



# Bestrijding van biologische aangroei in doorstroom koelwatersystemen in het Eemsgebied

**Report No.:** R2025-05b Definitief Rapport 25-11-2025, Rev. 1

**Document No.:** R2025-05b Definitief Rapport

**Date:** 25 November 2025





---

Report title: Bestrijding van biologische aangroei in doorstroom koelwatersystemen in het Eemsgebied  
Project: Bestrijding van biologische aangroei in doorstroom koelwatersystemen  
Client: Ministerie van Klimaat en Groene Groei, Directoraat-Generaal Klimaat & Energie (MinKGG)

Date of issue: 25 November 2025

Report No.: R2025-05b Definitief Rapport 25-11-2025, Rev. 1  
Document No.: R2025-05b Definitief Rapport

*Foto titelpagina: detail van biologische aangroei in een koelwatersysteem, afzetting van pokken, hydroïden en mosselen (concurrerend voor ruimte) op de schacht van een koelwaterpomp (foto credit: Pecten Aquatic)*

---

---

Pecten Aquatic  
Lentseveld 24, 6663 KM  
Lent, the Netherlands

[www.pectenaquatic.com](http://www.pectenaquatic.com)  
[info@pectenaquatic.com](mailto:info@pectenaquatic.com)

---

Copyright © Pecten Aquatic 2025. All rights reserved. This publication or parts thereof may not be copied, reproduced or transmitted in any form, or by any means, whether digitally or otherwise without the prior written consent of Pecten Aquatic. The content of this publication shall be kept confidential. Reference to part of this publication which may lead to misinterpretation is prohibited.

---



## Inhoudsopgave

SAMENVATTING.....	3	
1	INLEIDING.....	4
1.1	Biologische aangroei in doorstroom koelwatersystemen	4
1.2	Strategieën voor bestrijding biologische aangroei	7
1.3	Reikwijdte van dit rapport	8
1.4	Leeswijzer	8
1.5	Geraadpleegde bronnen	8
2	THERMOSHOCK METHODE .....	9
2.1	Oorsprong thermoshock methode in Nederland	10
2.2	Technische uitvoering van de thermoshock procedure	10
2.2.1	Beperkingen bij offshore koelwaterinlaat	10
2.3	Uitvoeringsperiode	11
2.4	Oorspronkelijke 'receptuur' en uitvoering thermoshock	11
2.5	Huidige 'receptuur' en uitvoering thermoshock	11
2.6	Lozing opgewarmd water na thermoshock-procedure	12
2.7	Beperkingen en risico's thermoshock	12
2.7.1	Impact op de installatie	12
2.7.2	Technische risicoaspecten	13
2.7.3	Biologische risicoaspecten	14
3	AANGROEIBESTRIJDING – MOGELIJKHEDEN EN GEVOLGEN VOOR NIEUWE KERNCENTRALES.....	15
3.1	BBT aangroeibestrijding doorstroom koelwatersysteem	15
3.2	Vergunningsaspecten	15
3.3	Mogelijkheid chlorering	16
3.4	Dosering van natriumhypochloriet	17
4	CONCLUSIES, AANBEVELINGEN EN VERVOLGSTAPPEN.....	18
4.1	Algemene conclusies en aanbevelingen	18
4.1.1	Aangroeibestrijding	18
4.1.2	Thermoshock	18
4.1.3	Preventieve aangroeibestrijding – chlorering	19
4.1.4	Vergunningverlening	20
4.2	Benodigde vervolgstudies na locatiekeuze	20
4.2.1	Voor Eems	20
4.2.2	Voor alle locaties	21
LITERATUUR .....	22	

## SAMENVATTING

- Effectieve bestrijding van biologische aangroei is van essentieel belang voor de bedrijfsvoering, het functioneren, de efficiëntie en veiligheid van doorstroom koelwatersystemen.
- Thermoshock is eind jaren '70 bij de EC-20 Eemscentrale getest als correctieve methode voor de bestrijding van mosselen, en vervolgens geïmplementeerd voor de nieuwe eenheden (EC 3 – 7). Sindsdien is thermoshock historisch gehandhaafd in het Eemsgebied: in alle jurisprudentie (vergunningen industriële installaties Eemsgebied) wordt voor de grootschalige onttrekkingen thermoshock als Best Beschikbare Techniek (BBT) verkozen boven chlorering.
- Oorspronkelijk bestond de biologische aangroei voornamelijk uit mosselen, alsook pokken. Tegenwoordig heeft de Japanse oester een dominante rol – deze soort wordt beduidend groter, hecht zich anders en heeft hogere tolerantie voor temperatuur. Om de Japanse oester thermisch effectief te bestrijden is een hogere temperatuur nodig en moet de procedure frequenter worden uitgevoerd.
- Er is niet per se een harde eis dat het doseren van chloorbleekloog niet mag. Voor chlorering is uitvoering conform Ecodosing (voorheen Pulse-Chlorination) BBT (zie BREF 2001).
- Internationaal is doorstroom koelwatersystemen van kerncentrales (alternerende) gepulseerde chlorering BBT. Thermische behandeling in principe mogelijk, maar met nodige behorende consequenties voor het ontwerp, de bouw, de bedrijfsvoering, operationele risico's en veiligheid, alsook de onzekerheid voor toekomstige situatie met warmer oppervlaktewater en nieuwe aangroei-soorten. De noodkoelsystemen zullen (naar verwachting) nog steeds gechloreerd moeten worden vanwege de veiligheidsvereisten – een altijd beschikbaar schoon noodkoelwatersysteem.
- In de huidige (alsook voor de toekomstige) situatie valt beargumenteren dat puls alternerende chlorering (Ecodosing, voorheen Pulse-Chlorination) BBT is voor doorstroom koelwatersysteem van een kerncentrale.
- Voor alle locaties gelden dezelfde vereisten conform de vigerende milieuwetgeving, maar bij de Eems kan verwacht worden dat er een hogere bewijslast nodig is voor de vergunning van chloordosering, doordat in de historische jurisprudentie een andere BBT wordt genoemd.
- Het verdient brede discussie tussen betrokken partijen en waar nodig onderzoek, of onder de huidige omstandigheden en met verwachte toekomstige ontwikkeling van toenemende achtergrond-temperaturen en de aanwezigheid van specifieke biofouling soorten, en de huidige snelheid van ontwikkeling van biologische aangroei, en vanwege de bijbehorende economische consequenties en operationele risico's voor een installatie, thermoshock nog als BBT beschouwd kan worden.
- Vanwege de schaalgrootte van de koelwateronttrekking en -lozing van de nieuwe kerncentrale, zal door onderzoek tot een afweging gekomen moeten worden van de milieueffecten, veroorzaakt door chloordosering enerzijds en thermoshock anderzijds. Daarvoor zijn in de planuitwerkingsfase voor de gekozen locatie gedetailleerdere milieustudies en doorberekeningen van het koelwaterontwerp nodig.
- Omdat de als BBT geschikt geachte en bewezen methode die wordt gekozen, al in een vroeg stadium in de vergunningaanvraag en het ontwerp van het koelwatersysteem moet worden meegenomen, is het tijdig verkrijgen van inzichten in de toepassing en effecten belangrijk.

## 1 INLEIDING

### 1.1 Biologische aangroei in doorstroom koelwatersystemen

Biofouling gemeenschappen die zich vestigen in doorstroom koelwatersystemen bestaan uit een breed scala aan sessiele soorten van verschillende taxa: mosselen, oesters, hydroïden, kalkkokerwormen en bryozoa (tabel 1) (Jenner et al., 1998; Jenner et al., 1999). Aangroei-organismen, en vooral mosselen, oesters en hydroïden, maar ook zeepokken kunnen fysiek grote populaties vormen. De geografische locatie en lokale biologie bepalen welke soorten er aanwezig zijn, terwijl de relevante soorten die deel uitmaken van de biofouling-gemeenschap wordt beïnvloed door de omstandigheden in het koelwatersysteem (Bruijs en Jenner 2012). Het gaat hierbij dan om hydraulische condities (zoals stroomsnelheden, turbulentie), de temperatuur, verblijfsduur, invloed seizoenen, maar ook concurrentie tussen soorten. In principe kunnen alle relevante soorten een niche-habitat vinden binnen een koelwatersysteem, en is er in de regel ook een specifiek aangroeipatroon waarneembaar waarbij verschillende soorten met elkaar concurreren om ruimte.



