



50863591-TOS/ECC 08-9274 Vertrouwelijk

MER Hemweg: Effecten koelwater

Arnhem, 18 december 2008

Auteurs M. Bruijs, J.P.M. Janssen-Mommen en H.A. Jenner
KEMA Technical & Operational Services

Ten behoeve van Arcadis

auteur : M.C.M. Bruijs		08-12-18	beoordeeld : H.A. Jenner		08-12-18	
B	47 blz.	2 bijl.	WSc	goedgekeurd : F.H. Schulze		08-12-18



© KEMA Nederland B.V., Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Het is verboden om dit document op enige manier te wijzigen, het opsplitsen in delen daarbij inbegrepen. In geval van afwijkingen tussen een elektronische versie (bijv. een PDF bestand) en de originele door KEMA verstrekte papieren versie, prevaleert laatstgenoemde.

KEMA Nederland B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, toekomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

De inhoud van dit rapport mag slechts als één geheel aan derden kenbaar worden gemaakt, voorzien van bovengenoemde aanduidingen met betrekking tot auteursrechten, aansprakelijkheid, aanpassingen en rechtsgeldigheid.

INHOUD

	blz.
1	Huidige kwaliteit oppervlaktewater 5
2	Koelwaterlozing door centrale Hemweg 10
2.1	Huidige koelwaterlozingen van centrale Hemweg: HW-07 en HW-08..... 10
2.2	Overige lozingen door HW-09 10
2.3	Toekomstige koelwaterlozingen van centrale Hemweg HW-07, HW-08 en HW-09 10
3	Koelwatermodellering 11
3.1	Koelwaterlozing op het Noordzeekanaal 11
3.2	CIW beoordelingssystematiek warmtelozingen 12
3.3	Resultaten koelwatermodellering..... 14
3.4	Bijdrage in opwarming koelwater-inlaat en uitlaat HW-09 18
3.5	Nieuwe beoordelingssystematiek warmtelozingen 19
4	Effecten koelwatergebruik op aquatische organismen 22
4.1	Effecten op bodemorganismen 22
4.2	Effecten op plankton 22
4.3	Effecten op vis 23
4.3.1	Langdurig verblijf in lozingsgebied..... 24
4.3.2	Visinzuiging: effecten..... 26
4.3.3	Visinzuiging: maatregelen..... 27
5	Koelwaterconditionering 29
5.1	Bestrijding microfouling: chloordosering 30
5.2	Bestrijding macrofouling 31
5.2.1	Pulse-Chlorination® 31
5.2.1.1	Chloordosering 31
5.2.1.2	Milieu-effecten door koelwaterchlorering 32
5.2.2	Thermoshock 36
5.2.3	Conclusie koelwaterconditionering 37
6	Toetsing aan BREF Koelwater 38
	REFERENTIES 39



vertrouwelijk

Bijlage A	Nieuwe beoordelingssystematiek warmte-lozingen	42
Bijlage B	Toelichting op Threetox	44

1 HUIDIGE KWALITEIT OPPERVLAKTEWATER

Het Noordzeekanaal is ontstaan na inpoldering van het IJ en doorgraving van de duinen over een lengte van 5 km. Hiervoor werden over een lengte van 17 km dijken aangelegd. Voor de afwatering en de scheepvaart van onder andere het Spaarne, de Zaan en de Nauernasche vaart werden tien zijkanalen aangelegd (Zijkanaal A t/m K). Het Noordzeekanaal is de hoofdvaarroute van IJmuiden naar Amsterdam. Jaarlijks passeren meer dan honderdduizend schepen het kanaal. Het Noordzeekanaal heeft een lengte van 26 kilometer, is 270 meter breed en heeft een diepte van ongeveer 15 meter (11 meter bij Amsterdam). Het totale wateroppervlak, inclusief zijkanalen, is 20,5 km². Het maximum waterpeil ligt op 0 m NAP, de streefwaarde op -0,4 m NAP.

De aanvoer van zeewater via de schutsluizen bij IJmuiden en de doorstroming met zoet water uit de aangrenzende boezems, het Markermeer en Amsterdam-Rijnkanaal zorgen voor een zoutgradiënt op het Noordzeekanaal. Over de bodem van het kanaal reikt een zouttong tot aan Amsterdam. Aan de oppervlakte varieert het chloridegehalte van circa 3.000 mg/l bij IJmuiden tot circa 500 mg/l aan de Oostkant van Amsterdam. Een gemiddeld wateroverschot van gemiddeld 110 m³/sec, afkomstig uit het Markermeer, het Amsterdam-Rijnkanaal en uit bemalen polders, stroomt op verschillende plaatsen deze “brakke lagune” in, om er bij IJmuiden weer “uit te stromen” in zee, deels door spuien, deels door bemaling met behulp van de Spuisluis IJmuiden en het Gemaal IJmuiden. Het afvoeren van het water naar zee kan op twee manieren. De waterstand op zee is hiervoor bepalend. Is de waterstand lager dan die op het kanaal, dan gaat de Spuisluis open en kan het water onder vrij verval wegelopen naar zee. Als de zeewaterstand echter hoger is dan op het kanaal, moet er worden gepompt. Per jaar stroomt door het spuien en pompen bijna 3 miljard kubieke meter water naar zee.

Vergeleken met natuurlijke brakke wateren is het Noordzeekanaal een erg kunstmatig geheel. Functioneel heeft het Noordzeekanaal nog het meeste weg van een “brakke kustlagune”. Voor de Kaderrichtlijn Water is het Noordzeekanaal gekarakteriseerd als een zwak brak meer (type M30). Niettemin is het Noordzeekanaal een zeer belangrijke zoet-zout-overgang in Nederland. Het Noordzeekanaal is even productief als de natuurlijke estuaria Westerschelde en het Eems-Dollard, en is even rijk aan macrofaunasoorten (M. van Wieringen; Rijkswaterstaat, Directie Noord-Holland, Zoet-zout-berichten, juni 2005). Het Noordzeekanaal is van speciaal belang voor soorten die vroeger in de Zuiderzee voorkwamen, zoals het Zuiderzeekrabje en andere estuariene / mariene soorten zoals dikkopje, kleine en grote zeenaald, steenbolk, haring, sprout, wijting. De rijke visstand van het

vertrouwelijk

Noordzeekanaal bevat ook soorten uit het zoete water en trekvissen. Vele daarvan zijn doelsoort binnen het natuurbeleid.

Het Noordzeekanaal is van speciaal belang voor vissen die van zoet- naar zoutwater trekken of omgekeerd. Deze vissoorten hebben een geleidelijke overgang van zoet- naar zoutwater nodig omdat zij tijdens hun tocht hun lichaam moeten kunnen aanpassen aan de veranderende omstandigheden. Dergelijke geleidelijke zoet-zout overgangen komen in Nederland nog slechts sporadisch voor, maar het Noordzeekanaal heeft deze eigenschap wel. Rijkswaterstaat Noord-Holland neemt daarom als waterbeheerder van dit kanaal dan ook de verantwoordelijkheid om te zorgen voor een goede toegankelijkheid van het kanaal voor trekvis.

Ecologische toestand De ecologische doelstellingen mogen de EU-lidstaten, binnen de kaders die de KRW hiervoor stelt, zelf bepalen. Ecologische doelstellingen worden afgeleid van referentieomstandigheden. Referentieomstandigheden zijn een soort 'streefbeelden', die per watertype verschillen; in vennen komen van nature nu eenmaal andere vissen en waterplanten voor dan in beken of kustwater. De referenties bestaan uit biologische, algemeen fysisch-chemische en hydromorfologische onderdelen. De KRW spreekt van 'kwaliteitselementen'.

De biologische kwaliteitselementen zijn afhankelijk van het watertype. Voor rivieren zijn dit macrofyten, fyto-benthos en macrofauna. De samenstelling van de kwaliteitselementen moet voldoende gevarieerd zijn en de soorten moeten in voldoende aantallen voorkomen om het ecosysteem goed te laten functioneren. Daarnaast wordt in rivieren gekeken naar stoffen en omstandigheden die de biologie beïnvloeden: de zuurstofhuishouding, nutriënten, zoutgehalte, de temperatuur van het water en verontreinigingen. Dit zijn de fysisch-chemische parameters. De rivierecologie wordt daarnaast in sterke mate bepaald door de fysieke inrichting (hydromorfologie) van het betreffende water, bijvoorbeeld hydrologisch regime (stroming en dergelijke), riviercontinuïteit (dammen, stuwen en dergelijke) en morfologie (bijvoorbeeld de vorm van de oevers).

Chemische toestand De 76/464/EG-stoffen zijn getoetst aan vastgestelde Europese normen. Voor de prioritaire stoffen heeft de EU voorlopige normen opgesteld. Deze zouden al in 2005 definitief worden, maar zijn dat nog steeds niet. Er gelden verschillende normen voor het zoete binnenwater en de zoute kustwateren. Voorheen werden voor dezelfde stoffen – voor zover beschikbaar – normen gebruikt die vastgesteld waren in de Vierde Nota Waterhuishouding, de zogeheten MTR-normen. MTR staat voor maximaal toelaatbaar risico.

vertrouwelijk

De overheid streeft naar het bereiken van het MTR voor oppervlaktewater en waterbodembodem op relatief korte termijn. Ter indicatie zijn in tabellen 1 en 2 enige indicatoren voor de waterkwaliteit van het Noordzeekanaal weergegeven (maximum, minimum en gemiddelde waarde), gemeten op -1 m diepte op het meetpunt IJmuiden1 in de periode 1996 – 2007 (tabel 1) en op meetpunt Amsterdam, IJtunnel in de periode 1997 – 2007 (tabel 2). Het betreft langjarige gemiddelden op basis van gemiddelde maandwaarden. Tevens staan de beschikbare achtergrondconcentraties en de gehanteerde grenswaarden voor maximaal toelaatbaar risico (MTR) voor oppervlaktewater¹ (RWS, 1997) en de FHI (Fraunhofer Institute) -normen voor minimale kwaliteit weergegeven.

Tabel 1 Gemiddelde en extreme waarden van de watersamenstelling in vergelijking met grenswaarden (MTR) en FHI voor minimale kwaliteit

parameter	IJmuiden1			meet-periode	achtergrond-concentratie Noordzee	FHI	grens-waarde (MTR)
	max.	min.	gem.				
temperatuur °C	27,00	3,70	14,87	1996 - 2007	-	< 28	< 28
zuurstof mg/L	13,70	4,30	8,92	1996 - 2007	-	> 5	> 5
totaal P (fosfaat) mg/L	0,80	0,05	0,25	1996 - 2007	0,02	< 0,15	< 0,15 *
N Kj mg/L	3,00	0,10	1,00	1996 - 2007	-		
NO ₂ mg/L	0,32	0,00	0,07	1996 - 2007	-		
NO ₃ mg/L	4,05	0,62	1,98	1996 - 2007	-		
NO _x (NO ₃ + NO ₂) mg/L	4,28	0,60	2,18	1996 - 2006	0,15	< 2,2	< 2,2 *
Chloriden g/L	6,17	1,59	3,73	1996 - 2007	-		

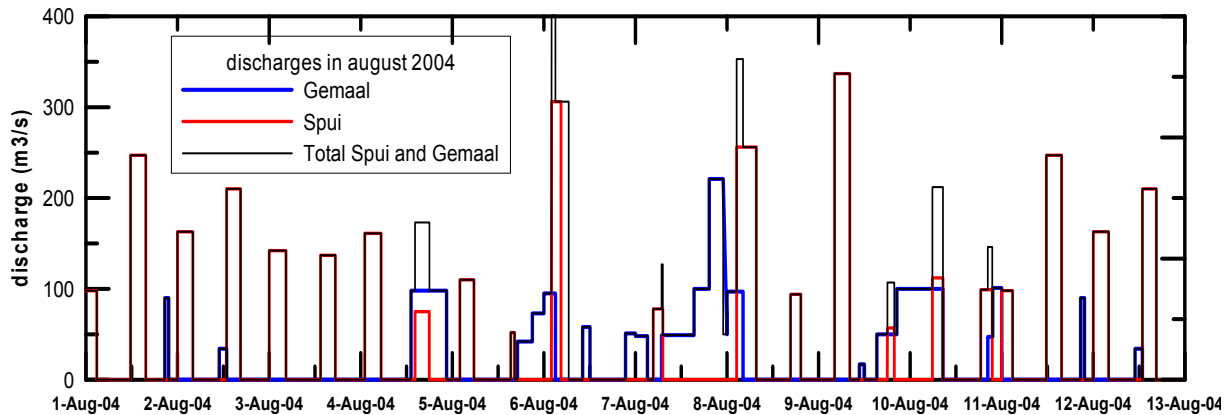
* zomergemiddelde waarde voor eutrofiëringgevoelige, stagnante wateren

¹ bron: Anon. 1997. Vierde Nota Waterhuishouding Regeringsvoornemen. Sdu Uitgevers, Den Haag. 124 pp

Tabel 2 Gemiddelde en extreme waarden van de watersamenstelling in vergelijking met grenswaarden voor minimale kwaliteit over de periode 1997 - 2007

parameter	Amsterdam, IJtunnel (km 25)			grenswaarde (MTR)
	Max	Min	Gem	
temperatuur °C	24,30	2,50	13,40	< 28
zuurstof mg/L	20,40	3,00	8,84	> 5
N Kj mg/L	4,50	0,10	0,99	
NO ₃ mg/L	3,98	0,65	1,92	
NO ₂ mg/L	0,21	0,01	0,06	

Het debiet door het Noordzeekanaal wordt bepaald door met name de bedrijfsvoering van de spuisluizen en in geringe mate door de scheepssluisen. Bij laagwater wordt er gespuid, en indien nodig bij hoogwater wordt er met pompen water afgepompt richting Noordzee indien de waterstand in het kanaal te hoog wordt. De gemiddelde waterafvoer op jaarbasis bedraagt ongeveer 110 m³/s (range 15 tot 400 m³/s) in de richting van de Noordzee (figuur 1). Door de sluisen is er een (relatief laag) netto debiet in de richting van het Noordzeekanaal, en de sluisen dragen daardoor niet significant bij aan de netto afvoer en -aanvoer van water. De waarden bedragen voor de verschillende sluisen: Noordersluis: 1,16 m³/s, Middensluis: 0,45 m³/s, Zuidersluis: 0,20 m³/s, Kleine Sluis: 0,08 m³/s. Wel veroorzaken de sluisen door de grote hoeveelheden water die worden uitgewisseld een uitwisseling van zout – en zoetwater tussen beide zijden van het sluiscomplex. In zomerperioden wordt het waterpeil in het Noordzeekanaal op -0,4 m NAP gezet. De waarde is in het model aan de westelijke modelrand opgelegd.



Figuur 1 De gemeten afvoeren in augustus 2004 via de spuisluis bij IJmuiden. Start van een dag – lange verdeelstreep op de x-as geeft dagbegin aan, korte verdeelstreep geeft 12:00 in de middag aan. De desbetreffende datum bevindt zich onder de lange verdeelstreep die het dagbegin aangeeft

Autonome ontwikkeling water(bodem)-kwaliteit

Voor het Noordzeekanaal wordt de Kaderrichtlijn water (KRW) een belangrijke stuurfactor, omdat deze eisen stelt aan de chemische (geen verontreinigende stoffen) en ecologische kwaliteit van het oppervlaktewater.

De ecologische doelen voor het Noordzeekanaal zijn opgenomen in het Beheerplan voor de Rijkswateren en zijn als volgt:

- bevorderen migratie trekvis door het Noordzeekanaal
- realiseren en behouden van regionale ecologische verbindingen
- vergroten van kansen voor brakwater levensgemeenschappen.

