke organismen het onderzoek zich dan zou moeten focussen?

## TOELICHTING

### 1. Voorgeschiedenis

#### 1.1 INBO.A.2010.111

INBO (Stevens & Van den Bergh, 2010) formuleerde in een vorig advies enkele conclusies en aanbevelingen naar aanleiding van de evaluatie van de effecten van het koelwater van de kerncentrale van Doel op de Schelde bij verhoogde lozingstemperatuur (Töpke *et al*, 2010, versie A/06-01-2010):

1. De bevindingen van het studierapport zijn gebaseerd op een theoretische benadering van de effecten van een verhoogde thermische lozing op het ecosysteem. **Zonder bijkomend onderzoek moeten deze bevindingen beschouwd worden als voorlopige resultaten.**

2. De impact van de aangevraagde verhoogde thermische lozing wordt berekend ten opzichte van de actuele situatie. De actuele situatie wordt echter beïnvloed door de huidige thermische lozingen van energiecentrale(s) en bedrijven in de haven, waardoor

het ecosysteem al thermisch onder druk staat. De zone tussen Hansweert en Antwerpen is tijdens de winter 1 à 2 graden warmer dan de stroomop- en afwaarts gelegen zones. Het lijkt ons dan ook correcter om de **impact van de lozing van koelwater (huidige + toekomstige lozing) te berekenen ten opzichte van de thermisch natuurlijke situatie** (zonder lozingen).

3. De modelberekeningen van de lozingspluim gaan uit van een geïdealiseerde bathymetrie ter hoogte van het lozingspunt. De **berekeningen dienen echter rekening te houden met de ligging van het lozingspunt achter de strekdam**. Indien CORMIX gebruikt wordt voor de modelberekeningen, dient het model ook **geijkt te worden met veldmetingen en modellering van de huidige thermische pluim**.

4. De stelling dat een verhoogde thermische lozing een verwaarloosbaar effect heeft op het zuurstofgehalte in de Schelde dient beter onderbouwd te worden. Het **actuele zuurstofgehalte in de Schelde** moet in rekening gebracht worden en er dient een **foutenmarge** aangegeven te worden waarbinnen veranderingen in het zuurstofgehalte ten gevolge van de verhoogde thermische lozing kunnen verwacht worden.

5. Voor benthische en planktonische organismen is te weinig aandacht besteed aan lokale differentiatie ten gevolge van de situering van het lozingspunt achter de strekdam.

## 1.2 Verslag 5 uitgevoerde monitoringcampagnes (ARCADIS, 2012)

In het MER van de her vergunning werd vervolgens voorgesteld ter hoogte van de Plaat van Doel een monitoring van de temperatuur van de Schelde uit te voeren om er de evolutie van de temperatuur te verifiëren gedurende de getijdencyclus en dit in het bijzonder bij de kentering bij laagwater, en om het model CORMIX te valideren. In het vergunningbesluit voor de verdere vergunning van de kerncentrale van Doel is deze aanbeveling gevolgd (ARCADIS, 2012).

In de periode juni 2011-maart 2012 werden 5 monitoringcampagnes gevoerd waarbij temperatuur en zuurstofgehalte op twee dieptes ten opzichte van het wateroppervlak werden gemeten in en rond de lozingspluim bij verschillende getijomstandigheden.

- **Zuurstof verarming:** De zuurstofmetingen toonden geen zuurstofverarming van het Scheldewater ten gevolge van de lozing van warm koelwater aan en worden in het rapport niet verder besproken.
- **Watertemperatuurverhoging bij kentering van laagwater:** het model CORMIX is niet geschikt voor de voorspelling van de ogenblikkelijke watertemperatuursverhoging, er werden voor beide monitoringdieptes formules afgeleid die het verband tussen de temperatuur toename en de afstand tot het lozingspunt 1 uur bij kentering bij laagwater beschrijven.
- **Daggemiddelde watertemperatuurverhoging:** het model CORMIX geeft een representatieve voorspelling voor de daggemiddelde watertemperatuurverhoging van het Scheldewater bij afgaand water
- **Overlevingskans van exoten:** in de mengzone (opp=0.06km<sup>2</sup>) blijft de temperatuur vermoedelijk gedurende de gehele getijdencyclus sterk verhoogd tot nagenoeg de lozingstemperatuur. De auteurs argumenteren dat warmteminnende exoten in deze zone mogelijk een verhoogde overlevingskans hebben in koude periodes maar dat de hoge turbulentie deze zone voor vele soorten ongeschikt maakt.