Figuur 1. Soortenrijkdom biologische aangroei: links op equipment in een koelwaterinlaat (links) en rechts pokken, kalkkokerworm oesters en bryozoa op een monitoringsplaat (rechts) (foto credits: Pecten Aquatic).

Tabel 1. Overzicht van de meest relevante aangroeisoorten (macrofouling) aan de Nederlandse kust.

Organismen	Soorten
Zeewatermosselen	<i>Mytilus edulis</i> (Gewone zeemossel) <i>Mytilus galloprovincialis</i> (Mediterrane zeemossel)
Oesters	<i>Crassostrea gigas</i> (Japanse oester) <i>Crassostrea angulata</i> (Portugese oester)
Pokken	<i>Balanus crenatus</i> (Gekartelde zeepok) <i>Balanus glandula</i> (Pacifische zeepok) <i>Elminius modestus</i> (Nieuw-Zeelandse zeepok) <i>Semibalanus balanoides</i> (Gewone zeepok) <i>Amphibalanus improvisus</i> (Brakwaterpok)
Hydroïden	<i>Tubularia</i> (in zeewater) <i>Cordylophora caspia</i> (in brak water/estuaria)

De larven van biofouling-organismen vinden gemakkelijk beschikbare substraten voor kolonisatie nadat deze in grote aantallen passief met het koelwater in het koelwatersysteem binnenkomen. Hechting vindt plaats op alle typen oppervlakken (e.g. beton, metaal, HDPE, rubber en GRP-oppervlakken). Vooral waar sprake is van turbulentie en wisselend lage stroomsnelheden, zoals in bochten, bij dilatatievoegen, mangaten en bochten, vind beduidende aanhechting plaats.



Figuur 2. Afzetting van biologische aangroei wordt beïnvloed door factoren als turbulentie en stroomsnelheid: links afzetting in een dilatatievoeg, en rechts aangroei patroon in een leidingdeel (foto credits: Pecten Aquatic).

Gevolgen in de bedrijfsvoering van biologische aangroei zijn onder andere (blijvende) verruwing van de oppervlakken en versmalling diameter van leidingen (hydraulische impact), versnelde corrosie onder de aangroei laag, fysieke blokkade van equipment (koelers en componenten van het sponsballen systeem, sensors, etc), downtime van kritische componenten (platenkoelers, hulpkoelers, etc) voor handmatige reiniging, beperkte mogelijkheid voor inspecties, etc. De gevolgen moeten worden ondervangen door een effectieve waterbehandeling, alsook preventief en (indien nodig) correctief onderhoud.

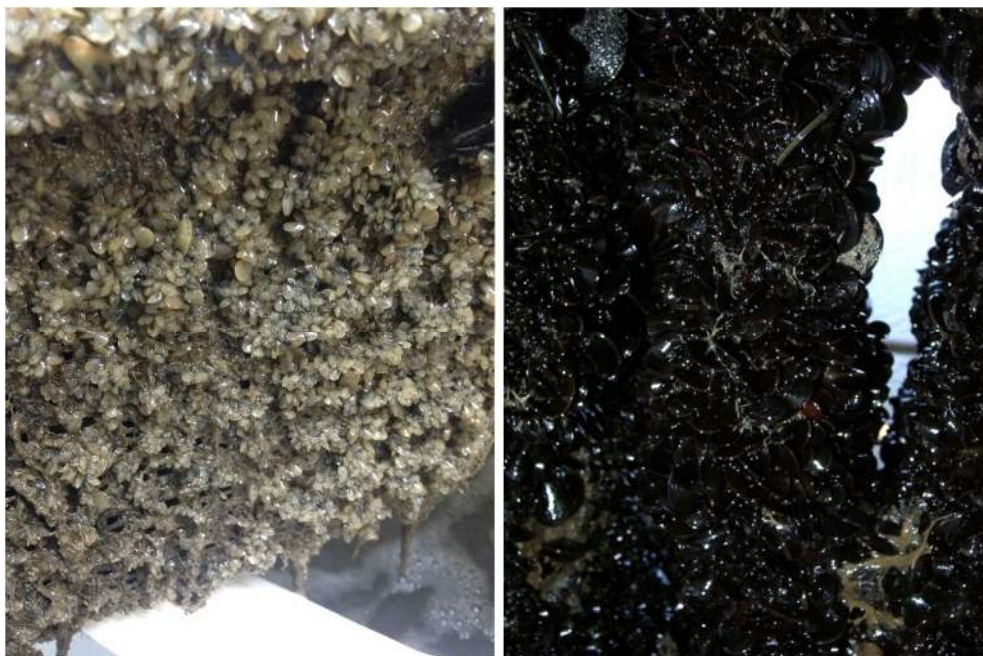


Figuur 1. Voorbeelden van biologische aangroei in een doorstroom koelwatersystemen: links, hydroïden op een condensor pijlplaat met ingevangen sponsrubberballen; rechts, aangroei in een koelwaterleiding en vlinderklep (foto credits: H.A. Jenner).

Als de afzetting en groei van macrofouling in offshore leidingdelen niet effectief wordt bestreden, leidt dit tot beperking van de doorstroming door een verhoogde weerstand als gevolg van toename wandruwheid en kleinere diameter (Polman et al., 2012). Tevens heerst risico dat als de biologische aangroei massaal loslaat, grofroosters en fijnzeven (plotseling) geblokkeerd kunnen raken. Het drukverlies als gevolg hiervan leidt onder andere tot lagere stroomsnelheden met als ultiem gevolg een beperkte afvoer van warmte in de condensor (hoger vacuüm) of door te laag waterniveau in het pompbassin een plotselinge trip van de koelwaterpompen (directe uitval).



Figuur 3. Aangroei van de Japanse oester: links op betonnen wand van een koelwaterkanaal; rechts op stalen schacht van een koelwaterpomp (foto credits: Pecten Aquatic).



Figuur 4. Detail van 'mosselbroed' (links) en juveniele mosselen (rechts) (foto credits: Pecten Aquatic).

## 1.2 Strategieën voor bestrijding biologische aangroei

Biologische aangroei kan in de eerste plaats worden beperkt door een adequaat ontwerp van het koelwatersysteem (Bruijs et al 2012), maar is desondanks een continu proces dat onder controle moet worden gehouden door een gerichte waterbehandeling. Een efficiënte bestrijding van alle betreffende soorten is van belang voor de bedrijfsvoering, het onderhoud en de veiligheid van de gehele installatie. De aanhechting van grote aantallen larven, gevolgd door toename in omvang (groei) van de afgezette populatie, is een relatief snel proces (dagen tot enkele weken) en kent afhankelijk van de lokale condities en aanwezigheid van soorten, een biologische successie (Jenner et al 1998) gedurende de seizoenen. De toegepaste bestrijdingsmethode moet hierop worden afgestemd en ingericht volgens een adequate strategie, waarbij de aangroei efficiënt wordt bestreden en de in de vergunning gespecificeerde criteria niet worden overschreden. Een gerichte monitoring van de efficiëntie van de toegepaste methode is daarbij een operationele vereiste.

Omdat de organismen zich als kleine larven door het gehele systeem verspreiden met de koelwaterflow, en op alle oppervlakken in een koelwaterinlaat- en distributiesysteem kunnen hechten en groeien (mits de condities het toelaten), moet de bestrijdingsmethode in staat zijn alle oppervlakken te bereiken.

Voor de bestrijding van de biologische aangroei in doorstroom koelwatersystemen kunnen in principe twee strategieën worden gevolgd:

1. Proactief (preventief) – door de primaire hechting van larven te voorkomen/beperken
2. Reactief (correctief) – door ad hoc mitigatie van de aanwezige macrofouling gemeenschap, nadat deze zich heeft gehecht en ontwikkeld (groei).

Voor de bedrijfsvoering is het belang om een op de locatie afgestemde strategie te implementeren, rekening houdend met de soorten organismen die op de locatie verwacht worden. De mogelijkheden bestaan uit zowel fysische als chemische opties. De chemische methoden zijn in de regel preventief, terwijl de fysische methoden per definitie reactief zijn. De keuze voor een methode moet worden gemaakt tijdens de primaire ontwikkeling van een installatie (in de vergunningaanvraag- en ontwerpfase), zodat de benodigde voorzieningen optimaal in het ontwerp worden geïmplementeerd, en tijdens de bouw kunnen worden aangelegd.