Om de doelen te halen heeft RWS Noord-Holland in de afgelopen jaren natuurvriendelijke oevers aangelegd bij Spaarnwoude, 't Hannesgat, Zijkanaal C en Zuiderpolder. Tevens zijn vispassages aangelegd tussen het kanaal en de omliggende Rijkswateren. Een passage naar de Noordzee, dus, bij IJmuiden; en een passage naar het zoete Markermeer, bij de Oranjesluizen. Daarnaast ging veel aandacht uit naar het herstel van de waterkwaliteit. De natuurvriendelijke oevers vergroten de waarde van het kanaal voor planten en dieren van brakke milieus en versterken de relatie van het kanaal met zijn omgeving. Er ontstaat zo een ecologische verbinding tussen brakke natuurgebieden in de regio. De vispassages garanderen een onbelemmerde migratie van trekvis van zee naar het zoete binnenwater. In de komende jaren wordt vooral ingezet op de aanleg van vispassages en zoet-zoutovergangen tussen het kanaal en de omliggende boezemwateren.

2 KOELWATERLOZING DOOR CENTRALE HEMWEG

2.1 Huidige koelwaterlozingen van centrale Hemweg: HW-07 en HW-08

De huidige installatie van Hemweg (HW-07 en HW-08) loost op het koelwater lozingskanaal. HW-07 loost 670 MWth in 25,8 m³/s, en HW-08 930 MWth met een debiet van 32,9 m³/s. Voor de bestaande situatie kan Nuon dus 1600 MWth lozen met een maximum van 1340 MWth als daggemiddelde via het lozingskanaal en de Jan van Riebeeckhaven in het Noordzeekanaal met een debiet van 58,7 m³/s.

2.2 Overige lozingen door HW-09

De volgende lozingen zullen gedeeltelijk worden hergebruikt, zuivering zal via diverse nabehandelingsinstallaties plaatsvinden:

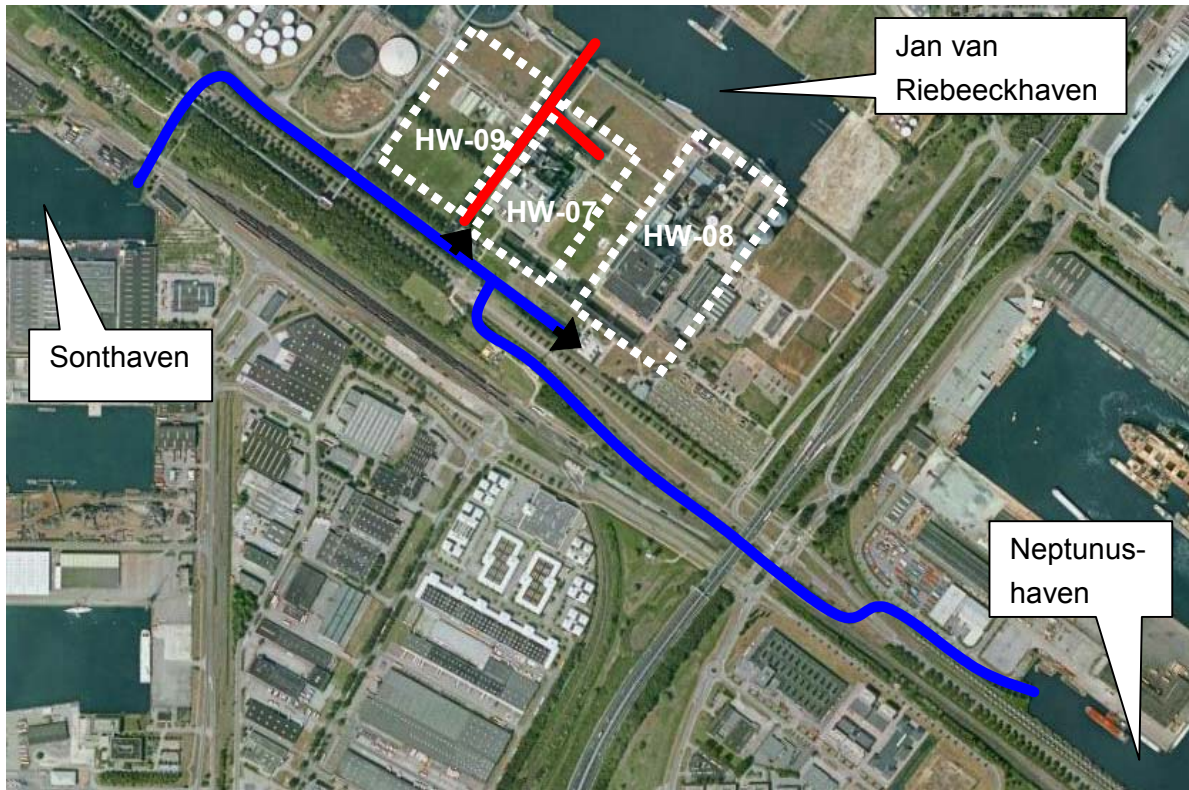
- spuiwater van de ketel
- schrob-, lek- en spoelwater vanuit de centrale
- hemelwater van gebouwen en oppervlak
- regeneraat van de demi-installatie
- regeneraat van de condensaatreinigingsinstallatie.

2.3 Toekomstige koelwaterlozingen van centrale Hemweg HW-07, HW-08 en HW-09

Beschrijving onttrekking- en lozingsgebied

De huidige Nuon Hemweg centrale bestaat uit twee eenheden, de gasgestookte eenheid met een vermogen van 585 MWe Nuon Hemweg-07 (HW-07), en de kolengestookte eenheid Nuon Hemweg-08 met een vermogen van 630 MWe (HW-08). Voor de koeling van eenheid HW07 en HW08 wordt koelwater onttrokken uit zowel de Sonthaven (gelegen aan de Westhaven) en de Neptunushaven (gelegen aan de Mercuriushaven), gelijk verdeeld over beide havens. Het water wordt via open kanalen aangevoerd, en via twee verschillende koelwaterinlaten ingenomen. De gezamenlijke lozing vindt plaats via hetzelfde lozingskanaal op de Jan van Riebeeckhaven met het Noordzeekanaal als ontvangend water (mengzone).

De geplande nieuwe eenheid HW-09 onttrekt eveneens koelwater uit de Sonthaven en de Neptunushaven en loost 300 MWth in 12 m³/s, op hetzelfde lozingskanaal (figuur 2).



Figuur 2 Locatie Hemwegcentrale met de locatie van HW-07, -08 en -09, de koelwaterinlaat kanalen (blauwe lijn) en het koelwateruitlaatkanaal (rode lijn). De zwarte pijlen geven de locatie van de huidige koelwaterinlaten aan

3 KOELWATERMODELLERING

3.1 Koelwaterlozing op het Noordzeekanaal

De condensor van HW-09 zal worden ontworpen voor een maximale warmtelast van 300 MWth. Vooral nog wordt uitgegaan van een gemiddelde ΔT van 6 °C (maximaal 8 °C), bij een koelwaterstroom van nominaal 12 m³/s (maximaal 18 m³/s). Deze thermische lozing is van toepassing bij volledige productie. De elektriciteitscentrale zal beschikken over een doorstroomkoelsysteem (“once through” koelwatersysteem).

Indien de thermoshock-methode wordt toegepast voor de bestrijding van macrofouling wordt 1 à 2 maal per jaar, gedurende een halve dag, koelwater met een temperatuur van 40-45 °C intern in het koelwatersysteem gerecirculeerd. Bij de thermische bestrijdingsmethode wordt

vertrouwelijk

het koelwater (in een opbouwfase van circa 2 uur) opgewarmd tot tegen de 40-45 °C en gedurende circa een uur gehandhaafd. Het is van belang dat de temperatuur stijgt met een snelheid van 0,1-0,2 °C per minuut om het gewenste bestrijdingseffect te krijgen en om de installatie de mogelijkheid te geven zich aan te passen aan de relatief snel veranderde temperatuur. Dit relatief warme water wordt in een periode van circa 2 uur weer geloosd. De totale periode waarin extra opgewarmd koelwater wordt geloosd tijdens een thermoshock ligt daardoor rond een halve dag. Dit betekent dat tijdens de thermoshock de warmtelast ongeveer gelijk blijft daar er minder koelwater wordt gebruikt (uitschakelen of terugregelen van een koelwaterpomp) maar met een hogere temperatuur, zodat het 24-uursgemiddelde qua warmtelast gelijk blijft aan normale bedrijfsvoering. Om deze reden is de thermoshock **niet** meegenomen in de modellering.

3.2 CIW beoordelingssystematiek warmtelozingen

In 2005 is de nieuwe beoordelingssystematiek koelwaterlozingen geaccepteerd. Hierdoor is de emissie benadering, 'einde pijp metingen', getransformeerd naar een immissie benadering, welke direct aansluit bij de Kaderrichtlijn Water en IPPC. De onderhavige studie richt zich op de temperatuureffecten in het Noordzeekanaal en in de aanpalende havens, veroorzaakt door de eenheden van de Nuon Hemweg centrale, en door de warmtelozingen van Afval Energie Bedrijf (AEB). Het gaat om de dispersie van warmte rond de huidige Nuon elektriciteitscentrale in de Jan van Riebeeckhaven (uitstroomkanaal), en de verspreiding van warmte in het Noordzeekanaal (ontvangend water) als gevolg van warmtelozingen van de Afvalenergiecentrale en de Hoogrendement Centrale van het Afval Energie Bedrijf. Om de lozingen te evalueren, is er een 3-D, thermo-hydrodynamisch model toegepast (THREETOX) op het oostelijke deel van het Noordzeekanaal (figuur 3).

Het doel van deze gezamenlijke studie van NRG/KEMA is het bepalen van de effecten die de bestaande en/of toekomstige koelwaterlozing op het kanaal heeft. In het geval dat een toename van de koelwaterlozing de temperatuur van het kanaal teveel verhoogt, moeten er wellicht andere koelmaatregelen worden geïmplementeerd. Het model evalueert de invloed van Nuon en AEB op de watertemperatuur, waarbij aangenomen is dat er geen andere warmtebronnen in het kanaal aanwezig zijn, behalve de atmosferische effecten en de instromende warmte vanuit het Markermeer via de Oranjesluizen (Schellingwoude) en via het Amsterdam-Rijn-kanaal.

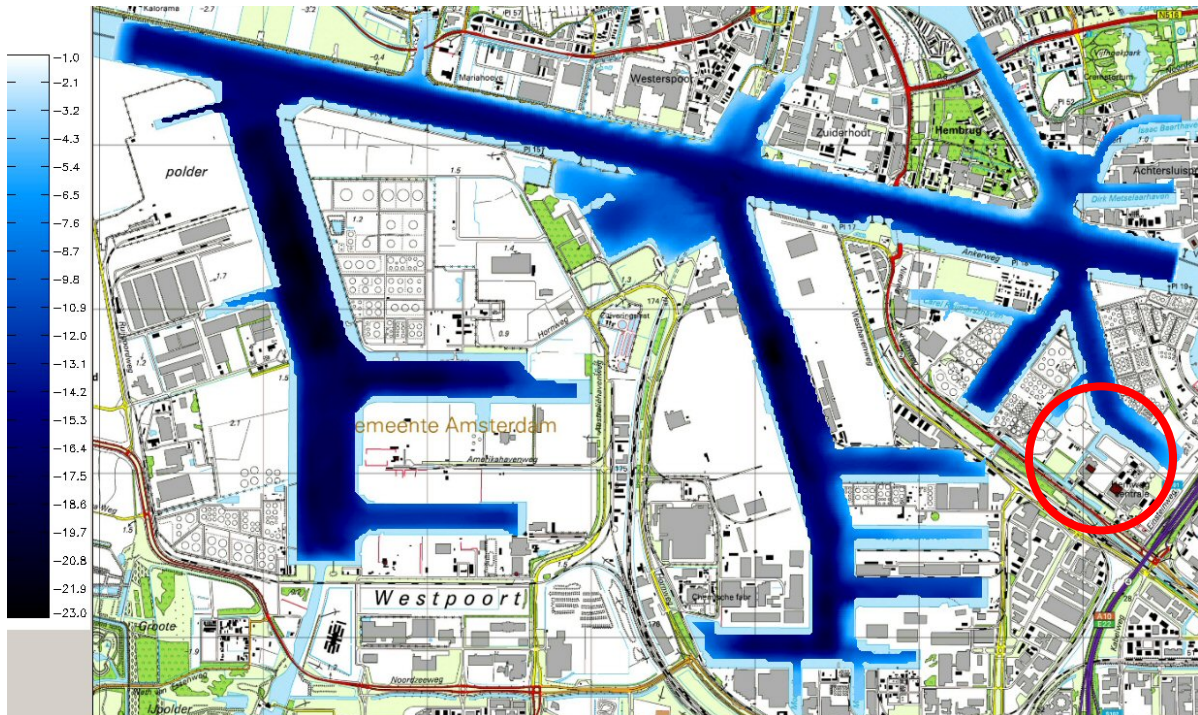
Voor de huidige en toekomstige eilandsituatie is uitgegaan van een extreme zomersituatie (augustus 2003, als worst case) en een gemiddeld warme zomer (augustus 2004),

gebaseerd op meteorologische en hydrologische omstandigheden van de eerste twee weken van augustus.

Het model houdt rekening met recirculatie van warmte; in het model is het water in de Sonthaven het inlaatwater voor de Hemweg centrale (in werkelijkheid wordt er ook water uit de Neptunushaven ingenomen). De watertemperatuur nabij de inlaat bepaalt de temperatuur van het opgewarmde koelwater uitlaattemperatuur, die wordt berekend door een vaste ΔT toe te voegen volgens de warmtecapaciteit van de centrale en de snelheid van de koelwaterlozing. Deze aanpak betekent dat uitgegaan wordt van een ‘worst-case’ situatie. De scenario's in deze extra uitgevoerde modellering zijn weergegeven in tabel 3.