Het INBO heeft volgende bemerkingen bij deze monitoringcampagne:

- **Gebruikte achtergrondwaarden:** De watertemperatuursverhoging wordt weergegeven ten opzichte van een gemeten achtergrondwaarde 'stroomopwaarts van de lozing' bij afgaand water en 'stroomafwaarts van de lozing' bij opkomend water. De exacte locatie is niet weergegeven. Vermoedelijk werd de achtergrondwaarde gemeten binnen de zone Hansweert-Antwerpen, die reeds

thermisch onder druk staat (Stevens & Van den Bergh, 2010). De impact moet ook bekeken worden ten opzichte van een thermisch natuurlijke situatie.

- **Mogelijke toekomstige routine-opvolging van de spatio-temporele evolutie van de temperatuurgradiënt tussen Hansweert en Antwerpen:** gezien de redelijk algemene beschikbaarheid van (thermische) satellietbeelden en gezien de ervaring hiermee in het buitenland kan deze techniek misschien ook toegepast worden in de Schelde om de temperatuurgradiënt in de ruimere omgeving van Doel op te volgen. Op die manier kunnen cumulatieve effecten met andere warmtebronnen in de buurt tijdig gesignaleerd worden.
- **Overlevingskansen van exoten:** Omdat in het rapport enkel rekening gehouden wordt met de temperatuursverhoging ten opzichte van de onmiddellijke omgeving en omdat het aantal soorten exotische ongewervelden in de omgeving relatief groot is lijkt deze conclusie voorbarig.

### **1.3 Verkennend onderzoek van het visbestand in de koelwaterpluim van de kerncentrale in Doel (Breine & Van Thuyne, 2012)**

Op 19 en 20 november voerde INBO in opdracht van Electrabel een verkennend onderzoek uit naar het visbestand achter de strekdam met ankerkuilvisserij (Breine & Van Thuyne, 2012).

- Ankerkuilvisserij bleek niet de aangewezen methode omdat de waterkolom te ontoereikend is in de zone achter de strekdam. Sleepvisserij lijkt meer aangewezen enerzijds omdat de methode minder getijafhankelijk is en anderzijds omdat zowel bentische als pelagiale soorten gevangen worden. De methode zal toelaten om te bepalen of bentische exoten zoals zwartbekgrondel of Senegalese tong een niche hebben gevonden binnen de strekdam.
- Toch waren er aanwijzingen dat onder andere fint, zeebaars en rode poon deze zone als winterrefugium gebruiken.