Naast de biologische en technische aspecten, zijn ook de vereisten voor het onttrekking- en lozingsgebied (i.e. vigerende milieuregelgeving en bescherming van soorten in het ecosysteem) van belang bij de keuze én uitvoering van de bestrijdingsmethode. Belangrijke aspecten voor de haalbaarheid van een methode zijn onder andere:

- Is het een proactieve (preventief) of reactieve methode?
- Heeft de optie een bewezen track-record (proven technology) binnen de branche?
- Kan de methode milieutechnisch vergund worden?
- Is het compatibel met het design en bedrijfsvoering van het koelwatersysteem en de aard en veiligheidsaspecten van de installatie?
- Zijn er specifieke civiele/structurele aanpassingen nodig?
- Zijn de bijbehorende kosten voor implementatie en O&M acceptabel?

Indien tijdens de commerciële bedrijfsperiode van een installatie een aanpassing van de bestrijdingsmethode aan de orde is, zal moeten worden onderzocht of het alternatief voldoet aan de gestelde vereisten (efficiëntie), het ontwerp, de bedrijfsvoering en milieuregelgeving.



### **1.3 Reikwijdte van dit rapport**

Dit rapport geeft achtergrondinformatie over de toepassing van thermoshock in doorstroom koelwatersystemen, en beperkt zich tot aangroebestrijding in het marine milieu. De toepassing van thermoshock voor zeewater doorstroom koelwatersystemen wordt in Nederland alleen in het Eemsgebied toegepast. Op overige locaties aan de kust is chlorering de standaardmethode, mits uitgevoerd volgens BBT. Thermoshock heeft specifieke bouwtechnische, operationele en economische nadelen die mogelijk van doorslaggevende invloed zijn op de geschiktheid van een locatie voor een kerncentrale.

De in dit rapport beschreven achtergronden en inzichten over de toepassing van thermoshock en chlorering dienen ook als startpunt voor verder overleg met bevoegd gezag en andere betrokkenen bij de vergunningverlening om te onderzoeken welke methodes nader kunnen worden uitgewerkt in milieueffectstudies op locatieniveau in de planuitwerkingsfase.

Er wordt in dit rapport geen volledig overzicht gegeven van alle mogelijke alternatieve methodes om aangroei te bestrijden in doorstroom koelwatersystemen, noch wordt een vergelijking gemaakt tussen methodes. Nader onderzoek moet inzicht geven welke methodes toepasbaar zijn op de gekozen locatie. In de planuitwerkingsfase volgt een nadere locatiespecifieke detaillering en technisch-economische doorberekening van geschikte methodes, inclusief impact ontvangende milieu en toetsing van de vereisten en mogelijkheden voor vergunning. Alle relevante (civiele) ontwerpcriteria, operationele en milieu impacts en vergunningstechnische aspecten dienen in volledigheid te worden uitgewerkt door uitvoering van multidisciplinaire evaluatiestudie(s).

### **1.4 Leeswijzer**

Dit rapport geeft de algemene achtergronden en implicaties van de toepassing van thermoshock ter bestrijding van biologische aangroei en korte toelichting op chlorering.

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de oorsprong van de thermoshock methode in Nederland (Eemsgebied) en de toepassing in de huidige situatie, en de implicaties voor een nieuwe installatie.

In hoofdstuk 3 wordt op hoofdlijnen ingegaan de achtergronden de best mogelijke strategie (Best Beschikbare Techniek, BBT) voor aangroebestrijding in het doorstroom koelwatersysteem van een kerncentrale.

Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van conclusies, aanbevelingen en vervolgstappen voor de planuitwerkingsfase.

### **1.5 Geraadpleegde bronnen**

Voor dit rapport zijn bronnen geraadpleegd uit de openbare wetenschappelijke literatuur en ook 'grijze' niet-openbare rapportages.

Alle foto's in dit rapport betreffen voorbeelden van installaties aan de Nederlandse kust.

## 2 THERMOSHOCK METHODE

Thermische behandeling, 'thermoshock' genoemd, is een bekende en algemeen geaccepteerde, maar relatief weinig toegepaste methode om aangroei te bestrijden (Jenner 1983; Jenner et al 1998; Elliot & Wither 2024). De uitvoering van thermische behandeling vereist een specifiek ontwerp van de koelwaterinlaat en het leidingsysteem, dat al in het vroegste stadium van planning en technische ontwikkeling van een installatie moet worden geïmplementeerd.

Thermische behandeling is een fysische methode, en wordt uitgevoerd als 'correctieve', of 'reactieve' methode om aangroei die zich heeft gehecht in het systeem, af te doden. Mits goed uitgevoerd, kan deze methode in principe de toepassing van biociden volledig vervangen in het hoofdkoelwatersysteem. Door beperkingen van voldoende doorstroming en verdeling over leidingroutes, is de methode niet geschikt (of beperkt efficiënt) voor neven- en tussenkoelwatersystemen.

In het principe van thermoshock wordt aangroei afgedood nádat deze zich permanent in het koelwatersysteem gehecht heeft, wat betekent dat afzetting en groei tot op zekere hoogte wordt toegelaten. Vrijzwevende larven die zich tijdens de procedure in het recirculerende koelwater aanwezig zijn worden door de behandeling eveneens afgedood. De cruciale factor hier is dat het materiaal (schelpen) dat loskomt van de wanden nog steeds klein genoeg zijn (~1 cm) om door de buizen van de condensor te passeren. Echter, sommige soorten worden snel groot, en de tijdens de thermoshock (massaal) afgestorven en losgelaten organismen en schelpen kunnen de pijpplaten in de condensors blokkeren, of door schurende werking de binnenzijde van de condensorbuizen beschadigen (erosie-corrosie). Deze moeten daarom worden afgevangen door een zelfreinigend debrisfilter (ook wel mosselfilter genoemd). Deze filters worden direct in elk van de aanvoerleidingen naar de condensor geïnstalleerd. Deze zeven spoelen op tijd en op drukverschil, waarbij het spoelwater met het afgevangen materiaal achter de condensors weer aan het uitlaatwater wordt toegevoegd.



Figuur 5. Zelfreinigende debrisfilters ('mosselzeven') die als een flens in een koelwaterleiding wordt ingebouwd (foto credit: links H.A. Jenner; rechts M. Holierhoek).

## 2.1 Oorsprong thermoshock methode in Nederland

De thermoshock is eind jaren 70 / begin jaren 80 in Nederland ontwikkeld door een reeks onderzoeken in de praktijk door de KEMA bij de voormalige eenheid EC-2 van destijds Energiebedrijf Groningen en Drenthe (EGD)) (pers. comm. H.A. Jenner 2025; Jenner, 1982; Jenner et al., 1998). Aanleiding was de ervaring met toepassing van thermoshock in het buitenland (Verenigde Staten, Wales en Italië) en de wens om ook in Nederland het potentieel van deze methode te onderzoeken als alternatief voor dosering van chloorbleekloog. Het ging daarbij primair om de bestrijding van aangroei door mosselen, destijds de meest relevante soort. Het testen bij de Eemscentrale was mogelijk doordat deze centrale een retourleiding had naar de inlaat voor (gedeeltelijke) recirculatie, primair ontworpen voor het ijsvrij houden van het inlaatwerk gedurende strenge wintercondities. De testresultaten waren positief: op een aantal technische aspecten na werd een effectieve bestrijding van mosselen vastgesteld, en bleek uit gelijktijdig onderzoek door het RIZA, dat er geen effect was op uitgezette schelpdieren in het ontvangende milieu. De methode is vervolgens door de toenmalige installatie-eigenaar EPON verkozen boven chlorering voor de nieuwe STEG-units aan de Eems (EC 3-7). Sindsdien is deze methode blijvend gehandhaafd als 'Bewezen Techniek' voor het Eemsgebied. In de 'jurisprudentie' van de huidige vergunningen van de industriële installaties in het Eemsgebied, wordt voor (in ieder geval) de grootschalige koelwatersystemen vanwege milieutechnische aspecten 'de voorkeur uitgesproken voor thermoshock boven de toepassing van chloordosering' (zie ook § 3.2).

## 2.2 Technische uitvoering van de thermoshock procedure

Thermoshock wordt in de wereld slechts beperkt toegepast, omdat een koelwatersysteem er specifiek voor moet zijn ontworpen –alle kritische componenten en oppervlakken moeten worden blootgesteld aan de effectieve behandeltemperatuur gedurende de voorgeschreven behandeltime.