Tabel 3 Beschrijving van de lozingsscenario's voor de evaluatie van de lozingen van de elektriciteitscentrale van Nuon Hemweg en van AEB in de huidige en toekomstige situatie. Warmteafvoer Dag/Nacht (MWth), hydrometeorologie, T-modelrand (°C), ΔT condensor (°C), en Q koelwaterlozing (m³/s)

centrale		HW07 670 MWth D 400 MWth N		HW08 930 MWth D 810 MWth N		HW09 300 MWth D 300 MWth N		AEB1 (10/20) 226 MWth		AEB2 (30) 120 MWth	
scenario (Totale warmteozin g MWth)	Meteo/ Hydro	ΔT [°C]	Q [m ³ /s]	ΔT [°C]	Q [m ³ /s]	ΔT [°C]	Q [m ³ /s]	ΔT [°C]	Q [m ³ /s]	ΔT [°C]	Q [m ³ /s]
scenario 1 dag: 2246 nacht: 1856	Aug-04 Q _r = 49 m ³ /s T _r =23°C	6,19 3,70	25,8 25,8	6,76 5,89	32,9 32,9	6,00	11,96	7,0	7,7	4,41	6,5
scenario 2 dag: 2246 nacht: 1856	Aug-03 Q _r =29 m ³ /s T _r = 24°C	6,19 3,70	25,8 25,8	6,76 5,89	32,9 32,9	6,00	11,96	7,0	7,7	4,41	6,5



Figuur 3 De bathymetrie van het modelgebied. De locatie van de Hemwegcentrale is rood omcirkeld

3.3 Resultaten koelwatermodellering

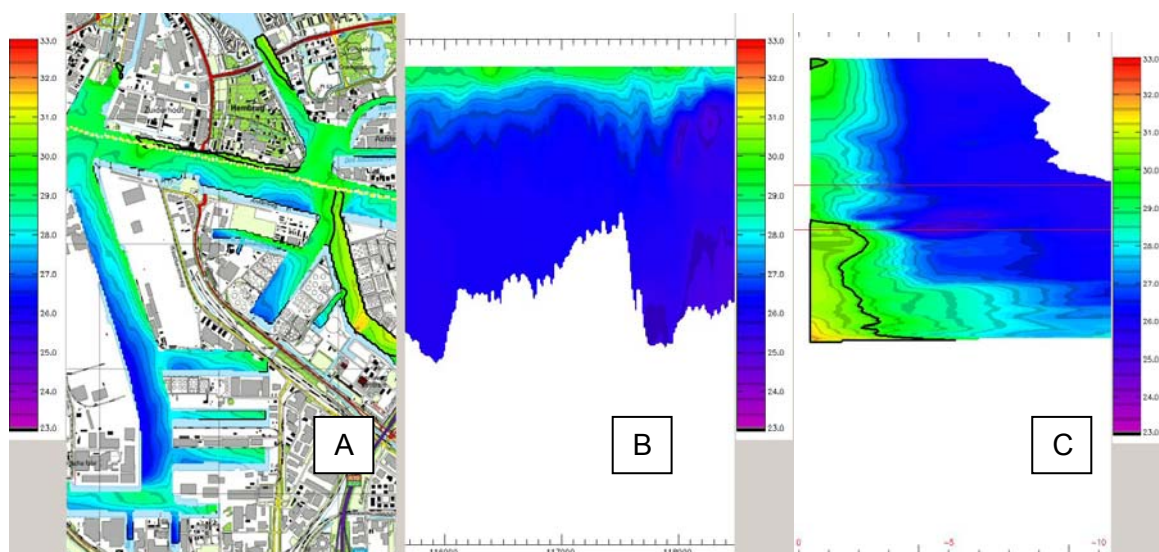
Om de modellering goed te kunnen volgen zijn de resultaten verwerkt in een grafisch programma ("Compare Tool") waardoor op filmachtige wijze het temperatuurverloop wordt weergegeven (DVD). In onderstaande figuren zijn de belangrijkste resultaten weergegeven. Het gehele rapport getiteld "Koelwaterlozingen in het oostelijk deel van het Noordzeekanaal Modevaluatie van de koelwaterlozingen van NUON HEMWEG-09 (HW09)" is als bijlage van de mer meegeleverd.

Als uitvoerresultaten worden de volgende grafieken gegeven om daarmee tot een evaluatie van de lozingen van NUON en AEB te komen:

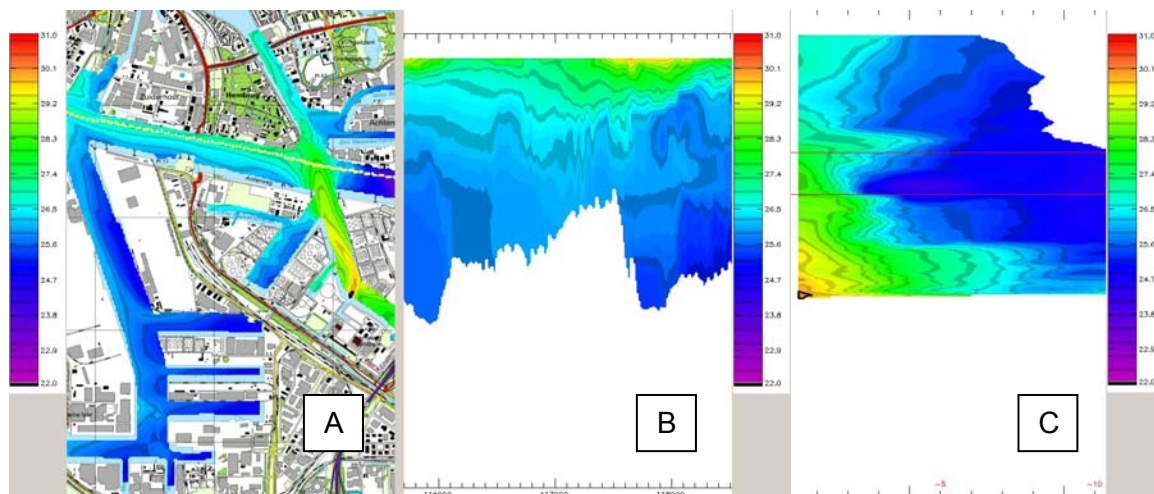
- 1D inlaat - temperaturen voor 11-13 augustus 2003, en 9-11 augustus 2004
- 2D horizontale en verticale voor temperaturen 9-11 augustus 2004, 11-13 augustus 2003 (CompareTool)
- 1D grafieken gemiddelde temperaturen in het modelgebied
- 2D temperaturen van de dieptegemiddelde temperaturen.



Figuur 4 Locaties van de dwarsdoorsneden. In deze studie zijn gebruikt: gele lijn: longitudinale doorsnede door het Noordzeekanaal; rode lijn: doorsnede vanaf de NUON-uitlaat door de Jan van Riebeeckhaven langs de oostelijke kant van de haven omdat daar de hoogste temperaturen zijn te verwachten



Figuur 5 Modelresultaat voor 12-8-2003 (scenario 1, 14:18); A: 2D oppervlaktetemperaturen; B: doorsnede lengterichting Noordzeekanaal; C: doorsnede door de JvR haven. De beide parallelle rode lijnen in figuur C geven de dwarsdoorsnede aan door het NZK. Zwarte lijn: isotherm 30 °C

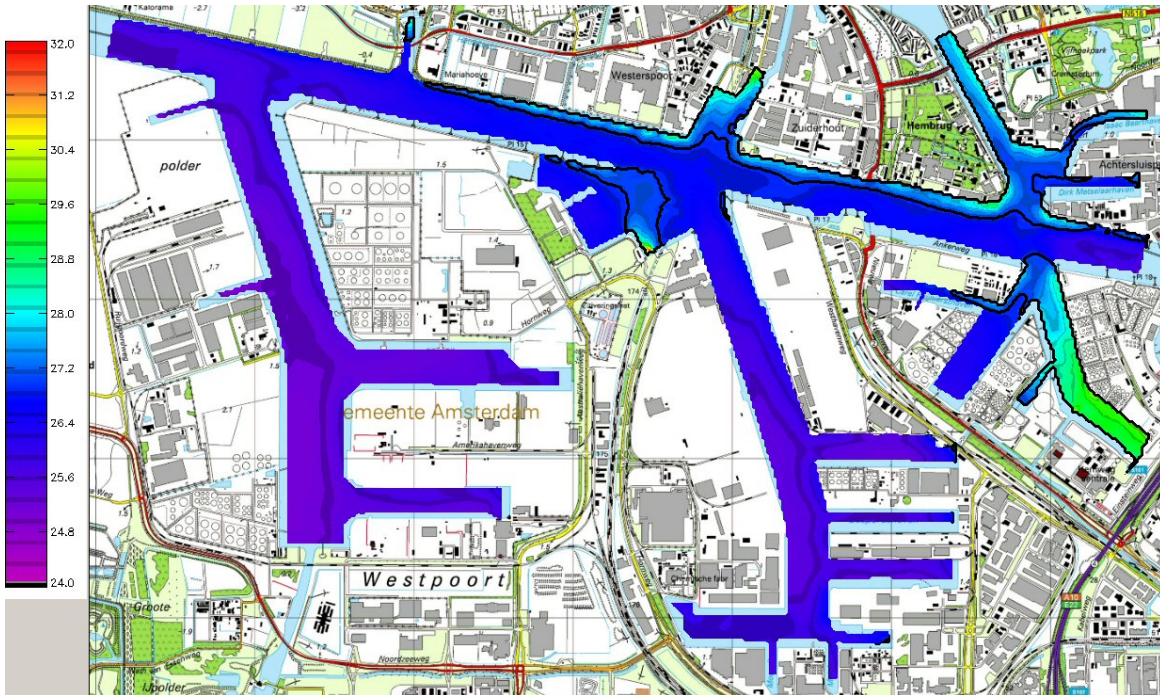


Figuur 6 Modelresultaat voor 09-8-2004 (scenario 2, 14:06); A: 2D oppervlaktetemperaturen; B: doorsnede lengterichting Noordzeekanaal; C: doorsnede ter hoogte van de NUON-uitlaat in de Jan Van Riebeeckhaven. Zwarte lijn (stip): isotherm 30 °C

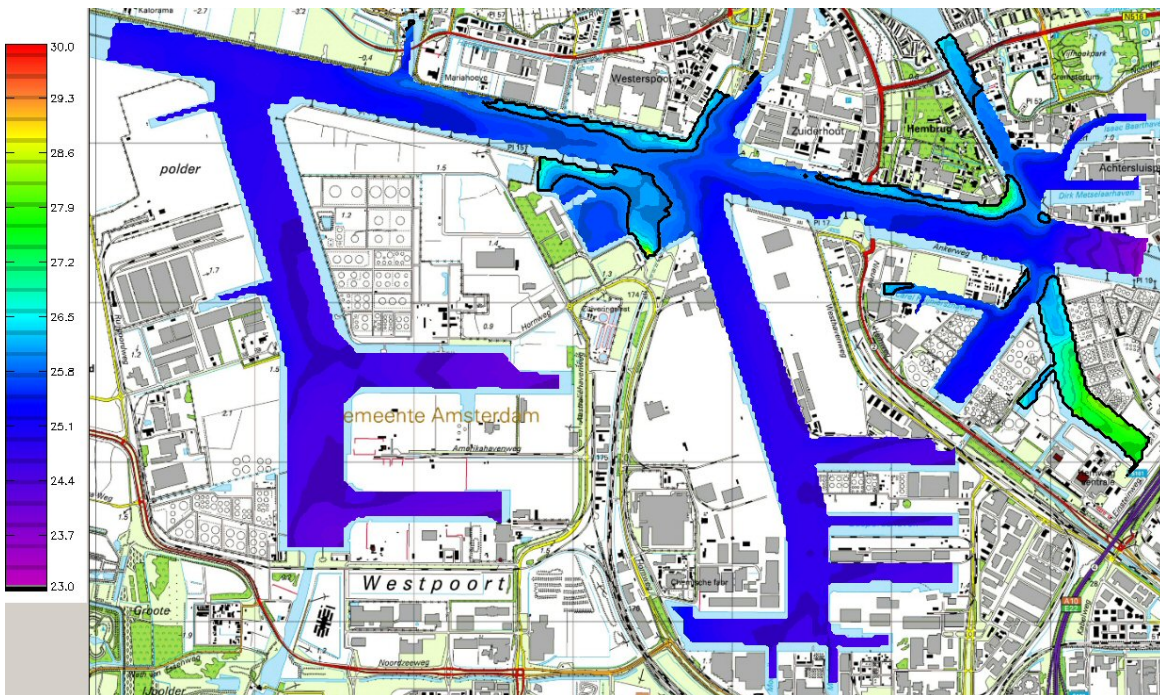
Uit vergelijking tussen figuur 5 en figuur 6, blijkt dat er een significant verschil is tussen de extreem warme (scenario 1) en de warme zomer (scenario 2). In tegenstelling tot de extreem warme zomer (2003) ontstaat er in de warme zomer (2004) een verwaarloosbaar klein gebied met 30 °C of hoger, ook in de verticale richting. In 2003 beslaat dit gebied het gehele oppervlak van de Jan van Riebeeckhaven. In de diepterichting (doorsnede C) bedraagt de grootte van de verstoorte doorsnede in 2003 niet meer de 25%. In 2004 is dit percentage verwaarloosbaar klein. In beide scenario's wordt dus aan CIW- norm wat betreft de mengzone voldaan.

Uit figuur 7 blijkt dat voor scenario 1 de 27 °C (3 °C boven de randtemperatuur) de dieptegemiddelde temperatuur alleen in de Jan van Riebeeckhaven te zien is. De isotherm ligt tot aan het einde van de haven. Ook de havens ten noorden van het Noordzeekanaal vertonen deze temperatuur. Bij AEB is geen noemenswaardig gebied met deze isotherm. Aan de linker modelrand wordt op dit tijdstip een ΔT 1,6 °C bereikt, onder de CIW-eis van ΔT 3 °C.

Uit Figuur 8 blijkt dat voor scenario 2 de ΔT 3K-isotherm, in dit geval 26 °C, voor de dieptegemiddelde temperatuur binnen de Jan van Riebeeckhaven ligt. Het gebied waar de 3 °C isotherm wordt bereikt buiten de Jan van Riebeeckhaven is relatief klein. Bij AEB is net als bij scenario 1 geen noemenswaardig gebied met deze isotherm. Aan de linker modelrand wordt op dit tijdstip een ΔT van 1,9 °C bereikt, onder de CIW-eis van 3 °C.



Figuur 7 Modelresultaat voor scenario 1 (2003), 12-08-2003 (14:18). Dieptegemiddelde temperatuur; zwarte lijn – 27 °C isotherm (3 °C boven de randtemperatuur)



Figuur 8 Modelresultaat voor scenario 2 (2004), 09-08-2004 (14:08). Dieptegemiddelde temperatuur; zwarte lijn – 26 °C isotherm (3 °C boven de randtemperatuur)

vertrouwelijk

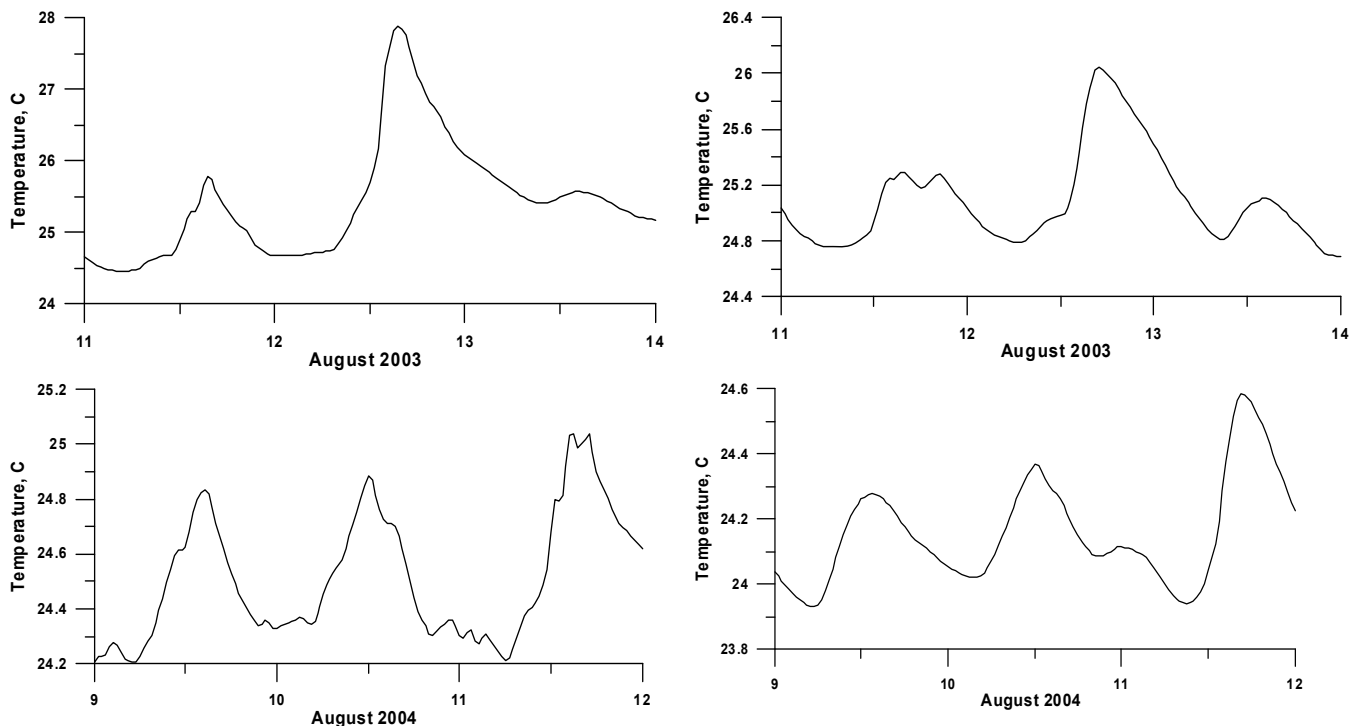
Uit figuur 7 is af te leiden dat bij NUON de range waarbinnen de inlaattemperatuur in de Sonthaven zich beweegt in 2003 rond de 3,5 °C is, hetgeen veroorzaakt wordt door de extremere variatie in de meteorologische omstandigheden vergeleken bij 2004. Voor 2004 ligt de range van inlaattemperaturen in de Sonthaven rond de 0,8 °C. De inlaattemperatuur bij AEB ligt voor 2004 0,5 °C lager dan bij NUON, dit wordt veroorzaakt door recirculatie van door NUON geloosde warmte naar de inlaat in de Sonthaven.

