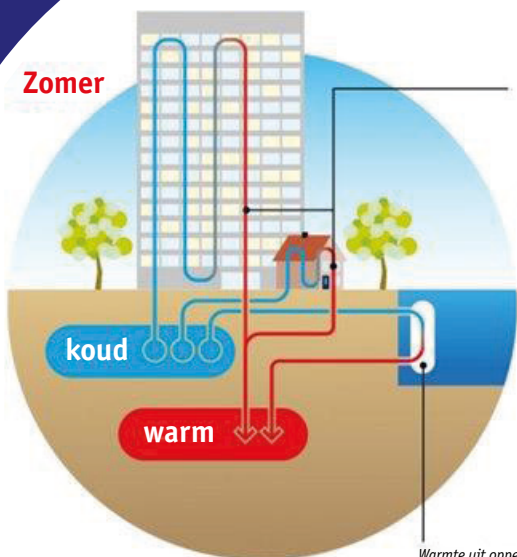


EFFECTEN VAN FILTERS EN WARMTEWISSELAARS OP HET AQUATISCHE ECOSYSTEEM

EEN LITERATUURSTUDIE

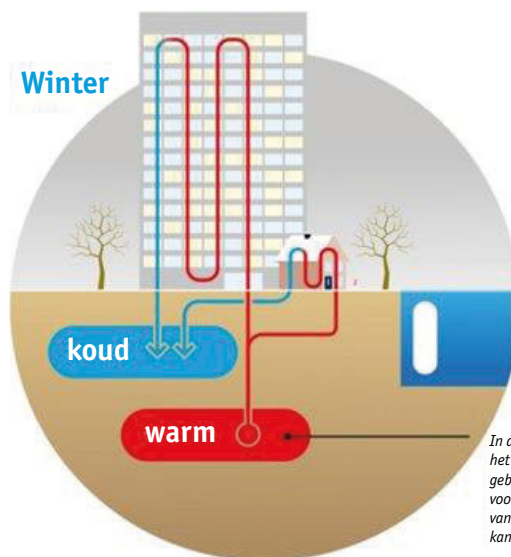
Zomer



Koud water uit de ondergrondse wateropslag koelt in de zomer huizen en kantoorpanden. Na opname van warmte, wordt het warm geworden water in de bodem opgeslagen.

Warmte uit oppervlaktewater wordt via een warmtewisselaar benut en opgeslagen in ondergrondse wateropslagtanks.

Winter



In de winter kan het warme water gebruikt worden voor verwarming van huizen en kantoren.

EFFECTEN VAN FILTERS EN WARMTEWISSELAARS
OP HET AQUATISCHE ECOSYSTEEM
EEN LITERATUURSTUDIE

RAPPORT

2022

38

ISBN 978.90.5773.995.8



stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Anniek de Jong, Deltares
Miguel Dionisio, Pires Deltares

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Jasper Stroom, Waternet
Simone van Dam, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Marcel van den Berg, Rijkswaterstaat|WVL
Marco Vaartjes, Hoogheemraadschap van Rijnland
Marco van Schaik, STOWA

Dit rapport is tot stand gekomen in het kader van onderzoeksprogramma WarmingUP.

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau bv
STOWA STOWA 2022-38
ISBN 978.90.5773.995.8

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.
Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

TEN GELEIDE

ONDUIDELIJK WELKE SCHADE AQUATISCHE ORGANISMEN ONDERVINDEN VAN TEO-INSTALLATIES

Het blijkt onmogelijk om op basis van literatuuronderzoek conclusies te trekken over de mate waarin aquatische organismen schade ondervinden van de warmtewisselaars en filters in installaties voor het winnen van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO). Om meer inzicht te krijgen wordt aanbevolen om veld- en modelstudies uit te voeren.

In een TEO-installatie passeert het oppervlaktewater, een filter en een warmtewisselaar. Vervolgens wordt het op een lagere temperatuur weer geloosd. Kleine organismen, zoals zoöplankton en vislarven, kunnen de installatie worden ingezogen en daar door de optredende krachten en de temperatuurschok, schade ondervinden. Omdat de belangstelling voor TEO als alternatieve warmtebron sterk toeneemt willen waterbeheerders deze mogelijke effecten en de impact op het watersysteem leren kennen.

Voor deze studie is wetenschappelijke literatuur verzameld over effecten van vergelijkbare installaties, zoals koelinstallaties. In de literatuur ontbrak echter voldoende informatie over de kenmerken van deze installaties, waardoor het lastig is de vergelijking te maken met TEO-installaties.

Wel kan men concluderen dat de effecten op populatie- en ecosysteemniveau in grote dynamische wateren mogelijk beperkt zijn. In kleine afgesloten wateren kunnen mogelijk wel grotere effecten optreden. Toepassing van een gesloten TEO-systeem, dat geen water inneemt, kan dan de voorkeur hebben.