Het opgewarmde water wordt tijdens de thermoshock teruggeleid naar de inlaat, zodat het eerste deel van het koelwatertracé, inclusief de koelwaterzeven, tot aan de condensor wordt behandeld. Dit kan door een separate retourleiding die aansluit op het afvoerkanaal, of door kortsluiting van de flow via een header direct na de condensor. De procedure vergt een nauwgezet protocol, met sequentiële uitvoering en controle van openen en sluiten van strategische regelkleppen (vlinderkleppen en stoplogs). Tijdens de circulatie neemt bij elke passage van de condensor de warmte van het koelwater verder toe. Soms wordt gedurende de procedure de koelwaterflow tijdelijk beperkt, mits de koelwaterpompen dit mogelijk maken. De thermoshock heeft impact op de koeling en daarmee gevolgen voor het condensorvacuüm en de turbine-uitlaatdruk – de productie (MWe) zal hierdoor gecontroleerd beperkt moeten worden.

### 2.2.1 Beperkingen bij offshore koelwaterinlaat

Als er een offshore inlaatwerk is, is het niet mogelijk een retourleiding naar de offshore inlaatopening aan te leggen en het opgewarmde water daar op een correcte wijze door de offshore leiding te leiden. In die gevallen zal de retourleiding ook naar de onshore inlaatput worden geleid, dusdanig dat het grofrooster en fijnzeven effectief worden behandeld. Het gevolg is dat de offshore leiding onbehandeld blijft. In het ontwerp moet daar rekening mee worden gehouden. Dit kan bijvoorbeeld door voldoende redundancy in diameter van de leiding aan te houden: een beperking van de diameter bij toename van de laag biologische aangroei geen impact heeft op de flow, maar kan wel leiden tot mogelijk excessieve hoeveelheden dode schelpen die met de koelwaterflow naar de onshore inlaat getransporteerd worden als deze massaal afsterven. Er moet worden uitgegaan dat de offshore leiding manueel moet worden gereinigd (waarschijnlijk jaarlijks), waarvoor een volledige stop van de installatie noodzakelijk is. Een andere optie is om de diameter van de koelwaterleiding dusdanig te dimensioneren dat de stroomsnelheid te hoog is voor aanhechting van de larven, >3 m/s. Dit heeft echter ook consequenties voor het waterniveau in de onshore delen, en werking operationele venster van de koelwaterpompen.

## 2.3 Uitvoeringsperiode

Bij elektriciteitscentrales aan de kust werd de thermische procedure oorspronkelijk 3 – 5 per jaar uitgevoerd, het schema was afgestemd op de biologie van mosselen en enkele andere relevante soorten. Het gaat om aspecten als voortplanting, aanwezigheid van vrijlevende larven en de periode dat deze zich gaan hechten aan hard substraat, alsook de successie soorten en groei en toename omvang van zowel individuen als de sessiele populatie. Deze aspecten zijn in bepalende mate gerelateerd aan de dynamiek van de zeewatertemperatuur en voedselbeschikbaarheid.

De oorspronkelijke natuurlijke situatie en biologische dynamiek gedurende de 'biologische actieve seizoenen' waarop de planning en uitvoering van de achtereenvolgende thermoshocks was afgestemd, is veranderd. Sindsdien is de dynamiek van de condities in het zeewater onvoorspelbaarder, is het vaker eerder in het jaar al warmer, is het langer warm en is ook de aanwezigheid van nieuwe aangroesoorten en het aanbod verandert. Voor een hogere zekerheid moet de procedure frequent, zeker maandelijks worden uitgevoerd gedurende de relevante periode.

## 2.4 Oorspronkelijke 'receptuur' en uitvoering thermoshock

De behandelingstemperatuur en -tijd moeten worden afgestemd op het type organisme. Oorspronkelijk was de methode geschikt om de aangroei van mosselen te bestrijden, alsook pokken, wat lange tijd de voornaamste soorten waren. Onder de toenmalige zeewater condities werd de 'thermische bestrijding' in het algemeen 3 – 4 keer per jaar uitgevoerd, waarbij het koelwater tijdens de procedure tot 40°C werd opgewarmd gedurende 1 uur. De procedure wordt in de regel ingezet in de periode dat de temperatuur van het zeewater >10°C ligt, en er sprake is van 'biologische activiteit: voortplanting en groei'.

De milieuomstandigheden zijn sindsdien verandert: dynamiek temperatuurregime in het oppervlaktewater, de voortplantingsperioden van relevante soorten en de dominantie van de Japanse oester (*Crassostrea gigas*) in de biofouling gemeenschap speelt een bepalende rol (Jenner et al., 1998). De Japanse oester is een invasieve exoot, en de biologie van deze soort, inclusief de hogere tolerantie voor hogere temperaturen (Rajagopal et al., 2005), heeft de situatie en de vereisten voor de thermoshock volledig verandert: de soort is thermisch lastig te bestrijden vanwege dikte van de schelp, daardoor duurt het langer om het organisme in zijn geheel voldoende op te warmen, en daarvoor is een hogere temperatuur van het koelwater nodig gedurende een voldoende lange periode (behandeltijd).

## 2.5 Huidige 'receptuur' en uitvoering thermoshock

Voor de thermoshockprocedure in het Eemsgebied geldt de Japanse oester als de primaire referentie, en de optimale behandeling is in 2003 door de KEMA (pers. comm. H.A. Jenner 2025) vastgesteld. Ook voor overige bestrijdingsmethoden is de effectiviteit voor deze soort onderzocht, aangezien deze langs de gehele Nederlandse kust voorkomt. Een wezenlijk verschil met mosselen, is dat oesters zich niet zoals mosselen vastzetten met byssusdraden, maar zich vast cementeren op de (betonnen) ondergrond. Van de Japanse oesters blijft na de thermoshock procedure de onderste schelp daardoor blijvend vastzitten aan het oppervlak.

De achtergebleven schelpresten aan de wand vormen een prima substraat voor de hechting van nieuw aanbod van larven van pokken, mosselen en oesters. De gecementeerde oesterschelpen kunnen alleen mechanisch (handmatig lossteken of met een hogedrukreiniging) worden losgemaakt van het oppervlak. Het is dus van belang om de jonge oesters te bestrijden, wanneer deze zich nog niet permanent hebben vastgezet en nog heel klein zijn, om een blijvende verruwing van de wand én kostbare, langdurige downtime om het koelwatersysteem te draineren voor mechanische wandreiniging, te voorkomen.

Thermische behandeling van de Japanse oester vereist een temperatuur van minimaal 45°C. Deze 'behandeltemperatuur', is afgestemd op volwassen exemplaren, die een dikke schelp hebben waardoor het langer duurt (Rajagopal et al., 2005). De temperatuur wordt gedurende een voldoende lange periode van tenminste 2 uur gehandhaafd, om het elimineren van bestaande aangroei te garanderen. Deze behandeltime is exclusief de tijd die nodig is voor opbouw (en afname) van de temperatuur.

In de praktijk liggen de temperaturen tijdens een thermoshock in het hoofdkoelwatersysteem tussen de 45 en 48°C (gemeten in de condensor inlaat als referentielocatie). De opwarmingsnelheid (°C/min) is een factor die invloed heeft op de effectiviteit van de behandeling. Deze opwarmingsnelheid is afhankelijk van de koelwaterflow en totale volume in het deel van het koelwatersysteem dat opgewarmd moet worden. Hoe groter het volume (lengte/diameter leidingsysteem), hoe meer energie nodig is en hoe meer tijd het kost. De totale periode (vanaf opwarming tot afbouw temperatuur), is in de regel tenminste 6 uur bij bestaande installaties (welke kleiner zijn in vergelijking tot het systeem voor kerncentrales).

## 2.6 Lozing opgewarmd water na thermoshock-procedure

De maximale temperatuur bij de lozing van het gerecirculeerde koelwater tijdens einde procedure van een thermoshock ligt hoger dan de reguliere warmtelozing. De uitloop van het opgewarmde water kan een uur in beslag nemen. Door de fysieke eigenschappen van het opgewarmde water zal dit gaan 'drijven' op het koelere ontvangende water. Het is belangrijk de procedure zodanig te plannen, dat deze lozing tijdens hoogtij plaatsvindt om zodoende contact met de bodem te voorkomen.

Bij de huidige installaties waar thermoshock wordt toegepast, zijn meerdere eenheden gelijktijdig in bedrijf, waarbij telkens op 1 eenheid de thermoshock wordt uitgevoerd. Het opgewarmde koelwater van de thermoshock (met hogere temperatuur in een relatief klein volume) wordt bij de lozing na de procedure 'verdund' met de overige 'koelere' lozingen de overige eenheden. Hierdoor blijft de warmtevracht in principe gelijk aan de situatie met normale bedrijfsvoering en worden de lozingscriteria niet overschreden. Indien er 1 grote eenheid in bedrijf is een dergelijk 'thermische verdunning' niet mogelijk, en ligt de warmtevracht tijdelijk hoger, met mogelijke overschrijding van de lozingscriteria.