## **2. Mogelijke effecten van thermische verontreiniging op het ecosysteem.**

De temperatuurverhoging in de thermisch verontreinigde zone tussen Hansweert en Antwerpen in het algemeen en in de lozingspluim van de kerncentrale van Doel in het bijzonder, liggen mogelijk aan de basis van een ingewikkelde keten van ecologische gevolgen. Volgens de literatuur kan koelwaterlozing in estuaria wijzigingen veroorzaken in de gemeenschapsstructuur van vissen (Teixeira *et al.*, 2009), plankton (Chuang *et al.*, 2009), macrophyten (Squires *et al.*, 1979), macrobenthos (Lardici *et al.*, 1999) en fytobenthos (Ingleton & McMinn, 2012). De ecologische gevolgen voor het aquatisch milieu kunnen zich uiten in een verarmde diversiteit, wijzigingen in het overwicht van soorten en in de totale abundantie. Op hun beurt kunnen deze dan weer top-down en bottom-up verschuivingen in het ecosysteem en het voedselweb veroorzaken. Daarnaast kunnen thermische lozingen ook invasieve soorten promoten (Thomas *et al.* 1986). Enerzijds doordat de onmiddellijke omgeving van de lozingspluim als winterrefugium kan functioneren, anderzijds doordat de aanwezige temperatuurgradiënt de koude adaptatie van warmteminnende exoten potentieel kan vergemakkelijken. Wither *et al.* (2012) daarentegen waarschuwen ervoor dat warmwaterlozingen temperatuurbarrières kunnen veroorzaken voor koudeminnende trekvisseren zoals paling, spiering en zalm, in associatie met de algemene klimaatwijziging, die de metabolische speelruimte voor deze soorten gradueel verkleint.

### **2.1 Micro-fytobenthos.**

Het effect van warmwaterlozingen op estuarien micro-fytobenthos werd onder andere onderzocht in enkele baaien in Australië (Ingleton & McMinn, 2012). Enerzijds kwamen de onderzoekers tot de bevinding dat de impact van de lozingspluim op bentische diatomeeën gemeenschappen tot op grotere diepte (4,7m) reikte dan wat tot nog toe werd aangenomen. Daaruit leiden ze af dat de lozingspluim ook een invloed kan hebben

op de estuariene primaire productie en nutriëntencycli. Anderzijds besluiten ze dat deze effecten sterk verschillen naargelang het seizoen. Gebruik van satellietbeelden wordt aanbevolen voor de routine-opvolging van de spatio-temporele evolutie van de thermische pluim.

### 2.1.1 Situatieschets nabij Doel

Onderzoek naar fyto-benthos in de Zeeschelde is onderdeel van het OMES programma dat in opdracht van Waterwegen & Zeekanaal nv gecoördineerd wordt door de onderzoeksgroep ECOBE van de Universiteit Antwerpen. Biomassa en soortensamenstelling van het fyto-benthos worden jaarlijks op 5 vaste slikplaten onderzocht. Het slik van het Groot-Buitenschoor is de meest nabijgelegen onderzochte plaats (Maris & Meire, 2011). Specifiek naar het effect van warmwaterlozingen van de kerncentrale van Doel op de benthische primaire productie, soortensamenstelling van diatomeeën en mogelijke impact daarvan op het bovenliggende voedselweb werd tot nog toe geen onderzoek verricht. Ook over de eventuele aanwezigheid van exotische soorten daardoor zijn geen gegevens bekend.

### 2.1.2 Mogelijke onderzoeksstrategie

Fyto-benthos is een zeer belangrijke schakel in het estuariene voedselweb. Daarnaast beïnvloedt het met zijn sedimentfixerende eigenschappen ook de sedimentatie/erosieprocessen. Stevens & Van den Bergh (2010) suggereerden reeds eerder dat het dan ook zinvol zou zijn om de lokale impact van thermische verontreiniging op de vestiging en samenstelling van fyto-benthische gemeenschappen in de buurt van de Kerncentrale nader te onderzoeken langsheen de thermische gradiënt.

## 2.2 Invertebraten

De effecten van thermische verontreiniging op ongewervelden van estuaria werden al veelvuldig onderzocht. Hoewel soms beperkt of niet aanwijsbaar, kunnen ze divers zijn: gewijzigde productiviteit van epifauna (Cory & Nauman, 1969), lagere rekrutering in polychaeten (Chou *et al.*, 2004), verhoogde respiratie en uiteindelijke sterfte in macroinvertebraten (Novotny, 1968), mortaliteit in zoöplankton (Hoffmeyer *et al.*, 2005), Verhoogde mortaliteit bij aasgarnalen kan een impact uitoefenen op vissoorten die zich met deze dieren voeden (Novotny, 1968; Margrey *et al.*, 1981).