Ook brengt de mogelijke schade die filters aanbrengen een nieuw dilemma voor het voetlicht bij de discussie over koudelozingen door TEO-installaties. Waar – om het temperatuurverschil tussen het ontvangende water en het geloosde water te beperken – door waterbeheerders vaak wordt gestuurd op een lozing met een kleinere ΔT door een groter debiet, zou de mogelijke schade door filters en warmtewisselaars juist aanleiding geven om te sturen op een zo klein mogelijk debiet.

De aanbevolen veldstudies moeten meer inzicht geven in de schade die filters en warmtewisselaars, maar ook de verschillende reinigingsmethodes, toebrengen aan organismen. Vervolgens kan men met ecologische modellen doorrekenen wat voor verschillende watertypen de mogelijke gevolgen op populatie- en ecosysteemniveau zijn.

STOWA gaat met diverse waterschappen, Rijkswaterstaat en kennisinstellingen aan de slag om deze vragen verder te onderzoeken, zodat waterbeheerders een zorgvuldige afweging kunnen maken bij hun vergunningverlening.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

In deze literatuurstudie is in beeld gebracht wat er bekend is over mogelijke gevolgen voor de aquatische ecologie van de onttrekking van thermische energie aan het oppervlaktewater (TEO-installatie). Het onderzoek richt zich op de mogelijke schade door passage van filters en warmtewisselaars van open TEO-installaties. Tot nu toe zijn er nog geen wetenschappelijke onderzoeksresultaten gepubliceerd over mogelijke schade aan organismen in een TEO-installatie. In deze studie is daarom literatuur geraadpleegd over deze effecten in andere installaties zoals energie-installaties. Op basis van de gevonden literatuur is het aannemelijk dat aquatische organismen trek-, druk- en schuifkrachten, stress en versnelingen ondervinden door botsing met onderdelen in de installatie of doordat ze de installatie worden ingezogen en meegevoerd. In de bestudeerde installaties treedt de grootste schade op bij zoöplankton en fytoplankton.

Er is vrijwel geen informatie beschikbaar over de kenmerken van de installaties in de geraadpleegde studies, zoals de grootte van de debieten en de maaswijdte van de filters. Hierdoor is het moeilijk om een inschatting te maken van de mate van schade aan aquatische organismen door onderdelen van een TEO-installatie. Echter, in een TEO-installatie is de verwachting dat organismen de mechanische en thermische stress in gelijke mate zullen ervaren als in andere installaties, ook al is het debiet in TEO-installaties kleiner. De instroomsnelheid in TEO-installaties is namelijk gelijk en samen met de kleinere maaswijdte van filters (en een temperatuurverlaging) kunnen TEO-installaties schade op biota opleveren. Wat de effecten precies zijn en welke aspecten de meeste invloed hebben kunnen we niet met zekerheid zeggen. Er wordt verwacht dat de hydraulische fijne filters, in combinatie met instroomsnelheden die gelijk zijn aan die bij energiecentrales, schade veroorzaken aan de organismen. Voor de warmtewisselaars wordt verwacht dat de installaties met het kortste traject en lage druk en versnelling van het water de minste schade geven. Uitgaande van de mate van schade zoals beschreven in de literatuur voor de andere onderzochte installaties, zullen de effecten van schade op populatie- en ecosysteemniveau mogelijk beperkt zijn in grote dynamische wateren. In kleine afgesloten wateren kunnen mogelijk wel grotere effecten optreden, hier kan een gesloten TEO-installatie een uitkomst bieden.

Nader onderzoek is aan te raden:

1. Het wordt aanbevolen om de effecten per type filter en warmtewisselaar in situ en in het veld te onderzoeken om een beter inzicht te verkrijgen in de mate van schade per onderdeel van de installatie, inclusief de verschillende reinigingsmethodes.
2. Daarna kunnen de resultaten van die onderzoeken gebruikt worden om door te rekenen wat de gevolgen op populatie – en ecosysteemniveau zijn. Ook kan dan het effect van temperatuurverandering in het water van de TEO-installatie (afgekoeld of opgewarmd) worden meegenomen.
3. Modelstudies kunnen worden uitgevoerd ook al moeten er verschillende aannames gedaan worden. Deze aannames kunnen in de toekomst dan vervangen of bijgesteld worden met onderzoeksdata uit het laboratorium en het veld.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