3.4 Bijdrage in opwarming koelwater-inlaat en uitlaat HW-09

Uit de resultaten van de modelberekeningen kan het volgende worden geconcludeerd:

- de inlaattemperaturen bij Nuon en AEB verschillen in alle scenario's 0,5 °C, dit houdt in, dat Nuon 0,5 °C bijdraagt aan de temperaturen aan de inlaat in de Sonthaven als gevolg van recirculatie (zie figuur 9)
- Voor de beide doorgerekende scenario's wordt in het gehele modelgebied voldaan aan het 25% / 30°C criterium voor de verticale doorsnede. Oorzaak ligt, uiteraard, in de diepte van de havens en het NZK in combinatie met de sterke stratificatie van het geloosde opgewarmde water. Ecologisch gezien betekent dit dat zelfs in de JvR haven migratie van vis mogelijk is
- Aan de CIW eis van ≤ 3 °C temperatuurstijging (daggemiddeld over de verticaal) aan de modelrand wordt zondermeer in alle gevallen voldaan,. Deze stijging bedraagt aan de modelrand niet meer dan 1,9 °C voor 2003 (scenario 1), en 1,6 °C voor 2004 (scenario 2). Binnen het modelgebied, in het Noordzeekanaal wordt (met uitzondering van de JvR haven en mengzone-uitloop in zijkanaal G), voldaan aan het 3 °C criterium.

Reductie van het lozingsdebiet of warmtevracht is alleen mogelijk door een verhoging van de lozingstemperatuur (ΔT) of door een reductie van de warmtelevering. In beide gevallen betekent dit echter een reductie in het rendement van de eenheid. Bij de koelwatermodellering is uitgegaan van een optimale bedrijfsvoering.



Figuur 9 Berekende inlaattemperaturen NUON en AEB. Links: NUON - inlaat; Rechts: AEB -inlaat. Boven: 2003-scenario; onder 2004-scenario

3.5 Nieuwe beoordelingssystematiek warmtelozingen

Achtergrond

Een werkgroep van de voormalige Commissie Integraal Waterbeheer, thans Landelijk Bestuurlijk Overleg Water, heeft sinds begin 2002 gewerkt aan de beschrijving van de uitgangspunten om te komen tot een 'beoordelingssystematiek warmtelozingen', nu bekend als 'beoordelingssystematiek koelwater'.

De volgende uitgangspunten werden geformuleerd:

- het handhaven van een hoog beschermingsniveau gedurende de kwetsbare biologische lente met de nadruk op vis en met name op vislarven
- het incorporeren van het dynamische stromings- en afkoelingsgedrag van artificieel opgewarmd oppervlaktewater.

Beoordelingscriteria van de systematiek zijn onttrekking, lokale mengzone (deel van het watersysteem in de nabijheid van een lozingspunt dat door een warmtelozing op een temperatuur van méér dan 30 °C is gebracht) en opwarming in algemene zin. De

vertrouwelijk

systematiek sluit aan bij de waterkwaliteitsaanpak voor warmte, waarbij de mate van beïnvloeding van het oppervlaktewater bepalend is voor de beoordeling van de lozing. Uitgangspunt hierbij is dat onttrekkingen en lozingen géén significante effecten mogen hebben voor het aquatische milieu.

Met de toepassing van de nieuwe systematiek in de praktijk moet nog de nodige ervaring worden opgedaan. Tevens leven er nog een aantal vragen rond de toepassing van de systematiek in de praktijk. Momenteel wordt door RWS in samenwerking met de E-productiesector onderzoek uitgevoerd bij drie centrales naar de invloed van koelwaterpluimen op het gedrag van vissen in het kader van het onderzoeksproject MeetPol door de (RWS) Waterdienst Lelystad. Tevens zijn op basis van een literatuurstudie de paaihabitats van de belangrijkste Elektriciteits-centrales in Nederland in kaart gebracht.

Beoordelingssystematiek

Het op grote schaal onttrekken van oppervlaktewater ten behoeve van koeling kan het aquatische milieu schade toebrengen. Koelwateronttrekking kan alleen leiden tot nadelige effecten op de populatieniveau van organismen in het watersysteem waaruit het water wordt onttrokken als organismen die gevoelig zijn voor inzuiging, bijvoorbeeld vislarven en juveniele vis, daadwerkelijk in het watersysteem aanwezig zijn. Onttrekkingen dienen (bij voorkeur) niet plaats te vinden in paaigebieden, opgroeigebieden voor juveniele vis en trekroutes. In zoute wateren zijn estuaria in de regel gevoeliger dan de Noordzeekust. Kortom de locatiekeuze is van groot belang. Om er voor te zorgen dat aangezogen vis weer wordt teruggevoerd naar oppervlaktewater dient een goed functionerend visafvoersysteem te worden gebruikt. Dit is uiteraard eenvoudiger te realiseren bij nieuwe locaties dan bij bestaande, omdat bij nieuwbouw de opties nog open liggen en er nog niet is geïnvesteerd. Kortom ook bij onttrekkers waar dit op een minder ideale locatie plaatsvindt is een beoordeling wenselijk (er mag géén significante schade op populatieniveau optreden).

Vislarven of juveniele vissen komen in het biologische voorjaar in paaigebieden of opgroeigebieden in grote getale voor. Dan zijn ze vanwege hun geringe afmeting kwetsbaar voor inzuiging in koelsystemen. Voor zoet oppervlaktewater wordt voor het biologisch voorjaar een periode van 1 maart tot 1 juni aangehouden. Voor zoute wateren is naast het biologische voorjaar, de periode 1 februari tot 1 mei, ook het biologische najaar, de periode 1 september tot 1 december, van belang. Grootschalige onttrekking ten behoeve van koelwater in paaigebieden of opgroeigebieden van juveniele vis is in deze periodes niet gewenst

vertrouwelijk

Voor kanalen en havens geldt dat er geen significante effecten mogen optreden mocht het watersysteem fungeren als paai- en opgroeigebied. Er moet een goed functionerend visafvoersysteem aanwezig zijn en het debiet behoort geoptimaliseerd te zijn. Het dwarsprofiel van de mengzone (gebied met een temperatuur boven de 30 °C) mag niet groter dan 25% zijn van de totale dwarsdoorsnede. Verder is gesteld dat de mengzone geen belemmering zou mogen zijn voor migratie van vissen. Door RWS Waterdienst is gesteld dat in de brakwaterhavens bij Amsterdam de isotherm 30 °C is met een opwarmingscriterium van 3 °C.

Voor de onttrekking geldt het streven van een zo gering mogelijke onttrekking. Dit houdt in dat als het mogelijk is een hogere designtemperatuur over de hoofdcondensor aangehouden mag worden om minder koelwater te onttrekken. De locatie van de centrale mag niet in/bij een paaigebied zijn of in/bij opgroeigebied voor juveniele vis of een barrière vormen voor de trekroute van migrerende vissen. Daarnaast moet een goed visafvoersysteem (draaizeven) worden gerealiseerd.

Aangaande de resultaten van de koelwatermodellering kan betreffende de drie uitgangspunten worden geconcludeerd:

Betreffende de opwarming wordt in het rapport resultaten koelwaterlozingen van KEMA vastgesteld dat in het beschouwde systeem de gezamenlijke lozingen geen temperatuursverhoging groter dan 3 °C (daggemiddeld) boven de achtergrondtemperatuur van 24 °C in 2003 en 23 °C in 2004 tot een maximum van 30 °C veroorzaken. De maximale opwarming ten opzichte van de achtergrondtemperatuur op watersysteemniveau is, behoudens uitzonderingssituaties, maatgevend. Deze stijging bedraagt aan de (linker) modelrand niet meer dan 1,9 °C voor 2003 (scenario 1), en 1,6 °C voor 2004 (scenario 2) waarmee aan het criterium opwarming wordt voldaan

Betreffende de onttrekking uit een getidehaven is het streven een zo gering mogelijke onttrekking te creëren en zeer waarschijnlijk ligt de onttrekking niet in een paaigebied of opgroeigebied voor juveniele vis. Tevens ligt het onttrekkingsgebied achter in de havens ver buiten een mogelijke trekroute.

Betreffende de mengzone in een getidehaven: Het deel van het watersysteem (in de nabijheid van een lozingspunt) dat ten gevolge van een warmtelozing op een temperatuur groter of gelijk aan 30 °C is gebracht en wordt begrensd door de ruimtelijke 30 °C isotherm. De dwarsdoorsnede van de mengzone mag niet meer zijn dan 25% van de natte doorsnede. Aan dit criterium wordt voldaan, zie dwarsdoorsneden modellering (Compare Tool).

4 EFFECTEN KOELWATERGEBRUIK OP AQUATISCHE ORGANISMEN

Alvorens in te gaan op mogelijke effecten op organismen is het van belang vast te stellen welke groepen organismen rond de lozingsplaats te verwachten zijn. Het betreft:

- **bodemorganismen**, de benthos zoals macrofauna (schelpen, wormen en andere grotere organismen; de meiofauna (< 1mm) zoals nematoden (wormen) en kreeftachtigen (copepoden) en de microfauna (bacteriën en protozoa)
- **vrijzwevend fytoplankton** (kleine, plantaardige, algensoorten, als diatomeeën)
- **vrijzwevend zoöplankton** (kleine dierlijke organismen, als copepoden en amphipoden)
- **vissen**. In het gebied bij Hemweg komen zowel zee- als zoetwatervissoorten voor.

Bij toepassing van doorstroomkoeling kunnen drie typen van schade voorkomen:

- 1 thermische invloed ten gevolge van langdurig verblijf in het lozingsgebied in opgewarmd water
- 2 thermische en mechanische schade ten gevolge van passage door de condensoren
- 3 mechanische schade door zeven, pompen en filters.

In het verleden zijn door KEMA bij verscheidene centrales studies uitgevoerd naar effecten van koelwaterinname en -lozing. In de volgende paragrafen worden voor verschillende effecten kort de conclusies uit deze studies weergegeven. Veel van deze studies zijn tientallen jaren geleden uitgevoerd, waar nodig wordt aangegeven in hoeverre de resultaten representatief zijn voor de huidige situatie.

4.1 Effecten op bodemorganismen

Het is een algemeen bekend feit dat warm koelwater onmiddellijk gaat drijven en geen effect zal hebben op de bodem. Dit betekent dat er geen schadelijk effect zal zijn voor de benthische fauna rondom de uitlaat.

4.2 Effecten op plankton

Effecten op het fytoplankton zijn mogelijk te verwachten in een versnelde fotosynthese gedurende het verblijf in de pluim. Daarmee is voornamelijk een korte termijn versterkend effect mogelijk gedurende de algenbloei in het voorjaar. Het gebied rond de uitlaat van Nuon (Noordzeekanaal) heeft een relatief dynamisch karakter, waardoor de verblijftijd van fytoplankton in het lozingsgebied waarschijnlijk kort is en er geen grote effecten te

vertrouwelijk

verwachten zijn. Veel zoöplanktonsoorten zijn goed bestand tegen temperatuur- en zoutfluctuaties, zoals al in het begin van de jaren negentig is aangetoond door het RIVO. Hoewel zoöplankton zich actief kan verplaatsen (meestal verticaal), is de invloed door rivierafvoer/getijdenbeweging overheersend. Er worden geen grote effecten voor zoöplankton verwacht. Betreffende fytoplankton en zoöplankton zal er alleen schade zijn voor het zoöplankton door passage van de condensor (circa 20% mortaliteit), maar is geen blijvend effect te verwachten omdat de populatie zich snel herstelt. Bij enclosure-experimenten bij de centrale Harculo is voor verschillende zoöplankton soorten (copepoden, rotiferen) een toename in populatiegrootte gevonden na een thermoshock behandeling (tot $\Delta T=13,5^{\circ}\text{C}$). Alleen voor Cladocera is een afname gevonden, welke werd gevolgd door een snel herstel van de populatie binnen vijf dagen. Gecombineerde mechanische en temperatuureffecten waren na twee weken reeds gecompenseerd door natuurlijke groei van de geteste natuurlijke zoöplanktonpopulatie. Gedurende 1969 en 1970 zijn phytoplanktonmonsters geanalyseerd op drie bemonsterings-plaatsen in de omgeving van de in- en uitlaat van de Flevocentrale (KEMA, 1972). Er is geen effect gevonden van opwarming (tot $\Delta T = 15^{\circ}\text{C}$) van het water op de planktonsamenstelling in de directe omgeving van de Flevocentrale. Mechanische schade aan zoöplankton door passage van de centrale kon niet worden onderzocht vanwege te weinig gevonden aantallen. Over de situatie bij de uitlaat van Nuon zijn geen gegevens over plankton bekend. Gezien de resultaten van de genoemde onderzoeken waarin met name een snel herstel van planktonpopulaties werd gevonden, dan wel een beperkte invloed van de temperatuur, en ondanks de toename van de koelwaterinname, zijn voor de Hemwegcentrale geen effecten te verwachten op de populatie fytoplankton en zoöplankton in het Noordzeekanaal.

4.3 Effecten op vis

Visstand bij de Hemweg centrale

In het Noordzeekanaal worden drie zones onderscheiden. Van oost naar west zijn dat:

- a. een zoetwater zone;
- b. een zwak brakke zone;
- c. een brakke zone.

Voor het samenstellen van de visgemeenschap in de drie onderscheiden zones is gebruik gemaakt van gegevens van een aantal jaren (Van Beek, 2004). De visstand die voorkomt in het Noordzeekanaal is samengesteld uit brak- tot zoetwatersoorten. De soortenrijkdom neemt toe van zoet naar brak. In 2004 werden 12 soorten aangetroffen in de zoetwaterzone, 17 in de zwak brakke - en 44 in de brakke zone (Klinge, 2005). De visgemeenschap in de zoetwaterzone werd sterk gedomineerd door brasem, gevolgd door snoekbaars en kolblei. In de zwak brakke zone, waar de laagste visbiomassa werd aangetroffen, waren brasem,

vertrouwelijk

snoekbaars en baars dominant, terwijl in de brakke zone bot de dominante soort was gevolgd door steenbolk, tong en aal. Door Klinge (2005) zijn de volgende soorten tijdens deze bemonstering in de Westhaven en de Mercuriushaven aangetroffen: paling, spiering, bot, dikkopje, grote zeenaald, haring, schol, steenbolk en wijting.