Tegengaan van wintersterfte en groeiversnelling (Young & Frame, 1976; Jordan & Sutton, 1984) kunnen als gunstig worden gezien, maar duiden echter evenzeer op ongewenste verstoring van natuurlijke processen. In de onmiddellijke nabijheid van het lozingspunt is een lokale hoge diversiteit mogelijk (Logan & Maurer, 1975).

### 2.2.1 Situatieschets nabij Doel

De invertebratenfauna van de Zeeschelde is relatief soortenarm. Een aanzienlijk deel wordt gevormd door uitheemse soorten (exoten). Hiervan is dan weer een belangrijk deel in de min of meer directe omgeving van Doel aangetroffen; sommige soorten werden nabij de kerncentrale voor het eerst ontdekt, andere komen enkel daar voor binnen de Zeeschelde, terwijl sommige een wijdere verspreiding hebben. Het betreft onder meer tweekleppige weekdieren (*Mytilopsis leucophaeata* (brakwatermossel), *Rangia cuneata* (Amerikaanse strandschelp)), gelede borstelwormen (*Marenzelleria neglecta* (Oostzeegroenworm), *Tubificoides heterochaetus* (langstaartkustworm)) en meerdere schaaldieren (*Synidotea laticauda* (brede brakwaterpissebed), *Hemigrapsus takanoi* (penseelkrab), *Melita nitida* (elegante honingvlokreeft), *Callinectes sapidus* (blauwe zwemkrab), *Palaemon macrodactylus* (rugstreepsteurgarnaal), *Incisocalliope aestuarius* (estuariene poliepvlo), *Rhithropanopeus harrisi* (Zuiderzeekrabbetje)) (eigen data INBO, cf. [http://www.vliz.be/wiki/Lijst\\_niet-inheemse\\_soorten\\_Belgisch\\_deel\\_Noordzee\\_en\\_aanpalende\\_estuaria](http://www.vliz.be/wiki/Lijst_niet-inheemse_soorten_Belgisch_deel_Noordzee_en_aanpalende_estuaria)).

De aanwezigheid van deze soorten laat vermoeden dat de thermische pollutie een lokale broeihaard van exoten kan vormen. Hierbij bestaat altijd het risico dat soorten een invasiever karakter gaan ontwikkelen (vb. door koude adaptatie) en zich van hieruit verder verspreiden. Aangezien veel soorten beschikken over planktonische larvale stadia, kan deze verspreiding erg snel en verreikend zijn.

### 2.2.2 Mogelijke onderzoeksstrategie

Om de impact van de thermische pollutie door de kerncentrale van Doel na te gaan, is een algemene strategie voor impactstudies aangewezen, het BACI-design. Dit staat voor "Before, After, Control, Impact". Ideaal beschikt men over bemonsteringen voor en na de impact van zowel verschillende impactsites als verschillende controlesites, waarbij de sites met geografische interspersie gespreid zijn. In deze context lijken enkele toegevingen aan deze strategie zich op te dringen.

- 1) er is maar één impactsite
- 2) adequate bemonsteringen van vóór de impact zijn niet beschikbaar
- 3) de impact is niet voorbij, dus "na" wordt "tijdens"
- 4) controlesites (met vergelijkbare kenmerken betreffende onder meer morfologie, hydrodynamiek, bodemsamenstelling, saliniteit, ...) zijn moeilijk aan te duiden

Het blijft echter mogelijk de benthische fauna te onderzoeken (soortenrijkdom, soortensamenstelling, densiteit en biomassa) op de site en deze te vergelijken met één (of beter meerdere) aan te duiden controlesite(s). Verschillen tussen sites kunnen mogelijk verondersteld worden aan de impact toe te wijzen te zijn, indien de rol van andere variabelen kan worden uitgeschakeld, al blijft dit zonder sluitend BACI-design moeilijk waar te maken.