## 2.7 Beperkingen en risico's thermoshock

### 2.7.1 Impact op de installatie

De belangrijkste nadelen zijn gerelateerd aan het principe van de thermoshock methode als correctieve maatregel: thermoshock wordt periodiek uitgevoerd, waarbij aanhechting en groei van biofouling in de tussenperiode volledige wordt toegelaten. Met name (ongeacht de reden) indien de minimaal vereiste behandeltemperatuur en -periode niet wordt behaald, wordt de aangroei slechts gedeeltelijk bestreden en heeft deze langere tijd zich weer verder te ontwikkelen (groeien). Sommige soorten zijn moeilijk te bestrijden met temperatuur, zoals hydroïden en oesters, vooral voor de bestrijding van deze soorten is een gepland (niet uitstellen) en volledige juiste uitvoering van de procedure van kritisch belang.

De uitvoering van een thermoshock heeft (tijdelijk) invloed op de efficiëntie van de installatie vanwege de beperkingen op de condensor (hoger vacuüm) tijdens de procedure (opwarmingstijd en behandeltime). Hoe groter het volume water en lengte van het op te warmen systeem, hoe meer energie is vereist voor de opwarming en hoe langer het duurt. Verder vereist het uitvoeren van de recirculatie een adequate en veilige bediening van kleppen/stop logs om de procedure veilig en efficiënt uit te voeren.

## 2.7.2 Technische risicoaspecten

De uitvoering is afhankelijk van beschikbare warmte uit de productie (commerciële bedrijfsvoering en leveringsverplichting MWe) en tijd (moment dat de thermoshock nodig is). De mogelijkheid om een thermoshock uit te voeren kan dus door (externe) factoren zoals dynamische marktwerking en (on)geplande stops van de installatie beperkt zijn, juist wanneer de procedure nodig is.

De procedure voor het uitvoeren van de recirculatie bestaat uit het in sequentie openen en sluiten van strategische geplaatste kleppen en stoplogs. Dit vergt een nauwgezette, correct uitgevoerde coördinatie en adequate en veilige bediening (manueel of geautomatiseerd). Technische voorwaarden zijn onder andere toepassing van corrosie-bestendige materialen (onder hogere temperaturen), extra alertheid operators tijdens de noodzakelijke tijdelijke inactivatie van beveiligings-functies gedurende de procedure, het constant houden van de hydraulische balans binnen het systeem (juiste coördinatie en positie vlinderkleppen en afdichtingsschuiven, rotorbladen koelwaterpomp, etc).

Tijdens en in de periode na de procedure moet het drukval over het debrisisfilter nauwkeurig worden gevolgd – als materiaal loslaat wordt dit afgevangen door dit filter, en als tijdens de procedure (en in de periode erna) het materiaal ineens massaal op het filter komt, kan dit direct de flow blokkeren als de zelfreiniging niet afdoende is.



Figuur 5. Zelfreinigende debrisisfilter ('mosselzeven') links vooraanzicht met vacuümsysteem om afgevangen materiaal te verwijderen en de vlinderklep om het filter te kunnen isoleren, rechts de achterzijde met aandrijfmechanisme (foto credits: M. Holierhoek).

De efficiëntie/succes van de thermoshock is afhankelijk van het goed kunnen afsluiten van het systeem (vlinderkleppen en afdichtingsschuiven (stoplogs)) – door aanwezige aangroei die wordt toegelaten, kan de situatie ontstaan dat deze afsluiters niet goed functioneren (e.g. harde schelpen die sponningen blokkeren) en er door kieren lekverliezen zijn met een beperkte opwarming als gevolg.

Bij een complex koelwatersysteem, en sowieso bij hulpkoelwatersystemen die aftakken van het hoofdkoelwatersysteem, is de distributie (als functie van de fysieke verdeling en doorstroming) van het koelwater over de verschillende routes, en dus van de effectieve warmte, niet altijd gelijk verdeeld. Het is typisch dat sommige installatiedelen daardoor slechts beperkt of niet helemaal behandeld worden.



### 2.7.3 Biologische risicoaspecten

De thermoshock heeft geen effect op biofilm in de condensor – het effect is beperkt tot een tijdelijke inactiviteit, maar geen verwijdering. Biofilm, en ook scaling, zal door toepassing van rubbersponsballen moeten worden bestreden (i.e. verwijderd).

Voor de bestrijding van hydroïden (apenhaar) is thermoshock niet effectief gebleken, en het is ook niet effectief voor bestrijding van biofilm, waarvoor in combinatie met de thermoshock sponsballen voor de condensor worden gedoseerd. Het effect van de thermoshock op sessiele hydroïden is beperkt, de overlevingsstadia groeien na de procedure weer snel door. Aanwezigheid van deze soort in de inlaatkast van condensoren kan de toepassing van rubbersponsballen sterk beïnvloeden.

De Japanse oester hecht zich aan het oppervlak door 1 schelpheft te cementeren. Nadat het dier is afgedood, blijft dit schelpdeel blijvend aan de wand achter, en is alleen manueel te verwijderen. Ook pokken hechten zich door cementatie.

## 3 AANGROEIBESTRIJDING – MOGELIJKHEDEN EN GEVOLGEN VOOR NIEUWE KERNCENTRALES

### 3.1 BBT aangroeibestrijding doorstroom koelwatersysteem

Een bekwaame, en gerichte waterbehandeling is noodzakelijk, en gericht op het behoud van een optimale efficiëntie van de installatie, waarmee wordt voldaan aan de BBT vereisten voor industriële koeling. De thermoshock methodiek wordt in de IED-richtlijn (voorheen IPPC-richtlijn, BREF Industriële Koeling (BREF, 2001) genoemd als methode ter vermindering van biocidegebruik. Voor alle methodieken geldt dat bijbehorend onderhoud en metingen van de effectiviteit van de toegepaste technieken het mogelijk moet maken adequaat te reageren op mogelijk veranderde omstandigheden.

In Elliot & Wither (2024), hoofdstuk Biofouling: 68 Heat Treatment (pagina 203) wordt aangegeven dat thermoshock gezien de benodigde behandeltemperatuur door de aanwezigheid van soorten als de Japanse oester, geen kosteneffectieve methode is, noch is te bestempelen als 'milieuvriendelijk'. Daarbij is door de voorziene opwarming van het watersysteem (klimaatverandering) thermoshock geen toekomstbestendige bestrijdingsmethode voor kerncentrales.

Thermoshock is als primaire methode voor de aangroeibestrijding in doorstroom koelwatersystemen (hoofdcoolwatersysteem) van kerncentrales niet per definitie als BBT te beschouwen. Dit is gerelateerd aan tenminste de volgende aspecten met betrekking tot thermoshock:

- Kosten ontwerp en bouw
- Complexiteit bouw
- Onzekerheid effectiviteit thermoshock – reactieve methode, aangroei wordt toegestaan
- Milieu-impact door tijdelijke lozing groot volume met hoge temperatuur ( $\geq 45^{\circ}\text{C}$ )
- Impact thermoshock op MWe en gevolgen voor werking condensor en koeling van de reactor
- Impact thermoshock op veiligheidsaspecten vanwege complexiteit technische procedure en uitvoering thermoshock

Het is voor de nieuwe kerncentrale te veronderstellen en te beargumenteren dat het BBT is om een preventieve bestrijding van de aangroei toe te passen. In geval van een kerncentrale is er een ander afwegingskader door de schaalgrootte, de vereisten voor veiligheid, en kosten voor de implementatie en uitvoering van BBT (proportionele kosten). Met name het veiligheidsaspect is kritisch en onderscheidend.

### 3.2 Vergunningsaspecten

Er is geen specifieke regelgeving, en geen specifieke wettelijke uitspraken die de uitvoering van een chloordosering in het Eemsgebied principieel en pertinent verbieden. Sinds de ontwikkeling en implementatie van thermoshock bij de 'Eemscentrale' EC-20 begin jaren '80, is voor grootschalige koelwatersystemen in het Eemsgebied historisch (en tot op heden), vanwege milieutechnische redenen de thermoshock als BBT 'verkozen' boven chloordosering. NB, tijdens de fase van inbedrijfstelling van de energiecentrales, wanneer wel zeewater werd verpompt, maar er nog géén warmte voor de thermoshock kon worden gegenereerd, werd chlorering tijdelijk toegestaan.