Paaigebieden

Door de OVB (Organisatie ter Verbetering van de Binnenvisserij) is in opdracht van het RIZA een inventarisatie gemaakt van de vissoorten en de paai- en opgroeimogelijkheden in beïnvloedde koelwater uitlaatgebieden bij Nederlandse E-centrales (Vriese *et al.*, 2006). Voor deze rapportage zijn de paai- en opgroeimogelijkheden bij de uitlaat van de centrale Hemweg echter niet vastgesteld.

De Hemwegcentrale onttrekt het koelwater aan twee havens, via twee artificiële toevoerkanalen. Zowel de havens als de kanalen hebben geen natuurlijke oevers en vormen naar grote waarschijnlijkheid geen paaigebied voor de meeste van de aanwezige soorten.

De bijdrage van HW-09 aan de totale lozing op de locatie is beperkt, de relatieve bijdrage aan effecten is verwaarloosbaar.

4.3.1 Langdurig verblijf in lozingsgebied

Betreffende vis in het algemeen is een eerste verdeling te maken in vislarven/jonge vissen, de zogenaamde 0+ vis, en de oudere tot volwassen vissen. Daarnaast heeft men in de NZK-situatie te maken met de aanwezigheid van verschillende typen vissoorten welke grof verdeeld kunnen worden in zeevissoorten, zoetwatervis, standvissen en trekvis. De aanwezigheid van deze soorten is afhankelijk van seizoen (migratie) en afvoer, alsook locatie in de het NZK (bijvoorbeeld stroomdeel of oever). De gezamenlijke uitlaat van de Hemweg locatie mondt direct uit op een haven. Echter, onbekend is in hoeverre vis gebruik maakt van het nabije gebied als verblijf en foerageergebied. Het Noordzeekanaal zelf is zeker van belang voor vismigratie. In de toekomst zal er meer aandacht zijn voor migrerende soorten als zeeforel en paling. Deze ontwikkeling zal echter geen grote consequenties hebben op de bestaande effecten van inzuiging en koelwaterlozing op de vis. Er wordt sowieso reeds aandacht besteed aan vis in relatie tot inzuiging (IPPC: BREF Koelwater) en effecten door het lozen van opgewarmd koelwater.

Bodemvissen zullen in principe niet worden blootgesteld aan verhoogde watertemperaturen. De larven en juveniele dieren van de pelagische (vrijzwemmend in de waterkolom) vissoorten gedragen zich als zoöplankton en verwacht mag worden dat er geen tot geringe

vertrouwelijk

effecten zullen zijn. De volwassen dieren zijn uitstekend in staat verhoogde watertemperaturen te mijden. Gevaar voor eventuele vissterfte door opgewarmd koelwater is in het directe uitlaatgebied in de rivier aanwezig in bijzondere situaties: bij lage rivierafvoeren en onvoldoende uitwijkmogelijkheden. Er zijn echter ook soorten/individuen die de warme koelwaterpluim (voor korte periode) zullen opzoeken.

Uit KEMA onderzoek bij de Flevocentrale (KEMA, 1975) is gebleken dat met name snoekbaars de neiging heeft om langere tijd in het uitlaatgebied te verblijven. Verder is aangetoond dat de conditie van snoekbaars en brasem negatief is beïnvloed. Dit is waargenomen aan de hand van de K-factor (lengte/gewicht-ratio) en maaginhoud. De oorzaak hiervoor is waarschijnlijk het tekort aan specifiek voedsel (afwezigheid jonge prooivis en bodemdieren). Door het verhoogde metabolisme van de vis bij hogere temperatuur is er een grotere voedselbehoefte en zal het aanwezige voedsel eerder op zijn waardoor schaarste ontstaat. Daarnaast is er een hoger energiegebruik om tegen de waterstroom in te zwemmen. Dit is dus een indirect effect en sterfte door te langdurig verblijf in het uitlaatgebied is nooit waargenomen. Daarnaast bleek de paaitijd van blankvoorn in de nabije omgeving van de uitlaat twee weken te zijn vervroegd. In de situatie bij de Hemweg wordt niet verwacht dat vis lang in het uitlaatgebied verblijft.

In de winter van 1981/82 zijn in het uitlaatkanaal van de Flevocentrale sterke temperatuurschommelingen opgetreden tengevolge van grote verschillen in belasting van de centrale binnen één etmaal. Hypothese was dat juist de sterke verschillen in watertemperatuur negatieve effecten zou kunnen hebben op vis. Er is een overlevingsproef uitgevoerd en de effecten van de sterk wisselende watertemperatuur op vis bleek minder ongunstig dan in eerste instantie werd aangenomen (KEMA, 1983). Bij recent onderzoek in de haven van Rotterdam (KEMA, 2000) is waargenomen dat gedurende november de biomassa in havens met koelwaterlozing hoger is dan in augustus. Waarschijnlijk vervullen deze havens een rol als overwinteringsplek. Er is geen negatieve invloed op soortensamenstelling en de biomassa gevonden. Het is niet bekend welk deel deze overwinterende groep vissen uitmaakt van de totale populatie. Vooral nog is onduidelijk of een functie als overwinteringsplek ook te verwachten is in het koelwater-uitlaatgebied van Hemweg. Indien een overwinteringsplek ontstaat, dan zal dat een gebied zijn dat matig is opgewarmd en waarvan geen grote negatieve invloed, zoals hierboven beschreven, te verwachten is op overwinterende vissen, noch op de populatie.

4.3.2 Visinzuiging: effecten

In theorie is de kans aanwezig dat een organisme welke zich in de nabijheid van een koelwaterinlaat bevindt, in het koelwatersysteem terecht komt. Hierbij wordt uitgegaan van een organisme dat zich niet of slechts in beperkte mate tegen de stroom kan verzetten. In praktijk zal dit met name gelden voor viseieren, vislarven en (zeer) jonge vis, welke zich passief met de waterstroom verplaatsen. De huidige ervaring bij de Hemweg centrale is dat met name jonge, kleine vis wordt ingezogen. Er zijn hier echter geen kwalitatieve gegevens van beschikbaar. Begin jaren negentig is door KEMA onderzoek uitgevoerd bij de centrale Hemweg naar effecten van de koelwaterinname en -lozing (KEMA, 1991). De gegevens zijn echter te gedateerd om te gebruiken. De visstand en bedrijfsvoering is sindsdien duidelijk veranderd.

Er zijn wel recente gegevens over visinzuiging beschikbaar. Gedurende de periode augustus 2005 tot mei 2006 is er een visbemonstering uitgevoerd bij de Hemweg centrale (Eindrapport WWh-onderzoek Visinzuig, notitie Corus, 8 februari 2007). Hierbij is gebleken dat de inzuiging gemiddeld 0,29 vissen per 1000 m³ koelwater, minimaal 0,05 vissen per 1000 m³ koelwater betreft (maart) tot maximaal 0,72 vissen per 1000 m³ (september). De ingezogen vis en andere organismen zijn in dit onderzoek onderverdeeld in witvis, snoekbaars, baars, krab, garnaal en andere vissen (platvis, paling, stekelbaars, steenbolk, zeenaald, grondel, spiering, zeeduivel, prik). Het gemiddelde gewicht per vis betrof 2 – 10 gram, dus aangenomen wordt dat het met name kleine, jonge vis betrof.

Volgens de nieuwe CIW-beoordelingssystematiek voor koelwater moeten ecologische effecten van koelwatergebruik zo goed mogelijk worden beperkt. Uitgangspunt is dat ten gevolge van onttrekking er géén significante effecten mogen optreden op de populatie. Ten aanzien van visinzuiging gelden de volgende afspraken: "vislarven en juveniele vis komen in groten getale voor in paai- en opgroeigebieden voor in het biologische voorjaar (1 maart – 1 juni). Voor zoute wateren is naast het biologische voorjaar, de periode 1 februari tot 1 mei, ook het biologische najaar, de periode 1 september tot 1 december, van belang. Vislarven en juveniele vis kunnen zich niet verzetten tegen de grote stroomsnelheden nabij het innamepunt van koelwater, waardoor grote aantallen vislarven en juveniele vis, mits aanwezig in oppervlaktewater, kunnen worden ingezogen met het koelwater.

Met name de locatie van de onttrekking is in dit verband van belang. Om deze reden moet worden voorkomen dat grootschalige koelwateronttrekkingen plaatsvinden in paai- en opgroeigebieden voor juveniele vis. Indien dit wel het geval is, kan dit leiden tot limitering van het koelwaterdebiet. De locatie waarop Hemweg koelwater inneemt (vanuit 2 havens, via

vertrouwelijk

twee toevoerkanalen), zal weinig invloed hebben op trekvis vanwege de afgelegenheid van migratieroute (Noordzeekanaal).

Uit onderzoek bij de Flevocentrale is gebleken dat schade aan de larvenpopulatie kan variëren tussen 2 en 4% (KEMA, 1976), afhankelijk van het verspreidingspatroon van de larven. Bij dit onderzoek naar de inzuigschade is niet gekeken naar sterfte op langere termijn. Larven die het inzuigen in eerste instantie overleven, kunnen alsnog dood gaan. Indien door sterfte op langere termijn de totale sterfte van 75 naar 100% zou gaan, zou de schade aan de populatie 2,9 a 5% kunnen worden. Hierbij moet wel bedacht worden dat de bovengenoemde schade van 5% een maximale schatting is, onder de meest ongunstige omstandigheden. De gemiddelde natuurlijke sterfte over deze twee maanden is veel groter (deze kan in de eerste levensfase van vislarven 90% of hoger zijn) dan de schade als gevolg van de Flevocentrale.

Het sterftepercentage is dus afhankelijk van het verspreidingspatroon van de larven en moet worden gezien in het licht van de gemiddelde natuurlijke sterfte van de larven welke hoger ligt (KEMA, 1976). Conclusie voor de Flevocentrale was dat een effect van condensorschade uiteindelijk niet terug te vinden is op populatieniveau voor de ingezogen soorten.

Over de sterfte van vislarven, 0+ vis en volwassen vis door inzuiging is met betrekking tot de toekomstige situatie van Hemweg nog geen nadere informatie. Dit zal na inbedrijfname moeten worden vastgesteld. Daarna kan pas vastgesteld worden of er daadwerkelijk geen effect is op vispopulaties.

Het is van belang dat de opgebrachte gegevens kunnen worden beoordeeld (significante effecten op de populatie) door middel van een passende methodiek. Deze is echter (nog) niet voorhanden. In het kader wordt momenteel onderzoek uitgevoerd met betrekking tot de nieuwe CIW-beoordelingssystematiek (Meetpol²), waarin onderzoek wordt uitgevoerd bij de Eemscentrale, centrale Maasvlakte en Shell Moerdijk (SNC). Verwacht wordt dat vanuit Meetpol eind 2008 nadere informatie voorhanden komt.

4.3.3 **Visinzuiging: maatregelen**

In §3.3.2 van de BREF koelwater (IPPC, 2000) wordt kort ingegaan op impingement en entrainment van vis en mogelijke tegenmaatregelen. Er zijn geen specifieke BAT's

² Meetpol staat voor Monitoring Ecological Effects Thermal Pollution. MeetPol is onderdeel van het lopende RWS project Stuurboord.

vertrouwelijk

omschreven voor het tegengaan van visinzuiging. Voor alle doorstroomsystemen geldt dat het inlaatsysteem juist ontworpen dient te zijn en voorzien van adequate inlaatbescherming met mogelijkheid om de opgevangen vis terug te voeren naar het oppervlaktewater. Als BAT-benadering in de BREF koelwater wordt aangegeven dat er studies naar het biotoop, alsook migratie en broedmogelijkheden voor vis moeten worden uitgevoerd. Of en op welke wijze inzuiging van vis moet worden tegengegaan is locatiespecifiek en zal door middel van onderzoek bepaald moeten worden. Technische mogelijkheden die de BREF-koelwater aangeeft ter vermindering van vissterfte is om de constructie van de inlaatkanalen te optimaliseren met betrekking tot watersnelheden (0,1 – 0,3 m/s), het continu bedienen van de bandzeven in combinatie met een goed werkend visretour systeem en het vergroten van de maaswijdte (> 5 mm) van de fijnzeven. Eventueel kan als aanvullende maatregel een visafweersystemen (licht of geluid) worden toegepast.

De schade aan grotere vis op de zeven (impingement) kan worden tegengegaan door goede opvangtechnieken en goede afvoer. Door opvang/transportbakken onder de zeefreken van de bandzeef te monteren in combinatie met een relatief lage stroomsnelheid (< 0,3 m/s) van het koelwater en een “zachte waterafspuitstraal” voor het schoonspuiten van het zeefoppervlak kan beschadiging worden voorkomen. De werking berust hierop, dat de opgevangen vis bij het kantelen over de top als eerste in een zogenaamde visgoot wordt gevoerd. Het andere materiaal wordt daarna afgespoten en via een “debris” goot verwijderd. Deze systemen zijn momenteel standaard commercieel te verkrijgen. Naast aanpassing (optimalisering) van de inlaatwerken kan, indien ondanks de BAT-conforme uitvoering van de inlaat toch effecten worden gemeten, er naar gestreefd worden vis uit het inlaatkanaal te weren. Hiertoe kan een visdeflectiesysteem toegepast worden waardoor grotere vis die zich tegen de inzuigstrooming kan verzetten wordt gedwongen weg te blijven bij de inlaat. Bestaande deflectiesystemen zijn geluid en licht al of niet in combinatie. Belangrijk is om vooraf vast te stellen welke soorten het betreft en in welke hoeveelheden deze worden ingezogen bij koelwaterinname. De werking van dit soort systemen kent een betrekkelijk grote onzekerheid omdat het effect niet voor alle vissoorten gelijk is.

Samengevat kan gesteld worden dat nog onbekend is in welke mate vis ingezogen zal worden, alsmede wat op dit moment de belangrijke soorten zullen zijn vanwege het ontbreken van gegevens over de huidige samenstelling van vispopulaties in het koelwater onttrekkingsgebied. Betreft het inzuigen van vis zal na inbedrijfname van de installatie dus onderzoek plaats moeten vinden naar de locatiespecifieke inzuiging door de nieuwe installatie. Het vaststellen of er een effect aanwezig is op populatieniveau (significantie), zal plaatsvinden op basis van een nog vast te stellen systematiek welke wordt vastgesteld door de overheid. Hiertoe wordt momenteel binnen het overheidsproject Meetpol onderzoek

vertrouwelijk

uitgevoerd op onder andere de locatie Shell Moerdijk. Op basis van de evaluatie van het onderzoek wordt inzicht verkregen in de problematiek inzuiging en zal vastgesteld kunnen worden of eventuele maatregelen nodig zijn. De resultaten van dit onderzoek, met name met betrekking tot het voorkomen van soorten en relatie tot de mate van inzuiging, zullen, in overleg met overheid, in overweging worden genomen bij het vaststellen van het uiteindelijke ontwerp van de nieuwe inlaat van Hemweg.

Uitgangspunt is dat het ontwerp en de bouw van een zo visvriendelijk mogelijke koelwaterinlaat conform de BREF richtlijnen wordt uitgevoerd. De nieuwe inlaat wordt sowieso ontworpen conform de BAT-aspecten zoals genoemd in de BREF-koelwater. Na inbedrijfname kan vastgesteld worden wat de daadwerkelijke visinzuiging is (welke soorten worden ingezogen en in welke hoeveelheden).