Omdat thermische pollutie een verschillende impact kan hebben tijdens de verschillende seizoenen, die zich vervolgens weliswaar semi-blijvend kan manifesteren, is seizoensale bemonstering te overwegen.

## 2.3 Vissen

Van vissen wordt algemeen aangenomen dat ze vluchtgedrag vertonen wanneer de omgevingsomstandigheden ongunstig worden. Uit temperatuur reeksen blijkt echter dat er reeds een zone van 40 km in de mesohaliene zone opgewarmd is ten opzicht van de stroomop- en stroomafwaarts gelegen zone. Het is onduidelijk hoe de huidige opwarming van het estuarium de ecosysteemprocessen en het voedselweb beïnvloedt. De zone met verhoogde temperatuur zou bijvoorbeeld als winterrefugium kunnen functioneren voor warmteminnende vissoorten als snoekbaars, zeebaars en tong. De jaarklassterkte bij deze soorten is afhankelijk van de watertemperatuur: relatief warme winters resulteren meestal in sterke jaarklassen. Hierdoor zouden er verschuivingen kunnen opgetreden zijn in de soortensamenstelling van de visgemeenschap, die op hun beurt aanleiding kunnen geven tot verschuivingen in het voedselweb (snoekbaars – *Sander lucioperca* is een toppredator in het systeem). Daarnaast is er het al eerder aangehaalde gevaar voor het ontstaan van thermische barrières voor koudeminnende trekvissoorten. Het grote gevaar voor vissen is echter eerder de impact van koelwateronttrekking.

### 2.3.1 Situatieschets nabij Doel

De evolutie van de vispopulatie nabij Doel is zeer goed gedocumenteerd door de monitoring inspanningen van KULeuven en IBW (later INBO). Op gestandaardiseerde wijze werd gedurende jaren vis bemonsterd ter hoogte van het captatiepunt van de kerncentrale van Doel.

Het labo Aquatische Ecologie becijferde een tiental jaar geleden hoeveel vis er gemiddeld jaarlijks ingezogen werd waarop de kerncentrale een geluidssysteem installeerde om



vissen af te schrikken. Anderzijds werd ook een visvriendelijk geleidingsstelsel geïnstalleerd voor vissen die toch opgezogen werden. Enerzijds is de visgemeenschap in de Beneden-Zeeschelde sindsdien sterk toegenomen, anderzijds zijn er mogelijk verbeteringen mogelijk aan de technieken die aangewend worden om de vismortaliteit te minimaliseren.

In november 2012 werd door INBO een verkennend onderzoek uitgevoerd naar het visbestand in de koelwaterpluim van de kerncentrale met behulp van ankerkuilvisserij. Daarbij werden enkele opmerkelijke vangsten gedaan. Zo was de aanwezigheid van **fant** (habitatrichtlijnsoort) binnen de strekdam in de maand november wel speciaal gezien deze soort naar de zee trekt in de herfst. Er blijven altijd wel individuen achter in het estuarium en deze kunnen eventueel het komgebied als winterrefugium gebruiken. Net als buiten de strekdam vingen we veel **haringen**. Haring gebruikt het estuarium om op te groeien. Enkele exemplaren waren met hun gedrongen lichaamsbouw morfologisch sterk verschillend ten opzichte van de normale langgerekte slanke vorm. Er werd niet bepaald welke druk hiervoor verantwoordelijk was. Immers er zijn veel verschillende drukken aanwezig in de Zeeschelde en de interactie tussen deze stressoren en de reactie van vissen zijn complex (Harper & Wolf, 2009). Er werden veel gevlekte of kleurige grondels gevangen binnen de strekdam. Deze soort wordt regelmatig gevangen bij de staalnames van het koelwater. We hebben geen gegevens over specifieke eisen van deze soort wat betreft watertemperatuur. **Zeebaars** is een warmteminnende soort (Pickett & Pawson, 1994). De aanwezigheid van juveniele exemplaren binnen de strekdam in het najaar duidt erop dat deze soort het gebied binnen de strekdam als winterrefugium gebruikt. **Rode poon** is ook een warmteminnende soort die geen lage temperaturen verdraagt en in het najaar trekt deze soort naar het zuiden (Moreira *et al.*, 1992). Zijn aanwezigheid binnen de strekdam eind november kan een gevolg zijn van de hogere temperatuur binnen de strekdam. De **slakdolf** is een estuariene soort die vrij algemeen is in de herfst. Het gebied achter de strekdam is iets luwer dan de rest van de onmiddellijke omgeving en dat kan verklaren waarom we hier meer slakdolven vangen dan op andere plaatsen in de mesohaliene zone. Er werd één exemplaar van de **zwartbekgrondel** gevangen. Deze exotische soort wordt frequenter op de Zeeschelde gevangen. Het is een benthische soort die niet goed met de ankerkuil wordt gevangen. **Tong** trekt in het najaar en winter naar warmer en dieper water (Frimodt, 1995). Normaal hadden we deze soort dus kunnen aantreffen binnen de strekdam. Deze soort wordt echter wel ondermaats gevangen met ankerkuil (Goudswaard & Breine, 2011) wat een verklaring kan zijn voor zijn afwezigheid in de november vangsten.