In de documenten behorende tot de vergunningen van de huidige operationele installaties in het Eemsgebied, wordt dit verwoord. De wettelijke kader(s) zijn tegenwoordig anders ingericht, maar de teksten geven een goed inhoudelijk inzicht.

In onder andere de volgende openbaar beschikbare documenten wordt ingegaan op het aspecten thermoshock en chlorering voor installaties die (grootschalige) koelwatersystemen toepassen aan het Eemsgebied.

- MinELI (2012) – Het Ministerie van Economische Zaken Landbouw en Innovatie, gaat in de bijlage van inhoudelijke overwegingen bij Nb-wet vergunning RWE kolencentrale Eemshaven (dd 21 juni 2012) in op de tijdelijke vergunning van chlorering (Pulse-Chlorination) tijdens de inbedrijfstelling van de centrale (zie sectie III-3.7 (pagina 67) Achteruitgang van de kwaliteit habitats als gevolg van lozingen). Hier wordt aangegeven dat: *"... op grond van onze eigen overwegingen ingevolge art. 19e Nb-wet 1998 het actief toevoegen van chemicaliën aan het oppervlaktewater ongewenst achten en andere methoden voor regulier onderhoud aan het koelwatersysteem de voorkeur hebben boven de toepassing van chloorbleekloog als aangroebestrijding in het koelwatersysteem zullen wij in de vergunning voorschriften opnemen dat door vergunninghouder wordt aangetoond dat toepassing van 'pulse chlorering' ondanks thermoshock voor regulier onderhoud aan het koelwatersysteem noodzakelijk is."*
- Wvo/Wwh-vergunning NUON Power projects 1 B.V. (Multifuel centrale) (dd 7 juli 2009). Paf 5.4.3 dat ingaat op de thermoshock, par. 6.1.2 dat ingaat op toetsing aan BREF Koeling, en 6.2.1 dat ingaat op de beoordeling van de koelwaterlozing (warmte).
- Rijkswaterstaat (2025) Beschikking (dd 2 oktober 2025) – Wijziging omgevingsvergunning onttrekkings- en lozingsactiviteiten EemsEnergy Terminal B.V. van 21 maart 2023. In het kader van de LNG-terminals (EemsEnergy Terminal, EET) ligt voor de watervergunning het besluit momenteel ter inzage (<https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2025-33875.html>). Op die drijvende Floating Storage and Regasification Units (FRSU) is dosering van chloor toegestaan (maar voor een in principe beperkte flow, en het betreft vooralsnog een tijdelijke installatie, met vergunningstechnisch een vooralsnog gedoogde situatie (lopende inspraakprocedure tot 12 november 2025). Voor de specifieke technische en operationele situatie van deze installatie is een specifieke doseerprocedure afgestemd, gebaseerd op de BBT-procedure.

In het vergunningsproces van nieuwe installaties met een grootschalige koelwateronttrekking en -lozing, is het gangbaar om specifieke voorschriften in de vergunning op te nemen voor alle nog nader te onderzoeken onderwerpen, nadat de beschikking is gegeven. Het betreft onderzoeken naar de werking en impact van maatregelen, die pas uitgevoerd kunnen worden als de activiteit daadwerkelijk operationeel is. Dit is voor insprekers een vaak voorkomend aangrijpingspunt voor inbreng van zienswijzen op een ontwerpbeschikking: *'dat het niet per se zeker is of de gekozen maatregel en uitvoering daarvan de adequate oplossingen blijkt, waarmee het mogelijk onzeker is of de installatie op betreffende punten zal voldoen aan de gestelde eisen volgens Best Beschikbare Technieken'*.

Het is daarom van groot belang in een zo vroeg mogelijk stadium helderheid te hebben over wat onder de huidige en toekomstige omstandigheden BBT is voor de bestrijding van biologische aangroei op de voorkeurslocatie. Het gezamenlijke vastgestelde BBT zal geaccepteerd (en vergund) moeten kunnen worden voor een nieuwe kerncentrale in het Eemsgebied.

### 3.3 Mogelijkheid chlorering

Voor bestrijding van macrofouling in doorstroom koelwatersystemen is dosering van natriumhypochloriet (NaOCl), of chloorbleekloog, wereldwijd de meest toegepaste methode (Jenner et al 1998). Ondanks de bewezen efficiëntie heeft chloor een negatieve publiciteit, voornamelijk als gevolg van de vorming van trihalomethanen (THM's) en andere chlorering-bijproducten (CBPs) (Jenner et al., 1996; Taylor, 2006). Om deze reden is oorspronkelijk ook de thermoshock getest, en vervolgens geïmplementeerd.

Dosering van natriumhypochloriet in doorstroom koelwatersystemen wordt traditioneel uitgevoerd volgens een continue of intermitterende dosering (Bruijs et al., 2017; Polman et al., 2011 en 2020). Door de KEMA is in het kader van onderzoek naar mogelijkheden om de impact van chloordosering en lozing vrij chloor en gevormde bijproducten te beperken, eind jaren negentig de doseerstrategie Pulse-Chlorination®, ontwikkeld (Polman & Jenner, 2002)). Deze methode wordt tegenwoordig onder de naam Ecodosing™ geïmplementeerd (Polman et al., 2020), en is aangemerkt als best beschikbare techniek (BBT) in binnen de koelvereisten van het industriële proces (BREF, 2001; Polman & Jenner, 2002). Chlorering is in Europa, en in Nederland, mits uitgevoerd volgens 'puls alternerende methodiek' een volledig geaccepteerde methode. Alle Nederlandse energiecentrales aan de kust die chlorering toepassen, voeren dat uit volgens deze methodiek.

### 3.4 Dosering van natriumhypochloriet

Natriumhypochloriet wordt over het algemeen in bulk gekocht of ter plaatse gegenereerd door middel van elektrolyse van zeewater (electrochlorination). De commerciële bulk hypochlorietoplossing (120–150 g/l) kan in principe direct worden gedoseerd, maar om de initiële opmenging met het zeewater te verbeteren wordt het meestal eerst verdund tot ongeveer 500–2000 mg/l Cl<sub>2</sub> totaal restchloor (TRC, of Total Residual Oxidant (TRO)). De lozing van vrij chloor (FRC, of Free Oxidant (FO)), gemeten aan het lozingspunt, maar meestal niet hoger zijn dan 0,2 mg/L vrij-Cl<sub>2</sub>.

Met specifiek ontwikkelde doseerstrategieën voor bestaande oxidatieve biociden, zoals Ecodosing, is een optimalisatie mogelijk waarbij zonder verlies van effectiviteit (en in de meeste gevallen wordt een hogere effectiviteit bereikt) de laagst mogelijke lozing van restchemie kan worden behaald. In vergelijking tot een continue dosering, kan met Ecodosing het verbruik tot 60% worden teruggedrongen.

Een juiste uitvoering van de dosering is van belang om biofouling effectief te bestrijden, en tegelijkertijd de lozing van restchemie te minimaliseren. Voor elk chemisch product (biocide) moet de effectieve toepassing daarom gebaseerd zijn op een adequate, betrouwbare real-time monitoring van de effectieve concentratie op een strategisch punt in het koelwatertracé (in de regel vlak voor de inlaatkast van de condensor) en de restchemie op het lozingspunt. Voor totaal en vrij chloor is de monitoring door middel van DPD-analyse 'proven technology' en voorgeschreven conform NEN-normen.

## 4 CONCLUSIES, AANBEVELINGEN EN VERVOLGSTAPPEN

### 4.1 Algemene conclusies en aanbevelingen

#### 4.1.1 Aangroeibestrijding

- Koelwatersystemen van elektriciteitscentrales, zijn ontworpen om de installatie 24/7 de vereiste koeling te waarborgen. Om voldoende watertoevoer te voorzien, moet de opvoerhoogte zoals geleverd wordt door de pompen, de drukverliezen door de zeefconfiguratie in de inlaat, overwinnen. In het ontwerp wordt hiervoor rekening gehouden met een redundancy in alle componenten.
- Biologische aangroei (biofouling) heeft indien deze niet wordt bestreden, een directe en significante impact op het functioneren, de efficiëntie en veiligheid van het koelwatersysteem.
- Ter verhoging van de algehele systeemefficiëntie moet conform de IED-richtlijn (voorheen IPPC) en BREF Industriële Koeling (BREF, 2001) 'een optimale waterbehandeling' toegepast worden ter voorkoming van biologische aangroei (zowel microfouling en macrofouling) en corrosie.
- De effectiviteit van de waterbehandeling dient volgens BREF (BREF, 2001) te worden geregistreerd. Ter verhoging van de systeemefficiëntie wordt verder gesproken over toepassing van mechanische reinigingstechnieken, zoals rubber sponsballen voor condensors en toepassing van debrissfilters ('mossfilters') ter voorkoming van verstoppingen van condensorpijpen.