5 KOELWATERCONDITIONERING

Op de voorziene locatie zijn de te verwachten aangroeiorganismen de brakwatermossel *Mytilopsis leucopheata*, de brakwaterpok *Balanus improvisus*, de kalkkokerworm *Ficopomatus enigmaticus* en de hydroïde *Cordylophora caspia* (KEMA, 1996). Het belangrijkste aangroeiorganisme is de brakwatermossel, maar de ervaring tot nu toe bij de centrale Hemweg is dat er geen mosselaangroei van betekenis voorkomt in het koelwatersysteem. Wel zijn er veel lege schelpen aanwezig in het koelwateraanvoer kanaal, afkomstig vanuit de havens. Naast deze "macrofouling"-organismen is ook de "microfouling", de bacteriële aangroei van belang. In de praktijk uit zich de bacteriële aangroei als een slijmerige laag, ook wel "biofilm" genoemd, die in omvang sterk kan wisselen. De biofilm is het gehele jaar aanwezig. De effecten van "biofilms" zijn vermindering van warmteoverdracht, toename van weerstand en verandering van condities aan materiaal-oppervlakken die kunnen leiden tot een toename in corrosiesnelheid (MIC). Voor een optimale bedrijfsvoering is het van belang dat het koeloppervlak en overige oppervlakken vrij zijn van biofilm.

Ter voorkoming van aangroei in het koelwatersysteem van Hemweg, wordt voor de voorgenomen activiteit in het MER voor een conditionering van het koelwater ter bestrijding van macrofouling gedacht aan Pulse-Chlorination of thermoshock, en ter bestrijding van microfouling (biofilm) door toepassing van een dagelijkse chloordosering van 1 uur. Deze methoden worden hieronder toegelicht.

5.1 Bestrijding microfouling: chloordosering

De koelwaterzijde van de condensorpijpen staat vooral bloot aan afzetting van (an)organische bestanddelen, sedimentatie van zand en kleideeltjes en aan biologische aangroei, met name bacteriële slijmvorming. De chloordosering welke is gericht tegen microfouling dient om de warmteoverdracht in de warmtewisselaars en met name de hoofdcondensoren optimaal te houden. Bacteriën welke zich afzetten op de beschikbare wanden produceren een slijmerige laag de zogenaamde xPS (extra Cellular Polymeric Substances). Deze Bioslijm laag vermindert de warmteoverdracht tussen de te condenserende lage drukstoom en het koelwater en **moet** bestreden worden. De condensor is uitgerust met titanium pijpen of pijpen van alternatieve materialen (in verband met de lange levertijd van titanium pijpen). Bij toepassing van titaniumpijpen hoeven geen middelen te worden gedoseerd ter bescherming tegen corrosie.

De bestrijding van afzettingen en biofilm in de condensorpijpen gebeurt meestal door een combinatie van chloor en (licht) abrasieve rubber ballen (Taprogge). Een goed werkende chloordosering kan in principe een Taprogge-installatie overbodig maken, maar meestal wordt gekozen voor zowel een Taprogge-installatie voor de hoofdcondensoren, tezamen met chloordosering. De toepassing van alleen een taprogge-installatie is in brakwater meestal niet afdoende vanwege de uitbundige groei van de hydroïde *Cordylophora caspia*, met name in de inlaat- en uitlaatwaterkasten. De ervaringen van de laatste decennia leert dat alleen het gebruik van biociden, zoals chloorbleekloog, in staat is om de hydroïden te bestrijden.

Naast het hoofdkoelwatersysteem bestaat ook een hulpkoelwatersysteem, welke bijvoorbeeld de condensor van de stoomvoedingspomp koelt. Van belang is op te merken dat het toepassen van de thermoshockmethode betekent dat het hulpkoelwatersysteem niet behandeld wordt.

De chloordosering voor bestrijding van microfouling betreft een periodieke chemische (oxidatieve) reiniging. Er wordt in de orde grootte van 1 uur per etmaal met Na-hypochloriet (15%-oplossing) gedoseerd met een concentratie van maximaal 0,5 mg/l FO (Free Oxidant) als Cl_2 , gemeten direct voor de condensoren.

Het BREF-koelwater gaat uit van een concentratie van < 0,1 mg/l tot 0,5 mg/l met een 24-uurgemiddelde van 0,2 mg/l aan de uitlaat van het koelwatersysteem. De dosering van Na-hypochloriet zal de vorming van biofilm tot een minimum beperken. De dosering tegen microfouling zal, indien voor bestrijding van macrofouling thermoshock wordt toegepast, het gehele jaar plaatsvinden. Indien voor bestrijding van macrofouling Pulse-Chlorination wordt

vertrouwelijk

toegepast zal de dagelijkse 1-uurs chlorering tegen microfouling eveneens het gehele jaar zijn, behalve in de periode dat Pulse-Chlorination wordt toegepast.

Om een concentratie van maximaal 0,5 mg/l FO (Free Oxidant) als Cl_2 , gemeten direct voor de condensor te verkrijgen, zal naar waarschijnlijkheid een initiële dosering in de orde grootte van 1 mg/L moeten plaatsvinden. Deze initiële concentratie is afhankelijk van het 'demand' van het water en zal echter in de praktijk nader vastgesteld moeten worden. Voor de verdere berekening wordt in ieder geval uitgegaan van 1 mg/L.

Met een koelwaterstroom van 43.200 m³/hr en een initiële concentratie van 1 mg/L FO (gemeten als Cl_2) voor 1 uur per 24 uur is de hoeveelheid hypochloriet ongeveer 288 kg (15% oplossing) per dag ($43.200 \times 1 \text{ mg} = 43,2 \text{ kg } Cl_2/\text{hr}$; $43,2 \times (100/15) = \sim 288 \text{ kg}$). De dosering kan hooguit oplopen tot twee uur per 24 uur, als blijkt dat 1 uur niet genoeg is. Als de eenheid in bedrijf is, zal het hypochlorietverbruik worden gemeten en aangepast indien de vrij chloorconcentratie in de uitlaat hoger is dan 0,2 mg/l.

Het koelwater zal regelmatig worden geanalyseerd op biologische aangroei en concentratie actief chloor (FO) door middel van handmetingen. De aanwezigheid van microfouling wordt gemeten via warmteoverdracht (k waarde). On-line meting van de biofilm-activiteit is ook een goede optie om de aanwezigheid van biofilm, alsook de effectiviteit van de bestrijding te monitoren. Monitoring van chloorconcentraties zal on-line plaatsvinden met een chloormonitor.

5.2 Bestrijding macrofouling

Ter bestrijding van macrofouling bestaan er twee mogelijkheden: Pulse-Chlorination[®] of Thermoshock. Beiden worden hieronder toegelicht.

5.2.1 Pulse-Chlorination[®]

5.2.1.1 Chloordosering

Bij brakwater gekoelde doorstroom koelsystemen wordt over het algemeen een chloreringsperiode gedurende het gehele broedseizoen van mosselen (voorjaar) en de zomer toegepast, van medio april – oktober.

De aangroei wordt gedood door chlorering met een concentratie van maximaal 0,5 mg/l als Cl_2 FO gemeten voor de condensor. Voor de dosering van Na-hypochloriet is het BAT om

vertrouwelijk

Pulse-Chlorination toe te passen (Polman *et al.*, 2002; Jenner *et al.*, 2003). Bij deze methode wordt effectief slechts de helft van de tijd gedoseerd. Het principe resulteert in een effectieve bestrijding van mosselen en andere macrofouling organismen (KEMA, 1998). Het betreft rapport Pulse-Chlorination, Fase 2: Toepassing bij centrales. Resultaat voor brakwater (Hemweg) 0,3 mg/l FO als Cl₂ gemeten, bij een dosering van 15 min wel / 15 min niet, zijn na 4 weken alle mosselen gedood/verdwenen.

Met een koelwaterstroom van 12 m³/s en een initiële concentratie van 1 mg/L Cl₂ voor 12 uur per 24 uur is de hoeveelheid Na-hypochloriet ongeveer ~3.456 kg (15% oplossing) per dag (43.200 x 1 mg = 43,2 kg Cl₂/hr; 43,2 x (100/15) = ~316,8 kg x 12 = ~3.456 kg). Als de centrale in bedrijf is, zal het verbruik van Na-hypochloriet worden gemeten en aangepast indien de vrij chloorconcentratie in de uitlaat hoger is dan 0,2 mg/l.

De aanwezigheid van macrofouling en de effectiviteit van de bestrijding zal in de tijd gevolgd moeten worden. Hiertoe is de KEMA Biofouling Monitor een zeer geschikte methode.

5.2.1.2 Milieu-effecten door koelwaterchlorering

De milieu-invloed van koelwaterchlorering is tweeledig:

- er is een acuut toxisch effect van het totaal aan werkzaam chloor (TRO = Total Residual Oxidant) hetgeen noodzakelijk is voor aangroeibestrijding
- door de mogelijke vorming van chloreringsbijproducten (CBP's) in het chloreringsproces worden deze in de milieu-effecten meegenomen daar ze door de overheid als ongewenst worden gezien.

Milieu-effect acuut toxisch

De RIZA nota 96.036 "Het gebruik van biociden in recirculatiesystemen" geeft aan dat de berekende MTR voor chloorbleekloog 0,026 µg/L is (op grond van de data aangeleverd door de leverancier) en dat deze MTR overschreden zal worden in de dagelijkse praktijk van chlorering. In laboratorium proeven waarbij vissen de chlorering niet kunnen ontwijken ligt de LC₅₀ (96 uur) in de range van 0,023 tot 5,3 mg/L. In de vrije natuur vertoont vis ontwijkinggedrag bij concentraties > 0,05 mg/L. Steeds moet hierbij in ogenschouw worden genomen dat het Noordzeekanaal een hoog gehalte heeft aan oxideerbare stoffen (ammonium, organisch materiaal en sediment) waardoor de actieve chloorcomponenten zeer snel weg oxideren.

vertrouwelijk

De belangrijkste verbindingen die gevormd worden zijn broomamines (deze zijn toxischer dan de chlooramines). In het ontvangende water zal er verdunning plaatsvinden en zal de acute toxiciteit verwaarloosbaar zijn.

Milieu-effecten chloreringsbijproducten (CBP's)

Bij chlorering gaat het om bestrijding van enerzijds microfouling (biofilm) en anderzijds macrofouling (zeepokken, mosselen en kalkkokerwormen). Voor de goede orde moet worden vermeld dat hoewel over chlorering wordt gesproken, het in zeewater eigenlijk over bromering gaat daar zeewater een (overmaat) bromide (ca. 60 mg/l) bevat. In het gebied Hemweg is het water brak en zal de hoeveelheid bromide lager zijn dan in zeewater. Het bromide wordt ogenblikkelijk geoxideerd door het Na-hypochloriet naar broom. Het vrije broom zorgt voor reacties met organische verbindingen waardoor onder andere, naast een aantal andere reactieproducten (op microschaal), bromoform wordt gevormd.

Van 1995 tot 1997 heeft KEMA (Donk & Nolan, 1995; Jenner *et al.*, 1997; Taylor 2006) een studie uitgevoerd in een gezamenlijk onderzoeksproject naar de bijproducten van chlorering (CBP's) in opdracht van de Nederlandse elektriciteitsproductiebedrijven, British Energy (VK), Electricité de France (Frankrijk) en AKZO Nobel Chemicals (NL). In een uitgebreid bemonsteringsprogramma, uitgevoerd bij elektriciteitscentrales in Nederland, Engeland en Frankrijk, zijn monsters van de inlaat en uitlaat van het koelwatersysteem chemisch geanalyseerd en onderworpen aan toxicologische testen (Taylor, 2006). Er werden geen acute toxische effecten gevonden en er is geen bewijs gevonden voor de vorming van dioxine-achtige verbindingen of genotoxische activiteit in gechloreerd zeewater. De conclusie is dat geen acute toxische effecten konden worden aangetoond van de gevormde CBP's.

In de chloorchemie wordt verschil gemaakt tussen vrij (actief) en gebonden chloor. Chloor kan worden gedoseerd als Na-hypochloriet (NaOCl) of als hypochloriet ($\text{HOCl} \leftrightarrow \text{OCI}^-$). Na-hypochloriet, beter bekend als chloorbleekloog, is een gestabiliseerde hypochlorietoplossing. Hypochloriet kan ook ter plaatse elektrolytisch worden gemaakt in zogenaamde 'electro-chlorination plants' (ECP's). Na dosering van chloor in zeewater vormt zich onmiddellijk hypobromiet ($\text{HOBr} \leftrightarrow \text{OBr}^-$). Het hypobromiet gaat naast oxidatiereacties met de biologie (waarvoor het wordt gedoseerd) en N-houdende verbindingen tevens reacties aan met organische verbindingen, o.a. humus- en fulvinezuren. De belangrijkste reactieproducten met organische verbindingen zijn trihalomethanen (bromoform en chloroformverbindingen), halo-acetonitrillen, halo-azijnzuren en halofenolen. Dit geheel aan nevenreacties wordt 'demand' genoemd. Een hoog 'demand' betekent dat de initiële doseerconcentratie aan chloor verhoogd moet worden om de zelfde benodigde concentratie voor de warmtewisselaars te krijgen. Met uitzondering van bromoform liggen de concentraties van de CBP's rond de

vertrouwelijk

detectiegrens. Qua hoeveelheid is bromoform het belangrijkste bijproduct van zeewaterchlorering. Bromoform wordt echter in veel grotere hoeveelheden door de natuur (wieren en diatomeeën) in zee zelf gevormd. Engelse studies in de Noordzee laten zien dat daarbij sterke seizoensfluctuaties optreden (onder andere (Manly & Dastoor, 1987; Moore, 1977; Siuda & De Bernardis, 1973). Er zijn geen aanwijzingen dat er langs de kust waar gechloreerd koelwater wordt geloosd verhoogde concentraties voorkomen. In het voorjaar en de zomer, wanneer het meest wordt gechloreerd, zijn de bromoform-concentraties in de Noordzee zelfs lager dan in de winter (KEMA, 1997a and b).

De **langetermijneffecten** van chloreringsbijproducten zijn onderzocht bij de zeebaars (Donk & Nolan, 1994; Jenner *et al.*, 1997; Jenner *et al.*, 1998). Deze vissoort is een warmwater minnende soort die vaak in uitlaatgebieden van centrales voorkomt. Deze vissen worden commercieel gekweekt in gechloreerd koelwater van een grote elektriciteitscentrale in Frankrijk. Het overlevingspercentage van zeebaars gekweekt in gechloreerd koelwater van deze elektriciteitscentrale is zelfs gunstiger in vergelijking met de teelt van vissen in niet gechloreerd zeewater. Histopathologisch onderzoek van vis gekweekt in wel en niet gechloreerd zeewater gaf identieke resultaten. In het vet van de zeebaars komt bromoform in relatief hoge concentraties voor tijdens chlorering. Bromoform verdwijnt echter snel zodra de chlorering stopt. In spierweefsel treedt geen bioaccumulatie op. Het totaalgehalte in visvet aan gehalogeneerde verbindingen (TOX), waartoe ook bromoform behoort, was, in tegenstelling tot de verwachting, niet gecorreleerd aan het gebruik van chloor in zeewater.