### 2.3.2 Mogelijke onderzoeksstrategie

De verkennende analyse werd uitgevoerd met ankerkuil. Daaruit bleek dat deze methode niet de meest aangewezen methode is omdat de waterkolom te ontoereikend is (minder dan 8m) om effectief te kuilen. Sleepvisserij is hier meer aangewezen. Deze methode laat toe om zowel pelagiale als benthische soorten te bemonsteren en is minder afhankelijk van eb of vloed. De beste periode is het najaar omdat dan de meeste soorten gepaaid hebben en er inzicht kan bekomen worden op de aanwezigheid van het voortplantingssucces. De methode zal toelaten om te bepalen of benthische exoten zoals zwartbekgrondel of Senegalese tong een niche hebben gevonden binnen de strekdam. Deze warme zone kan immers een geschikt habitat vormen voor deze soorten. Binnen de strekdam is het systeem iets luwer (behalve aan het lozingspunt) dan erbuiten, iets wat juveniele vissen wel kunnen waarderen. Daarnaast kan de hogere temperatuur maken dat het habitat minder geschikt is voor inheemse soorten.

## 3. Aanbevelingen voor het beheer

- Sinds de laatste inschatting van de vismortaliteit ten gevolge van de koelwatercaptatie is de visfauna van de Zeeschelde grondig veranderd. Ook de toegepaste technieken om te vermijden dat vis gevangen wordt met het

koelwater zijn ondertussen misschien niet meer de best beschikbare. Een herevaluatie dringt zich hier op.

- Criteria voor koelwaterlozing (naar Wither *et al.*, 2012): voor de EU Kaderrichtlijn water moeten grenswaarden opgegeven worden om de meest gevoelige taxa te beschermen. Deze grenswaarden zouden uiteraard ook van toepassing zijn voor de EU Habitatrichtlijn. Een voorstel is weergegeven in onderstaande figuur.