#### 4.1.2 Thermoshock

- Historisch wordt voor installaties die grootschalig koelwater onttrekken en lozen in het Eemsgebied thermoshock als BBT gezien, en verkozen boven chlorering als primaire waterbehandeling ter bestrijding van biofouling.
- Thermoshock kan alleen uitgevoerd worden als het koelwatersysteem daar civieltechnisch en operationeel voor ontworpen is, en vereist extra leidingen om opgewarmd koelwater naar de inlaat te circuleren.
- Thermoshock is een correctieve methode, welke aangroei toelaat in het koelwatersysteem, en deze strategisch afdood als de biofouling gemeenschap zich heeft gevestigd, en in principe wanneer deze nog beperkt in omvang om het losgelaten materiaal (schelpen en resten) effectief te kunnen verwerken.
- Oorspronkelijk is thermoshock getest en toegepast voor de bestrijding van mosselkolonies die zich in het koelwatersysteem vestigen, met een behandeltemperatuur van 40°C, en 3 – 5 keer per jaar.
- Onder de huidige omstandigheden (en in de toekomst) moet rekening worden gehouden met een nieuwe situatie vanwege hogere variatie in zeewatertemperatuur en de dominantie aanwezigheid van de Japanse oester in de biofouling gemeenschap: de behandeltemperatuur moet minimaal 45°C zijn, en moet thermoshock procedure vaker worden uitgevoerd.
- De thermoshock moet voldoende vaak (frequent) worden uitgevoerd om te voorkomen dat te veel biologische aangroei tijdens een procedure massaal loslaat en filters en andere componenten blokkeert of beschadigt. De huidige condities vereisen een maandelijkse uitvoering.
- De uitvoering van de thermoshockprocedure kent risico's. Het is door marktwerking (verplichte levering MWe) vaak lastig te plannen – en er zijn overige economische overwegingen die de uitvoering in gevallen onmogelijk maakt wanneer het juist nodig is om de groei te beperken. Sommige soorten zijn moeilijk te bestrijden met temperatuur, zoals hydroïden en oesters, vooral voor de bestrijding van deze soorten is adequate, tijdige uitvoering van de procedure van belang.

- Indien er een offshore inlaat wordt toegepast, moet er rekening worden gehouden dat het offshore leidingdeel niet met thermoshock behandeld kan worden. Voor dat deel van het tracé zal een manuele reiniging nodig zijn (eventueel (deels) geautomatiseerd), waarvoor een algehele stop van de bedrijfsvoering noodzakelijk is.
- Bij uitvoering van de thermoshock is er een risicovolle procedure nodig om de koelwaterflow aan te passen, door openen en sluiten van kleppen tijdens volledige bedrijfsvoering. Indien de procedure niet adequaat volgens receptuur kan worden uitgevoerd, wordt de vereiste behandeltemperatuur gedurende de minimale behandeltime niet behaald.
- Bestaande installaties die thermoshock toepassen hebben 2 of meer units in bedrijf. Het tijdens de thermoshock opgewarmde koelwater kan tijdens de lozing worden 'verdund' met overige 'koelere' lozing(en). Bij een grootschalig koelwatersysteem van een kerncentrale met 1 unit is dat geen optie. De warmtevracht is dan tijdelijk hoger dan gedurende normale bedrijfsvoering, met een mogelijke overschrijding van de lozingscriteria (in de orde van grootte van enkele uren).
- Het verdient brede discussie tussen betrokken partijen, of onder de huidige omstandigheden en met toekomstige ontwikkeling van achtergrondtemperaturen en de aanwezigheid van specifieke biofouling soorten, en de huidige snelheid van ontwikkeling van biologische aangroei, vanwege de bijbehorende economische consequenties en operationele risico's, thermoshock nog als BBT beschouwd kan worden.

#### 4.1.3 Preventieve aangroebestrijding – chlorering

- Het is waarschijnlijk dat de veiligheidsvereisten van kerncentrales voorschrijven dat op het noodkoelwatersysteem sowieso chloordosering wordt toegepast, omdat dit essentiële systeem ten alle tijden beschikbaar moet zijn en de mogelijke impact door biologische aangroei volledig beperkt en onder controle moet zijn.
- In geval van een kerncentrale is er een ander afwegingskader, door de schaal van het koelwatersysteem, vereisten voor veiligheid, en kosten voor BBT (proportionele kosten). Met name het veiligheidsaspect is kritisch en onderscheidend. De mogelijkheid (en noodzaak) voor preventieve bestrijding van de aangroei in het hoofdkoelwatersysteem is een kritisch aspect.
- Het is voor de nieuwe kerncentrale te veronderstellen en te beargumenteren dat preventieve bestrijding van biologische aangroei BBT is. Dit is alleen mogelijk door chemische waterbehandeling, en voor grootschalige doorstroom koelwatersystemen is de meest gebruikelijke en kosteneffectieve techniek dosering van natriumhypochloriet (chlorering).
- Chlorering uitgevoerd volgens de gespecificeerde BBT-doseerstrategie 'pulse alternerende dosering' (commercieel bekend als Ecodosing, en voorheen Pulse-Chlorination) is BBT voor de bestrijding van biologische aangroei in doorstroom koelwatersystemen voor alle watertypen.
- Inzicht in de lozing van vrij chloor en de gevormde bijproducten en de verspreiding daarvan in een dynamisch marien/estuair milieu (deels vluchtig naar de atmosfeer en deels gemengd en verdund na afkoeling van de drijvende pluim in het watersysteem). Hierbij moet rekening worden gehouden met de natuurlijke aanwezigheid van deze stoffen in het oppervlaktewater en atmosfeer, in het belang van een juiste duiden en inschatting van potentiële effecten en het voldoen aan de lozingscriteria.

#### 4.1.4 Vergunningverlening

- Voor het Eemsgebied, zal er bij het bevoegd gezag en overige instanties betrokken bij de procedure van de vergunningverlening, vanuit historisch perspectief aarzeling en/of weerstand zijn tegen het vergunnen van de toepassing van een grootschalige chloordosering. Niet alleen de instanties die betrokken zijn bij de vergunningverlening in het Eemsgebied, maar ook via inspraak door belanghebbenden in de omgeving zal hier naar verwachting veel discussie over zijn.
- In het vergunningsproces van nieuwe installaties met een grootschalige koelwateronttrekking en -lozing, is het gangbaar om specifieke voorschriften in de vergunning op te nemen voor alle nog nader te onderzoeken onderwerpen, nadat de beschikking is gegeven. Het betreft onderzoeken naar de werking en impact van maatregelen, die pas uitgevoerd kunnen worden als de activiteit daadwerkelijk operationeel is. Dit is voor insprekers een vaak voorkomend aangrijpingspunt voor inbreng van zienswijzen op een ontwerpbesluit: *“dat het niet per se zeker is of de gekozen maatregel en uitvoering daarvan de adequate oplossingen blijkt, waarmee het mogelijk onzeker is of de installatie op betreffende punten zal voldoen aan de gestelde eisen volgens Best Beschikbare Technieken”*.
- Het is nodig om met het bevoegd gezag en andere relevante partijen die betrokken zijn bij de vergunningverlening, vast te stellen wat onder de huidige en toekomstige omstandigheden BBT is voor de bestrijding van aangroei in doorstroom koelwatersystemen in het Eemsgebied.
- Vanwege de veiligheidsaspecten en de kritieke rol van koelwater voor de kerncentrale, moet een afweging worden gemaakt tussen de toepassing van thermoshock en chlorering, op basis van aspecten als onder andere de efficiëntie van de toepassing, technische en economische impact op ontwerp, bouw, bedrijfsvoering, de milieu-impact door tijdelijke hogere temperatuur (lozing na de thermoshock) en lozing vrij chloor.
- Door toepassing van een gespecificeerde BBT-doseerstrategie (Ecodosing/Pulse-Chlorination), is toepassing van natriumhypochloriet voor doorstroom koelwatersystemen vergunbaar, onder gespecificeerde criteria voor het monitoren en de lozing van vrij chloor. Deze methode wordt toegepast door alle energiecentrales aan de Nederlandse kust en estuaria die chloor doseren.