EFFECTEN VAN FILTERS EN WARMTEWISSELAARS OP HET AQUATISCHE ECOSYSTEEM EEN LITERATUURSTUDIE

INHOUD

	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	7
	1.1 Context	8
	1.2 Doel	9
	1.3 Aanpak	9
	1.4 Afbakening	10
	1.5 Leeswijzer	10
2	SYSTEEMONDERDELEN VAN TEO-INSTALLATIES	11
	2.1 Opbouw TEO-installatie	11
	2.2 Mogelijk schadelijke systeemonderdelen en factoren	13
	2.3 Vergelijking TEO-installatie met energiecentrales	14
3	SCHADE OP AQUATISCHE ORGANISMEN DOOR TEO-INSTALLATIE	15
	3.1 Afbakening watertypen	15
	3.2 Schade per soortgroep	15
	3.2.1 Vissen	15
	3.2.2 Zoöplankton	16
	3.2.3 Fytoplankton	18
	3.2.4 Bacteriën en archaea	19
	3.3 Schade op populatie- en ecosysteemniveau	20
	3.3.1 Inleiding	20
	3.3.2 Relevante literatuur	20
	3.3.3 Numeriek modelleren	21

4	SAMENVATTING EN DISCUSSIE	24
4.1	Beperte informatie kenmerken installaties	24
4.2	Schade aan de aquatische organismen	24
4.3	Advies filters en warmtewisselaars	26
4.4	Kennisleemtes	27
5	CONCLUSIES & AANBEVELINGEN	28
6	REFERENTIES	31
BIJLAGE	Figuur A.1	35

1

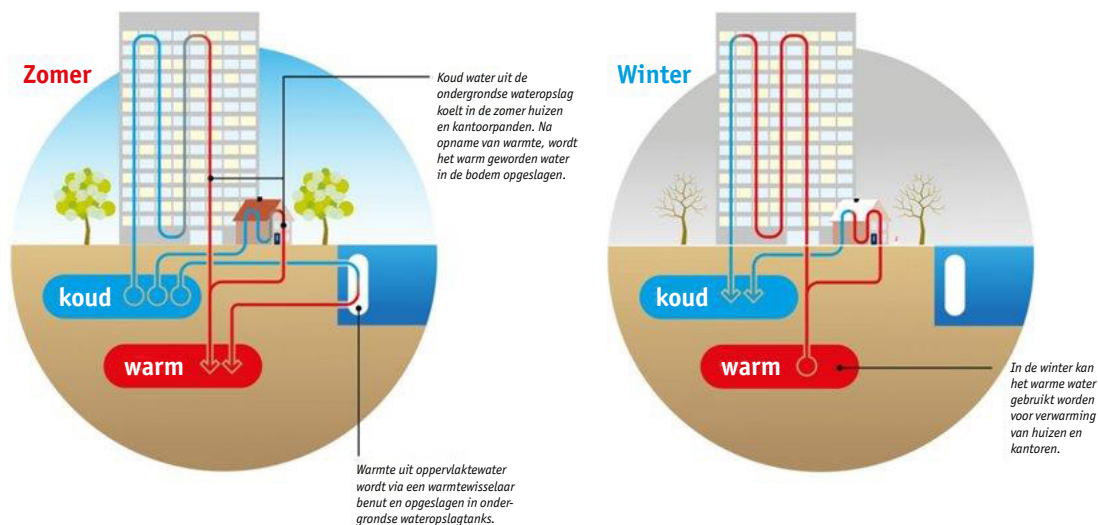
INLEIDING

Aquathermie is de verzamelterm voor het duurzaam verwarmen en koelen met water en de belangstelling voor aquathermie als duurzame warmtebron groeit. We onderscheiden thermische energie uit afvalwater (TEA), uit drinkwater (TED) en uit oppervlaktewater (TEO). Met name TEO wordt gezien als potentieel grote warmtebron. TEO onttrekt warmte of koude aan het oppervlaktewater waardoor het water (lokaal) respectievelijk afkoelt of opwarmt. Deze uitwisselingen van warmte en koude zijn bij uitstek geschikt om gebouwen en ruimtes te verwarmen of te koelen. Het gebruik van TEO kan een duurzame bijdrage leveren aan de warmtetransitie. Naar verwachting heeft TEO een economisch potentieel van ruim 40% (150 PJ per jaar; ongeveer 600 m³/s bij een $dT=5$ °C) van de totale toekomstige warmtevraag voor 2050 in de gebouwde omgeving van Nederland (350 PJ per jaar) (Kruit et al, 2018).

Er worden open en gesloten TEO-systemen onderscheiden. Bij de toepassing van een open systeem wordt het oppervlaktewater ingenomen en gefilterd, langs een warmtewisselaar geleid waar de warmte uit het water wordt onttrokken en vervolgens weer (koeler) geloosd op het omgevingswater. Bij een gesloten systeem vindt alleen uitwisseling van warmte plaats en geen wateruitwisseling met het oppervlaktewater. Tot nu toe worden voornamelijk open systemen toegepast vanwege de hogere efficiëntie van dergelijke systemen.