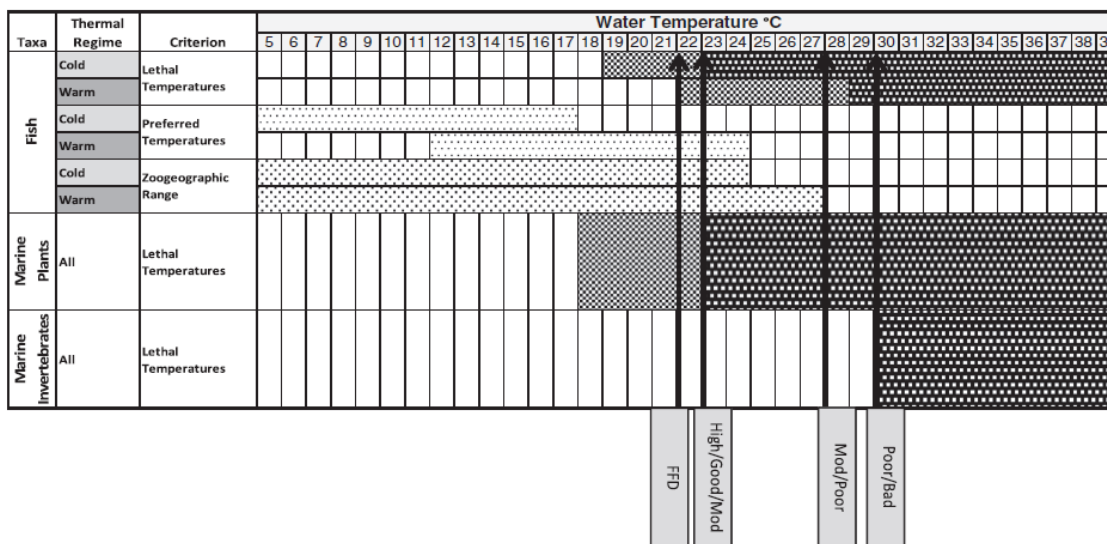


Fig. 4. Chart showing lethal, preferred and natural geographic temperature ranges for warm and cold water fish and lethal temperatures for marine plants and invertebrates, along with proposed WFD class boundaries for waters of different ecological status in the range High to Poor.

## CONCLUSIE

Op basis van literatuur en kennis van de situatie in de Beneden-Zeeschelde worden volgende aanbevelingen geformuleerd:

- Gezien de ecologische functies van **fytobenthos** is het zinvol om vestiging en samenstelling van fytobentische gemeenschappen in de buurt van de Kerncentrale nader te onderzoeken langsheen de thermische gradiënt.
- Uit de monitoring resultaten van INBO blijkt dat het aantal soorten exotische **ongewervelden** in de Zeeschelde relatief hoog ligt in de buurt van Doel. Een strategie voor nadere analyse van deze situatie wordt voorgesteld
- Uit een eerste analyse van de **visgemeenschap** achter de stredam zijn er indicaties dat deze zone als refugium gebruikt wordt door warmteminnende soorten. De gebruikte methode was echter niet ideaal, een voorstel met gebruik van zegennetten wordt geformuleerd.

## REFERENTIES

ARCADIS. (2012). Verslag 5 uitgevoerde monitoringscampagnes (periode juni 2011-maart 2012) naar de temperatuursinvloed van het koelwater aan de kerncentrale van Doel op de Schelde.

Breine J. & Van Thuyne G. (2012). Verkennend onderzoek van het visbestand in de koelwaterpluim van de kerncentrale in Doel. INBO.R.2012.55.

Chou Y., Lin T.-Y., Chen C.A. & Liu L. (2004). Effects of Nuclear Power Plant Thermal Effluent on Marine Sessile Invertebrate Communities in Southern Taiwan. *Journal of Marine Science and Technology* 12(5):448-452.



Chuang, Y., Yang, H., Lin, H., (2009). Effects of thermal discharge from a nuclear power plant on phytoplankton and periphyton in subtropical coastal waters. *Journal of Sea Research* 61, 197-205.

Cory R. L. & Nauman J.W. (1969). Epifauna and Thermal Additions in the Upper Patuxent River Estuary. *Chesapeake Science* 10(3&4): 210-217.

Frimodt C. (1995). Multilingual illustrated guide to the world's commercial coldwater fish. Fishing News Books, Osney Mead, Oxford, England. 215 pp.

Goudswaard P.C. & J. Breine (2011). Kuilen en schieten in het Schelde-estuarium. Vergelijkend vissen op de Zeeschelde in België en Westerschelde in Nederland. Rapport C139/11, IMARES & INBO. 35 pp.

Harper C. & J.C. Wolf (2009). Morphological effects of stress response in fish. *ILAR Journal* 50 (4) 387-396.