## 4.2 Benodigde vervolgstudies na locatiekeuze

Als de locatie bekend is, kan voor het voorgenomen koelwatersysteem de potentieel geschikte methodes voor de bestrijding van biologische aangroei worden vastgesteld. Daarbij moeten de bijbehorende neveneffecten op zowel de installatie (efficiëntie, veiligheid, etc) als het milieu in kaart worden gebracht en inzichtelijk gemaakt.

Vanwege de grootschaligheid van de koelwateronttrekking en lozing van de nieuwe kerncentrale, zal door onderzoek tot een afweging moeten worden gekomen van de milieueffecten, veroorzaakt door chloordosering enerzijds en thermoshock anderzijds. In afwezigheid van een operationeel koelwatersysteem, zullen in de planuitwerkingsfase de benodigde kennis en inzichten moeten worden bijeengebracht door een combinatie van deskstudie en modelering.

### 4.2.1 Voor Eems

- Inzicht in de dynamiek van de lozing van het opgewarmde water na thermoshock – check of het warme water gaat drijven en daadwerkelijk de bodem niet raakt, en welke temperatuur worden bereikt (via modelering)

#### 4.2.2 Voor alle locaties

- Studie naar de toepassing van alternatieve methodes en hun mogelijkheden voor effectieve aangroeibestrijding in grootschalige doorstroom koelwatersystemen (via desk-studie)
  - Doel is het samenvatten van de onderbouwing van de uiteindelijke keuze
- Update kennis vorming en lozing van chloreringsbijproducten (CBPs) in zeewater, inclusief overzicht van gegevens voor verdere modelering (via desk-studie)
  - Doel is het beschikbaar hebben van de meest recente informatie voor het adequaat uitvoeren van effectstudie(s)
- Inzicht in verbruik chloor bij uitvoering volgens het BBT-principe van Ecodosing/Pulse-Chlorination wordt toegepast (via berekening)
  - Doel is het inzichtelijk hebben van de operationele consequenties van chlorering op een locatie wanneer uitgevoerd conform BBT-principes en vereisten
- Inzicht in verspreiding en 'fate' (vervluchtiging en opmenging/verdunding) van vrij chloor en CBPs in de koelwaterpluim, in de dynamiek van het betreffende watersysteem (via modelering)
  - Doel is het inzichtelijk maken van de lozing en evaluatie aan de hand van de vigerende criteria ten behoeve van de effectstudie(s) (e.g. ABM-toets, immissietoets (RWS, 2019), toetsing aan standstillbeginsel).



## LITERATUUR

BREF, 2001. Reference document on the application of Best Available Techniques to industrial cooling systems. December 2001 (IED BREF-ICS, 2001. Reference document on the application of Best Available Techniques to industrial cooling systems. 2001).

Bruijns M. C. M. & Jenner H. A. 2012. Cooling water system design in relation to fouling pressure. In: Operational and Environmental Consequences of Large Industrial Cooling Water Systems. Rajagopal S., Jenner H.A. & Venugopalan V.P. (Eds). ISBN 9781461416975. Springer New York, NY. 2012.

Bruijns M.C.M. 2015. Cost effective fouling control in cooling water intake systems with environmental and operational benefits. In: Recent Progress in Desalination, Environmental and Marine Outfall Systems. Baawain M., Choudri B.S., Ahmed M., Purnama A. (Eds). ISBN: 978-3-319-19122-5. Springer International Publishing Switzerland 2015.

Bruijns M.C.M., L.P. Venhuis and L. Daal. 2017. Global experiences in optimizing biofouling control through Pulse-Chlorination®. Journal of Power Plant Chemistry. 19(4): 203–209.

Elliott, M. & Wither, A. (Eds). 2024. Environmental consequences and management of coastal industries: Terms and Concepts. Elsevier, Amsterdam, ISBN 978-0-443-13752-5, 370pp.

Jenner H. A., Taylor C. J. L., van Donk M. and Khalanski M. 1996. Chlorination by-products in chlorinated cooling water of some European coastal power stations. Mar. Environ. Res, 43, 279-293.

Jenner H.A., 1983. A microcosm monitoring mussel fouling, 11 p. In I.A. Diaz-Tous, M.J. Miller, and Y.G. Mussalli [ed.]. EPRI Symposium on Condenser Macrofouling Control Technologies, The State-of-the-Art, Hyannis, Massachusetts, June 1-3.

Jenner H.A., Whitehouse J.W., Taylor C.J.L., Khalanski M. 1998. Cooling water management in European power stations. Biology and control of fouling. Hydroécologie Appliquée 10 (1-2): i-v + 1-225.

Jenner HA, Van der Velde G en Rajagopal S. 1999. Aangroei in koelwatersystemen; een kostbaar milieuprobleem. Natuur & Techniek 8:24-33.

Jenner HA. 1982. Physical methods in the control of mussel fouling in seawater cooling systems. La Tribune du Cebedeau. 35:287-291.

Jenner HA. 1985. Chlorine minimization in macrofouling control in The Netherlands. In: Water Chlorination; Chemistry, Environmental Impact and Health Effect ,R.L. Jolley et al. eds., Lewis Publishers Inc. MI 5, p1425-1433.

Polman H.J.G., Bruijns M.C.M., Venhuis L.P., van Dijk S.A. 2011. More than 10 year experience with Pulse-Chlorination® dosing regime against macrofouling. Published in 2nd edition Handbook Heat Exchanger Fouling – Mitigation and Cleaning Technologies. PP-Publico Heat exchanger fouling, mitigation and cleaning technologies. pp 240 – 251. ISBN 3-934736-20-3.

Polman H.J.G., Jenner. H.A. & Bruijns M.C.M. 2020. Corrosion and fouling control in desalination industries. In: Corrosion and fouling control in desalination industry. Viswanathan S. Saji, Abdelkader A. Meroufel and Ahmad A. Sorour (Eds.). 2020. ISBN: 978-3-030-34283-8. Springer International Publishing 2020.

Polman H.J.G., M.C.M. Bruijns, L.P. Venhuis, S.A. van Dijk. 2011. More than 10 year experience with Pulse-Chlorination dosing regime against macrofouling. In: Heat Exchanger Fouling: Mitigation and Cleaning Technologies. Müller-Steinhagen H. & Zettler H.U. (Eds.). 2nd edition 2011. 464 pages. ISBN 3-934736-20-3.



Polman, H.J.G, Verhaart F., Bruijs M.C.M., 2012. Impact of biofouling in intake pipes on the hydraulics and efficiency of pump capacity. Publication in Desalination and Water Treatment 1/20 12, www.deswater.com. 25 June 2012.

Polman, H.J.G. & Jenner H.A., 2002. Pulse-Chlorination®, the Best Available Technique in Macrofouling Mitigation Using Chlorine. In Power Plant Chemistry 2002, 4(2), 93-97.

Rajagopal S., Jenner H.A. & Venugopalan V.P. (Eds.). 2012. Operational and environmental consequences of large industrial cooling water systems. ISBN 9781461416975. Springer New York, NY. 2012.

Rajagopal, S., van der Velde, G., Jansen, J., van der Gaag, M., Atsma, G., Janssen-Mommen, J., Polman, H. and Jenner, H. 2005. Thermal tolerance of the invasive oyster *Crassostrea gigas*: Feasibility of heat treatment as an antifouling option, *Water Research*, 39: 4335–4342.

RWS, 2019. Handboek Immissietoets. Versie: oktober 2019.

Taylor, C.J., 2006. The effects of biological fouling control at coastal and estuarine power stations. *Marine Pollution Bulletin* 53, 30–48.

### **About Pecten Aquatic**

Pecten Aquatic aims to safeguard the aquatic environment from industrial impacts. It does so by assisting large-scale surface water users both in their mitigation of environmental impacts on daily operations and in complying with permit requirements while maintaining a safe, reliable and commercially robust operation. Pecten Aquatic assists legislative/permitting authorities by providing objective insights for framing effective and realistic regulatory requirements. As an impartial expert, Pecten Aquatic is able to provide an objective evaluation of the operational and ecological problems, determine and perform research to find solutions, and evaluate technical and operational measures to develop cost-effective solutions to safeguard the environment. By seeking the assistance of Pecten Aquatic, any client whether industrial or regulatory will be better able to make well-founded decisions.