Chlorering van zeewater dat als koelwater wordt gebruikt is een van de meest toegepaste technieken. In de BREF koelwater, opgesteld door de EU (EIPPCB, 2000), wordt voor doorstoomsystemen chlorering als de best beschikbare techniek (BAT) voor aangroeibestrijding aangewezen. De effectiviteit is bewezen, de procedure kan worden geoptimaliseerd (Pulse-Chlorination[®]) en uit het decennialange gebruik zijn geen ecologische effecten van betekenis door restchloor gebleken. Chlorering leidt echter ook tot vorming van een breed spectrum aan chloreringsbijproducten (CBP's). Over de mogelijke acute toxiciteit en langetermijneffecten van deze deels onbekende verbindingen bestaan weinig gegevens. Riza geeft aan dat actief chloor in zeewater bijproducten (1%) vormt, waarvan het grootste deel (99%) in bromoform wordt omgezet. De MTR voor bromoform is door bevoegd gezag op 11 µg/l gezet.

Vermoedelijk is deze grens op 11 µg/l gezet omdat dit de gemiddelde waarde was in het uitlaatwater van de E.ON centrale op de Maasvlakte in het gezamenlijke onderzoek met British Energy, Electricité de France, KEMA, DOW en Alzo Nobel (Jenner *et al.*, 1997). Bromoform productie is direct gerelateerd aan de precursors welke onder andere bestaan uit

vertrouwelijk

humuszuren en fulvine zuren. Perioden (seizoenen) met een hogere concentratie aan humuszuren in het water zal tot een hogere bromoformproductie leiden. Het vaststellen van een MTR voor bromoform is arbitrair en gaat voorbij aan seizoensinvloeden. Directe toxiciteit van bromoform onder in de microgrammen per liter is niet aangetoond. Voor zeevis is de LC_{50} 96 h 12 mg/L hetgeen circa 1000 x hoger ligt dan de MTR.

Chloroform ($CHCl_3$) is de voornaamste THM die gevormd wordt bij chlorering van natuurlijk zoetwater. Het vervlucht snel uit het water naar de atmosfeer. De halfwaardetijd (tijd die nodig is om in het water de concentratie te halveren) is vastgesteld op 36 uur in een grote rivier, 40 uur in een relatief ondiep water en 9 – 10 dagen in een meer. Chloroform degradeert in de atmosfeer door fotolyse, terwijl de processen die in het water verwijdering veroorzaken (hydrolyse, fotodegradatie, biodegradatie) verwaarloosbaar zijn. Gezien de snelle verwijdering in stromende wateren, de geringe koelwaterstroom ten opzichte van het ontvangende water, het feit dat chloroform zich in de pluim bevindt welke zich voornamelijk aan het wateroppervlak bevindt, zal binnen een kort tijdsbestek het gevormde chloroform zijn verdwenen.

De milieukwaliteitseis in oppervlaktewater (MTR) voor chloroform is 590 $\mu\text{g/L}$ en de streefwaarde (SW) 6 $\mu\text{g/L}$. De vorming van CBP's is onvermijdelijk, maar de in het koelwater gevormde concentraties zullen laag zijn in de orde van enkele $\mu\text{g/L}$ en de vracht op jaarbasis is gering juist door de ontwikkelde uitgekende chloreringstechniek en beperkte totale doseerperiode gedurende het jaar. Daarnaast vindt er een grote opmenging plaats nadat het koelwater geloosd wordt. Verwacht kan worden dat de geloosde concentratie chloroform beduidend lager zullen zijn dan de MTR en SW. Meetbare effecten op de biota door CBP's binnen de hier gekozen opzet voor de chlorering zijn niet te verwachten, immers chronische blootstelling aan CBP's zal niet optreden. Onderzoek uitgevoerd aan zeewatercentrales in 1992-1995 (Jenner *et al.* 1997; Taylor 2006) waarbij naar bromoform is gekeken, toonde aan dat na langdurige blootstelling geen veranderingen werden waargenomen in lever enzym activiteit en dat bromoform geaccumuleerd in vetweefsel van vissen direct weer verdween na overplaatsing in bromoformvrij water. In de Nederlandse prioritair-stoffenlijst 2006 (november 2006), wordt voor chloroform aangegeven dat het voor water geen probleemstof is. Een kanttekening welke hierbij gemaakt moet worden is dat de vorming van gechloreerde verbindingen geen abiotisch gebeuren is. Uit werk van Hoekstra en de Leer (1994) blijkt dat 50% van de adsorbeerbare gechloreerde verbindingen in de Rijn van natuurlijke oorsprong zijn.

Aangaande de waterkwaliteit bij Hemweg wordt aangenomen dat deze een brak karakter zal hebben, maar dit kan in de tijd veranderlijk zijn. **Samengevat** blijkt dat bromoform in

vertrouwelijk

brakwater het belangrijkste CBP is, maar dat de natuurlijke productie (globale scale) de antropogene sterk overtreft. Acute effecten van CBP's zijn niet aangetoond en langetermijneffecten zijn niet te verwachten. De conclusie voor de situatie in het Noordzeekanaal is dat noch acute, noch uitgestelde effecten zijn te verwachten, uitgaande van het feit dat de voorgenomen chlorering volgens de nieuwste inzichten wordt uitgevoerd.

5.2.2 Thermoshock

De nieuwe eenheid kan mogelijk ook gebruik maken van de thermoshock-methode om aangroei te bestrijden. Hierbij wordt gedurende enkele uren het opgewarmde koelwater gerecirculeerd naar de inlaat, zodat de systeemtemperatuur oploopt tot circa 40 – 45 °C. Deze hoge T is nodig om de warmtetolerante brakwatermossel *Mytilopsis leucophaeata* effectief te bestrijden. Daarna wordt dit hete water geloosd. De keuze tussen thermoshock en chlorering is kosten en techniek afhankelijk en zal pas gemaakt kunnen worden bij de selectie van de leverancier van de installatie.

Bij de thermische bestrijdingsmethode wordt het koelwater opgewarmd tot tegen de 40 – 45 °C gedurende circa een uur. Het is van belang dat de temperatuur stijgt met een snelheid van 0,1 – 0,2°C per minuut om het gewenste effect te krijgen (KEMA, 1996). De totale periode waarin extra opgewarmd koelwater wordt geloosd tijdens een “thermoshock” ligt daardoor rond een halve dag.

De extra temperatuurverhoging bij thermoshock heeft mechanische consequenties voor het leidingsysteem, daar de uitzetting bij de plotselinge hogere temperatuur aanzienlijk kan zijn. Door de hoge watertemperatuur worden de afgezette mosselen gedood. Onder brakwater condities zal de ‘thermische bestrijding’ circa 1 – 2 keer per jaar moeten worden uitgevoerd. In ieder geval zo vaak dat mosselen nog klein genoeg zijn om warmtewisselaars te passeren. De thermische bestrijdingsmethode wordt in Nederland succesvol toegepast bij de zeewatercentrales IJmond, Eemscentrale en Delesto Delfzijl en bij de zoetwatercentrales Diemen en WKC-Moerdijk.

Reeds in een vroeg stadium van de ontwerpfase van het koelwatersysteem moet een beslissing worden genomen over “thermoshocken” omdat een recirculatieleiding noodzakelijk is. Lange leidingen zullen de tijdsduur van de behandeling verlengen. Met het toenemen van de lengte neemt de behandeltijd kwadratisch toe. Oorzaak is dat de aangroei op de wanden zit, de volledige koelwatermassa opgewarmd moet worden en de warmte in de organismen moet doordringen. De kosten voor extra leidingen om recirculatie van het opgewarmde

vertrouwelijk

koelwater mogelijk te maken en zo in zo kort mogelijke tijd de gewenste 40-45 °C te behalen, zijn hoog.

Het BREF Industriële Koelsystemen (IPPC) geeft als BAT Pulse-Chlorering. In hetzelfde BREF wordt slechts op twee plaatsen over “thermal shock” gesproken. Beide keren in annex III en XII, waarbij annex III over lekkage handelt in warmtewisselaars ten gevolge van plotselinge thermische verhogingen. In annex XII wordt duidelijk in de conclusies gesteld dat “thermoshock” geen oplossing is voor de eliminatie van biofilm. Thermoshock moet dan ook altijd in samenhang met een Taproggesysteem worden ontworpen om een optimale warmteoverdracht in de condensors te garanderen. Dit geldt alleen voor de condensors, overige onderdelen van het koelwatersysteem worden niet ‘schoongehouden’ van biofilm door de combinatie thermoshock en Taproggesysteem. Taproggeballen kunnen alleen voor pijpcondensors en niet voor leidingen en plaatkoelers worden gebruikt.

In eerste instantie lijkt de “thermoshock” methode een relatief simpele techniek welke evenwel voor het bereiken van de benodigde 40 – 45 °C technische aanpassingen behoeft om de integriteit van het koelsysteem (= hoofdkoelwater- en hulpkoelwatersysteem) te waarborgen. Een nadeel zijn de relatief hoge lasten (vermogensverlies).

Milieueffecten door “thermoshocken” zijn destijds begin jaren 80 door RWS onderzocht aangaande vispopulaties en bodemfauna maar niet aangetoond. Dit is te verklaren doordat het geloosde warme water direct gaat drijven op het koudere ontvangende water en de bodem niet bereikt. Vis in zijn algemeenheid detecteert warmte uitstekend en aanwezige vis in het uitlaatgebied zal naar beneden gaan of wegzwemmen.

5.2.3 Conclusie koelwaterconditionering

Samengevat kan gesteld worden dat bij de voorgenomen dosering van Na-hypochloriet, in de vorm van Pulse-Chlorering, voor de bestrijding van macrofouling, acute toxische effecten in de vorm van vissterfte nooit zijn waargenomen tijdens normale bedrijfsvoering en dat (sub)chronische effecten niet direct te verwachten zijn.

Doordat Pulse-Chlorination geen effecten heeft voor de ecologie en de kosten aanzienlijk lager zijn in vergelijking tot thermoshock, wordt voor de nieuwe HW-09 Pulse-Chlorination geadviseerd.

6 TOETSING AAN BREF KOELWATER

In het kader van de IPPC-richtlijn (zie paragraaf 3.2.5.2) is een BREF-referentiedocument uitgebracht met betrekking tot industriële koelsystemen (IPPC, 2000). Het koelsysteem van de HW-09 moet met deze BREF in overeenstemming zijn. Het Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems van December 2001 (EIPPCB, 2000) beschrijft de Best beschikbare technieken voor industriële koeling. De BREF benadrukt dat de keuze van het koelsysteem afhangt van de locale omstandigheden en dat de verschillende emissies van koelsystemen goed tegen elkaar afgewogen moeten worden. Voorop staat de focus op een zo hoog mogelijke overall efficiency. Dit betekent onder meer een laag (elektrisch) verbruik per gekoelde hoeveelheid warmte. Het BREF-document ten aanzien van koelsystemen geeft aan dat doorstroomkoeling als BAT kan worden beschouwd gezien de aanwezige omvang van oppervlaktewater (havens en NZK) in verband met de beschikbaarheid van grote hoeveelheden koelwater en daar aan gekoppeld de geringe effecten op het aquatische milieu. Voorts zijn bij 'once-through' CW-systemen het energierendement hoger (dus lagere CO₂ emissie) en is de geluidemissie lager.

REFERENTIES

Corus, 2007. Eindrapport WWh-onderzoek Visinzuiging, 8 februari 2007. Notitie van Corus Services IJmuiden aan Rijkswaterstaat. 8 januari 2007.

EIPPCB, 2000. BAT-cooling: European IPPC bureau Sevilla, document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems, November 2000 (<http://eippcb.jrc.es>). BREF (11.00) Cooling systems.

HOEKSTRA, E.J., & DE LEER, E.W.B., 1994. AOX levels in the River Rhine: fifty percent of natural origin? In: Wat Sci Technol, 29:133- 136.

HOLTHAUS, K.I.E., WEBER, A. & KAAG, N.H.B.M., 2003. Ecosysteemeffecten koelwatergebruik Noordzeekanaal TNO, 2003, R 2002/631.

IPPC, 2000 "Reference document on the application of Best Available Techniques to industrial cooling systems", November 2000.

JENNER, H.A., POLMAN H.J.G., & WIJCK VAN, R., 2003. Four years experience with a new chlorine dosing regime against macrofouling. Presented at VGB meeting 22/23 October 2003 at Essen, Germany.

JENNER, H.A., WHITEHOUSE, J.W., TAYLOR, C.J.T. & KHALANSKI, M., 1998. Cooling Water Management in European Power Stations: Biology and Control of Fouling. Hydroécologie Appliquée. Tome 10, Vol 1-2, 225pp.

JENNER, H.A., TAYLOR, C.J.L., VAN DONK, M., and KHALANSKI, M., 1997. Chlorination by-products in chlorinated cooling water of some European coastal power stations. In: Mar Environ Res 43:279-293.

KEMA, 1972 (F.B.J. Koops). Report on plankton investigations in the cooling circuit of Flevo power station near Lelystad. No. IV 7984-72.

KEMA, 1975 (R.H. Haddingh). Effects of the cooling water discharge on the macrofauna and fish populations around Flevo power station. Electrotechniek 53 (1) p 127 – 135.

KEMA, 1976. Resultaten van het onderzoek in 1975 naar sterfte van vislarven die met het koelwater van de Flevocentrale worden meegezogen. 76-90 MO-koelw.

vertrouwelijk

KEMA, 1983 (G.H.F.M. van Aerssen en R.H. Hadderingh). Oriënterend onderzoek naar sterke temperatuurfuctuaties van geloosd koelwater in de winter bij de Flevocentrale en de invloed hiervan op vis.

KEMA, 1991 (J.W. van der Stoep en R.H. Hadderingh). Ecologische aspecten van koelwaterlozing van de centrale Hemweg. Rapport 13148-MOZ 91-3577.

KEMA, 1994 (M. van Donk, E. J. Hoekstra en H.A. Jenner). Chlorering van koelwater: chemie en effecten, rapport nr. 63637-KES/WBR 93-3135.

KEMA, 1994 (M. van Donk and D. Nolan). Effects of chlorination by-products on cultured sea bass (status report), KEMA report no. 63988-KES/WBR 94-3144.

KEMA, 1995 (M. van Donk and D. Nolan). Effects of chlorination byproducts on cultured sea bass 3988-KES/WBR 95-3141

KEMA, 1996 (J.P.M. Janssen-Mommen). Aangroeibestrijding in het Noordzeekanaal. Aangroei-organismen in het Noordzeekanaal en de bestrijding van de brakwatermossel *Mytilopsis leucophaeta*, rapport nr. 64521-KES/WBR 96-3112.

KEMA, 1997a (M.R. de Potter and B.H. te Winkel). Chlorination byproducts. Report 2.2b. Environmental fate in sea water, Experimental study. Report no. 64359.200-KES/WLK 97-3115. Confidential.

KEMA, 1997b (M.R. de Potter, M.R. and H.A. Jenner). Chlorination byproducts. Report 4.1. Natural organohalogen production. Report no. 64359.400-KPG/CET 97-8518. Confidential.

KEMA, 1998 (H.J.G. Polman en H.A. Jenner). Pulse-Chlorination[®]. Fase 2. Toepassing bij centrales, rapport nr. 98550056-KPG/CET 98-5069.

KEMA, 2000a (R.H. Hadderingh, G.H.F.M. van Aerssen en J. Kampen). Onderzoek naar de effecten van koelwaterlozingen op de visstand in het Rotterdamse havengebied. Rapport 99550665-KPS/MEC 00-6052.