Hoffmeyer M.S., Biancalana F. & Berasategui A. (2005). Impact of a power plant cooling system on copepod and meroplankton survival (Bahía Blanca estuary, Argentina). *Iheringia Sér.Zool.*, Porto Alegre, 95(3):311-318.

Ingleton T. & McMinn A. (2012). Thermal plume effects: A multi-disciplinary approach for assessing effects of thermal pollution on estuaries using benthic diatoms and satellite imagery *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 99 (2012) 132-144.

Jordan R.A. & Sutton C.E. (1984). Oligohaline Benthic Invertebrate Communities at Two Chesapeake Bay Power Plants. *Estuaries* 7(3):192-212.

Lardici, C., Rossi, F., Maltagliati, F. (1999). Detection of thermal pollution: variability of benthic communities at two different spatial scales in an area influenced by a coastal power station. *Marine Pollution Bulletin* 38, 296-303.

Logan D.T. & Maurer D. (1975). Diversity of Marine Invertebrates in a Thermal Effluent. *Journal (Water Pollution Control Federation)* 47(3):515-523.

Margrey S. L., Burton D. T. Hall, L.W.Jr. (1981). Seasonal Temperature and Power Plant Chlorination Effects on Estuarine Invertebrates. *Arch. Environm. Contam. Toxicol.* 10,691-703 (1981).

Maris, T. & Meire P. (Red.) (2011). Onderzoek naar de gevolgen van het Sigmaphan, baggeractiviteiten en havenuitbreiding in de Zeeschelde op het milieu. Geïntegreerd eindverslag van het onderzoek verricht in 2009-2010. 011-R143 Universiteit Antwerpen, Antwerpen.

Moreira F., Assis C.A., Almeida P.R., Costa J.L. & M.J. Costa (1992). Trophic relationships in the community of the Upper Tagus Estuary (Portugal: a preliminary approach. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 34:617-623.

Novotny A.J. (1968). Problems of Thermal Effluents in Marine and Estuarine Waters. Presented at the Pacific Marine Fisheries Commission Meetings. 31 pp.

Picket G.D. & M.G. Pawson (1994). *Sea Bass; Biology, exploitation and conservation*. St. Edmundsbury Press, Suffolk (Great Britain). ISBN 0 412 40090 1.

Stevens M. & Van den Bergh E. (2010). Advies betreffende de afwijking van de Vlarem-regelgeving bij lozing van koelwater te Doel. INBO.A.2010.111.

Squires, L.E., Rushforth, S.R., Brotherson, J.D. (1979). Algal response to a thermal effluent: study of a power station on the Provo River, Utah, USA. *Hydrobiologia* 63, 17-32.

Teixeira, T.P., Neves, L.M., Araujo, F.G. (2009). Effects of a nuclear power plant thermal discharge on habitat complexity and fish community structure in Ilha Grande Bay, Brazil. *Marine Environmental Research* 68, 188-195.

Thomas, I.M., Ainslie, R.C., Johnson, D.A., Offler, E.W., Zed, P.A. (1986). The effects of cooling water discharge on the intertidal fauna in the Port River estuary, South Australia. *Transactions of the Royal Society of South Australia* 110, 159-172.

Töpke K., Vanhaecke P., Poquette G. & Goethals P.L.M. (2010). Evaluatie van de effecten van het koelwater van de kerncentrale van Doel op de Schelde bij verhoogde lozingstemperatuur. Versie 06-01-2010.

Wither A., Bamber B., Colclough S., Dyer K., Elliott M., Holmes P., Jenner H., Taylor C. & Turnpenny A. (2012). Setting new thermal standards for transitional and coastal (TraC) waters. *Marine Pollution Bulletin* 64 (2012) 1564–1579.

Young J.S. & Frame A.B. (1976). Some Effects of a Power Plant Effluent on Estuarine Epibenthic Organisms. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 61(1):37-61.