KLINGE, M., 2005. Nulmeting visstand Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal. Rapport 52, Witteveen+Bos, Deventer (ook uitgegeven door Rijkswaterstaat Utrecht en Noord-Holland, nota nr. ANW 05.01).

vertrouwelijk

MANLEY, S.L. & DASTOOR, M.N., 1987. Methyl halide (CH₃X) production from the giant kelp, *Macrocystis*, and estimates of global CH₃X production by kelp. *Limnol. Oceanogr.* 32, No.3.: 709-715.

MOORE, R.E., 1977. Volatile compounds from marine algae. *Accounts of Chemical Research* 10:40-47.

POLMAN, H.J.G. & JENNER, H.A., 2002. Pulse-Chlorination[®], the Best Available Technique in Macrofouling Mitigation Using Chlorine. In *PowerPlant Chemistry 2002*, 4(2), 93-97.

RWS, 1997. Vierde Nota Waterhuishouding Regeringsvoornemen. Sdu Uitgevers, Den Haag, 124 pp.

SIUDA, J.F. & BERNARDIS DE, J.F., 1973. Naturally occurring halogenated organic compounds. *Lloydia* 36, no.2: 107-143.

TAYLOR, C.J.L., 2006. The effects of biological fouling control at coastal and estuarine power stations. In: *Mar Pollut Bull* 53:30-48.

VAN BEEK, G.C.W., 2004. Verkenning van de ecologische randvoorwaarden bij thermische vervuiling van het Noordzeekanaal op basis van effecten op vis. Rapport OVB, Nieuwegein, nr.: OND00241.

VRIESE F.T., BIJ DE VAATE, A., & DE LAAK, G.A.J., 2006. Inventarisatie paai- en opgroeigebieden van vis onder invloed van een aantal e-centrales in Nederland. Organisatie ter Verbetering van de Binnenvisserij, Nieuwegein. OVB Onderzoeksrapport KO2005037, 123 pag.

WIERINGEN VAN, M., 2005. Zoet-zout berichten, juni 2005. Rijkswaterstaat Directie Noord-Holland.

BIJLAGE A NIEUWE BEOORDELINGSSYSTEMATIEK WARMTE- LOZINGEN

Een werkgroep van de voormalige Commissie Integraal Waterbeheer, thans Landelijk Bestuurlijk Overleg Water, heeft sinds begin 2002 gewerkt aan de beschrijving van de uitgangspunten om te komen tot een 'beoordelingssystematiek warmtelozingen', nu bekend als 'beoordelingssystematiek koelwater'.

De volgende uitgangspunten werden geformuleerd:

- het handhaven van een hoog beschermingsniveau gedurende de kwetsbare biologische lente met de nadruk op vis en met name op vislarven
- het incorporeren van het dynamische stromings- en afkoelingsgedrag van artificieel opgewarmd oppervlaktewater.

Beoordelingscriteria van de systematiek zijn onttrekking, lokale mengzone (deel van het watersysteem in de nabijheid van een lozingspunt dat door een warmtelozing op een temperatuur van méér dan 30°C is gebracht) en opwarming in algemene zin. De systematiek sluit aan bij de waterkwaliteitsaanpak voor warmte, waarbij de mate van beïnvloeding van het oppervlaktewater bepalend is voor de beoordeling van de lozing. Uitgangspunt hierbij is dat lozingen géén effecten mogen hebben voor het aquatische milieu.

Met de toepassing van de nieuwe systematiek in de praktijk moet nog de nodige ervaring worden opgedaan. Tevens leven er nog een aantal vragen rond de toepassing van de systematiek in de praktijk. Momenteel wordt door RWS in samenwerking met de E-productiesector onderzoek uitgevoerd bij twee centrales naar de invloed van koelwaterpluimen op het gedrag van vissen onder extreme warme omstandigheden. Tevens zijn op basis van een literatuurstudie de paaihabitats van de belangrijkste Elektriciteits-centrales in Nederland in kaart gebracht. Een draft versie is gereed en tezamen met de opgedane ervaringen met de nieuwe systematiek kan dit als input worden gebruikt voor de evaluatie van de systematiek na de zomer van 2006.

Beoordelingssystematiek

Het op grote schaal onttrekken van oppervlaktewater ten behoeve van koeling kan het aquatische milieu schade toebrengen. Koelwateronttrekking kan alleen leiden tot nadelige effecten op de populatieniveau van organismen in het watersysteem waaruit het water wordt onttrokken als organismen die gevoelig zijn voor inzuiging, bijvoorbeeld vislarven en juveniele vis, daadwerkelijk in het watersysteem aanwezig zijn.

vertrouwelijk

Bijlage A blad 2

Onttrekkingen dienen (bij voorkeur) niet plaats te vinden in paaigebieden, opgroeigebieden voor juveniele vis en trekroutes. Om er voor te zorgen dat aangezogen vis weer wordt teruggevoerd naar het oppervlaktewater dient een goed functionerend visafvoersysteem te worden gebruikt. Dit is uiteraard eenvoudiger te realiseren bij nieuwe locaties dan bij bestaande, omdat bij nieuwbouw de opties nog open liggen en er nog niet is geïnvesteerd. Kortom ook bij onttrekkers waar dit op een minder ideale locatie plaatsvindt is een beoordeling wenselijk (er mag géén significante schade (op populatieniveau) optreden).

Vislarven of juveniele vissen komen in het biologische voorjaar in paaigebieden of opgroeigebieden in grote getale voor. Dan zijn ze vanwege hun geringe afmeting kwetsbaar voor inzuiging in koelsystemen. Voor zoet oppervlaktewater wordt voor het biologisch voorjaar een periode van 1 maart tot 1 juni aangehouden. Voor zoute wateren is naast het biologische voorjaar, de periode 1 februari tot 1 mei, ook het biologische najaar, de periode 1 september tot 1 december, van belang. Grootschalige onttrekking ten behoeve van koelwater in paaigebieden of opgroeigebieden van juveniele vis is in deze periodes niet gewenst.

Voor rivieren geldt dat er geen significante effecten mogen optreden in paaigebied en opgroeigebied van juveniele vis, er een goed functionerend visafvoersysteem is en het debiet wordt geoptimaliseerd. Het dwarsprofiel van de mengzone (gebied met een temperatuur boven de 30 °C) mag niet groter dan 25% zijn van de totale dwarsdoorsnede.

Voor zoete wateren is de maximum temperatuur op de rand van de mengzone vastgesteld op 30 °C (daggemiddeld) en de MTR (Max. Toelaatbaar Risico) op 28 °C welke in principe als bovengrens geldt voor iedere locatie buiten de mengzone. De 25% is vastgesteld om de passeerbaarheid voor migrerende vis in meren, rivieren te verzekeren. De mengzone zou moeten worden vastgesteld op lijn die haaks staat op het lozingspunt (uitlaat) (cross sectie).

BIJLAGE B TOELICHTING OP THREEETOX

A modelling system THREEETOX simulates the transport and mixing of cooling water in both the freshwater and the marine environment. This code initially was developed within the framework of the EU-decision support system RODOS (Real-time Online DecisiOn support System) for supporting the emergency response to nuclear accidents (Margvelashvili *et al.*, 1997, 1999; Koziy *et al.*, 1998; Lepicard *et al.*, 2004; Maderich *et al.*, 2005; Monte *et al.*, 2006; Yuschenko *et al.*, 2006). The model was adapted later to the problem of heat dispersion in surface waters (Heling *et al.*, 2002) and was applied in many different studies for the heat dispersion in inland and coastal waters (Maderich *et al.*, 2005). A 3D hydrostatic free-surface model describes the heat dispersion in the far-field, whereas an integral buoyant jet model (Lee and Choi, 2007) coupled with a far-field model can be applied to the near-field. The governing equations of hydrodynamics are Reynolds averaged equations of continuity and horizontal momentum and hydrostatic relation. The equations of hydrodynamics of the far-field model are completed by equations for heat and salt transport, the state equation and by the $k-\varepsilon$ turbulence model. The concept of eddy viscosity/diffusivity is used to determine the turbulent stresses and fluxes. A state-of-art stability functions (Canuto *et al.* (2001) allow accurately describe stratification effect on the turbulent stresses and fluxes. The horizontal turbulent viscosity and diffusivity are parameterized by the Smagorinsky (1963) formula.

Special attention is paid to the parameterization of heat fluxes between water and atmosphere and between water and bottom sediments. The downward surface heat flux of solar insolation is calculated from solar radiation at the top of atmosphere and then corrected for relative humidity, cloudiness and inclination (Zillman, 1972; Reed, 1977). It is absorbed in the water column. The longwave radiation is parameterised by formula of Zapadka *et al.* (2001). The sensible and latent heat fluxes into the water are estimated by bulk formulae of Blackadar (1979). The profile of temperature in the bottom sediments is calculated heat conduction equation whereas parameterization of heat exchange of water layer and sediments describes both forced and free convection. At the land boundaries, except of cooling water outlets, the no-slip conditions for horizontal velocity and no-flux conditions for scalars are applied. A variety of open lateral boundary conditions for external and internal modes are used. Among others, the radiation conditions (Orlanski, 1976; Flather, 1976; Blumberg and Kantha, 1985) are included.

Wetting - and drying processes were built into the model (Oey, 2006) to describe areas where tide and floods play a dominant role. The model was enhanced by processes describing the effects of ship traffic on the dispersion of the discharge heat in stagnant canals. The mixed vertical coordinate system is used. The sigma coordinate in the upper layer can be combined with two different coordinates systems in the lower layer: a second sigma coordinate system or a z coordinate system. An orthogonal curvilinear horizontal grid with two-way nesting capabilities has been used to describe the area of interest accurately.

The governing equations together with the boundary conditions are solved by finite difference techniques. The model equations are solved on an Arakawa C grid with all scalars located at the cell centroid, while the velocity components are defined at the centre of the cell faces. The temporal differencing is a second order leap-frog scheme with the Asselin filter. The vertically integrated equations of continuity and momentum (external mode) are separated from the equations for the vertical structure of the flow (internal mode). Splitting on the external and internal modes was utilized following Blumberg and Mellor (1987). The 2D equations for the external mode were solved explicitly, whereas 3D velocity and scalar fields (temperature, salinity, turbulent quantities) were computed semi-implicitly with larger internal step. The implicit treatment of the vertical viscosity and diffusion terms is used, whereas advective terms, horizontal viscosity and diffusion are computed on the previous time step. The advection of scalars is approximated by the high order TVD scheme (van Leer, 1979). The problem of heat conduction in the bottom sediments was solved by an explicit finite-difference method at each internal time step. The parallelization of the code was realized using MPI standard. A computational domain was horizontally partitioned on a set of smaller overlapped sub-domains to divide computational work among processors.

- 1 Blackadar A. 1979. High resolution models of the planetary boundary layer. In *Advances in Environmental Science and Engineering*, 1, No 1. Pfafflin and Ziegler (eds.) Gordon and Breich: NY; 50-85.
- 2 Blumberg AF, Kantha LH. 1985. Open boundary condition for circulation models. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* **111**: 237-255.
- 3 Blumberg AF, Mellor GL. 1987. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In *Three-Dimensional Coastal Ocean Models, Coastal and Estuarine Science*, vol. 4, Heaps NS (ed.) American Geophysical Union: 1–19.
- 4 Canuto VM, Howard A, Cheng Y, Dubovikov MS. 2001. Ocean Turbulence. Part I: One-point closure model-momentum and heat vertical diffusivities. *Journal of Physical Oceanography* **31**: 1413-1426.

Bijlage B blad 3

- 5 Choi KW, Lee JHW. 2007. Distributed entrainment sink approach for modeling mixing and transport in the intermediate field. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* **133**: 804-815.
- 6 Flather RA. 1976. A tidal model of northwest European continental shelf. *Memoires de la Societe Royale des sciences des Liege* **6**:141-164.
- 7 Heling R, Maderich V, Koshebutsky V. 2002. THREETOX model. Application for the control of waste heat in reservoirs and estuaries. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Hydroinformatics*, Cardiff, UK; 405-410.
- 8 Koziy L., Maderich V., Margvelashvili N., Zheleznyak M. (1998) Three-dimensional model of radionuclide dispersion in the estuaries and shelf seas. *J. Environmental Modeling and Software*, 13 (5-6): 413-420 .
- 9 Maderich V., Dziuba N., Koshebutsky V., Zheleznyak M., Volkov V. (2005) An assessment of flux of radionuclide contamination through the large Siberian rivers to the Kara Sea. *Radioprotection, Suppl. 1*, vol. 40: S413-S419.
- 10 Maderych V. , Heling R. , Koshebutskyy V. (2005) Application of 3D numerical model THREETOX to the prediction of cooling water transport and mixing. *J. Environ. Sci. Eng.*, 7:53-60.
- 11 Margvelashvili N, Maderich V, Zheleznyak M. 1997. THREETOX - computer code to simulate three-dimensional dispersion of radionuclides in homogeneous and stratified water bodies. *Radiation Protection Dosimetry* **73**: 177-180.
- 12 Margvelashvili N., Maderich V. and Zheleznyak M. (1999) Simulation of radionuclide fluxes from the Dnieper-Bug Estuary into the Black Sea. *J. Environmental Radioactivity*, 43: 157-171.
- 13 Monte L., Håkanson L., Periañez R., Laptev G., Zheleznyak M., Maderich V., Angeli G., Koshebutsky V. (2006) Experiences from a case study of multi-model application to assess the behaviour of pollutants in the Dnieper–Bug Estuary. *Ecological modelling*, 195, 247-263.
- 14 Oey L.-Y. 2006. An OGCM with movable land–sea boundaries. *Ocean Modelling* **13**: 176–195
- 15 Orlanski I.1976. A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows. *Journal of Computational Physics* **21**: 251-269.
- 16 Popov A., Catsaros N., Maderich V., Yuschenko S. (2002) Reconstruction of land-to-sea radionuclide flux by POSEIDON/RODOS model chain: the Thermaikos Gulf case. *Radioprotection Vol. 37,C1*, 677-682.
- 17 Reed RK. 1977. On estimating insolation over the ocean. *Journal of Physical Oceanography* **7**: 482-485.

vertrouwelijk

Bijlage B blad 4

- 18 Smagorinsky J. 1963. General circulation experiments with primitive equations. 1. The basic experiment. *Monthly Weather Review* **91**: 99-164.
- 19 Van Leer B. 1979. Toward the ultimate conservative difference scheme. V: A second order sequel to Godunov's method. *Journal of Computational Physics* **32**: 101-136.
- 20 Veleva B., Koziy L., Yushchenko S., Maderich V., Mungov G. (2002) Assessment of radionuclide contamination in the Black Sea using Poseidon/Rodos system. *Radioprotection* Vol. 37, C1, 827-832.
- 21 Zapadka T, Wozniak SB, Wozniak B. 2001. A simple formula for the net longwave radiation flux in the southern Baltic Sea. *Oceanologia* **43**: 265-277.
- 22 Zillman JW. 1972. A study of some aspects of the radiation and the budgets of the Southern Hemisphere Oceans, *Meteorological Studies*, **26**, Bur. of Meteorol., Dept. of Inter. Canberra, A.C.T., Australia.
- 23 Bijlage B blad 4
- 24 Lepicard S., Heling R., Maderich V. (2004) POSEIDON/RODOS model for radiological assessment of marine environment after accidental releases: application to coastal areas of the Baltic, Black and North seas. *J. Environmental Radioactivity*, 72, No 1-2, 153-161
- 25 Yuschenko S., Kovalets I., Maderich V., Treebushny D., Zheleznyak M. (2005) Modelling the radionuclide contamination of the Black Sea in the result of Chernobyl accident using circulation model and data assimilation. *Radioprotection*, Suppl. 1, vol. 40 S685-S691 .