De onttrokken warmte (of koude) kan direct worden afgenomen of worden opgeslagen in een open bodemsysteem (OBES, voorheen warmte-en koudeopslag of WKO) in de ondergrond tot het moment dat er vraag naar is (Figuur 1.1). Deze opgeslagen warmte kan in het koude seizoen worden benut om met behulp van een warmtepomp gebouwen te verwarmen. Dit is efficiënter dan warmte onttrekken aan het oppervlaktewater in de winter (Kruit et al., 2018).

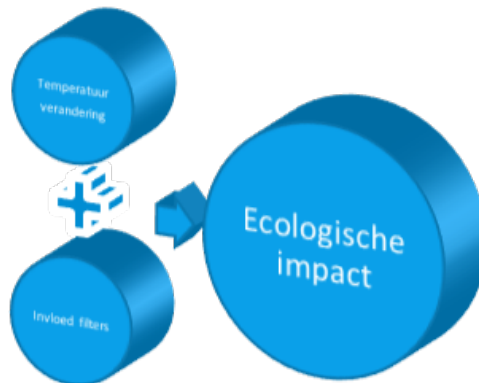
FIGUUR 1.1 SCHEMATISCH OVERZICHT VAN EEN TEO SYSTEEM IN DE ZOMER (LINKS) EN IN DE WINTER (RECHTS)¹



1 Deltares (2021) Thermische energie uit oppervlaktewater. <https://www.deltares.nl/nl/issues/duurzame-energie-uit-water-en-ondergrond/thermische-energie-uit-oppervlaktewater/>

Een TEO-installatie heeft invloed op het watersysteem enerzijds door de verandering van temperatuur van het water (koude – of warmtelozing) anderzijds door de passage van het water door de TEO-installatie met pompen, filters en warmtewisselaar (Figuur 1.2). In WarmingUP is onderzoek uitgevoerd naar de ontwikkeling van de koudepluim op het ecologisch functioneren van oppervlaktewatersystemen (Harezlak, 2021). Met deze literatuurstudie wordt in beeld gebracht wat er bekend is over mogelijke schade op de aquatische organismen bij de passage van een TEO-installatie.

FIGUUR 1.2 SCHEMATISCHE WEERGAVE DIE WEERGEeft DAT ZOWEL DE TEMPERATUURVERANDERING ALS DE INVLOED VAN FILTERS MOGELIJK INVLOED HEEFT OP DE ECOLOGIE VAN HET WATERSYSTEEM



1.1 CONTEXT

TEO is een potentieel grote warmtebron, maar het gebruik van het oppervlaktewater kan gevolgen hebben voor de aquatische ecologie zowel door de verandering van de temperatuur van het water (Wortelbroek en Harezlak, 2020) als door de passage van een TEO-installatie. De mate van schade en de invloed van de verschillende onderdelen op deze schade bij passage door een TEO-installatie is tot nu onbekend. Ook de factoren die hier mogelijk een rol spelen zijn onduidelijk. In deze studie wordt onderzocht wat in de literatuur hierover beschikbaar is. Het onttrekken van oppervlaktewater vindt alleen plaats bij een open TEO-installatie. Bij een gesloten TEO-installatie liggen het leidingnetwerk en de warmtewisselaar direct in het oppervlaktewater waardoor er geen water wordt onttrokken en er geen schade aan organismen door de TEO-installatie plaats kan vinden. In deze studie wordt daarom alleen ingegaan op de effecten van een open systeem.

Het water dat voor TEO onttrokken wordt, passeert een aanzuigkorf (met grof filter), een fijn filter voor de warmtewisselaar en de warmtewisselaar. Organismen in het water kunnen in meer of mindere mate hinder van deze elementen ondervinden.

In hoeverre de schade aan organismen het ecosysteem beïnvloedt wordt natuurlijk met name bepaald door de grootte van het TEO-debiet in relatie tot het volume van het waterlichaam waaraan onttrokken wordt en tot de mate van menging van het water. Indien jaarlijks een groot deel van het watervolume van een waterlichaam een warmtewisselaar passeert, zou dat relevante gevolgen kunnen hebben voor de ecologische toestand van dat waterlichaam. Het is daarom van belang om kennis te vergaren over de effecten van filters en warmtewisselaars op de in het water levende organismen.

De waterschappen HHNK, AGV (Waternet) en Rijnland zijn in 2021 een project gestart dat de effecten van de filters en warmtewisselaars op de in het water levende organismen

bij TEO-installaties onderzoekt. HHNK en Rijnland hebben in 2021 fysisch-chemische parameters, fytoplankton en zoöplankton bemonsterd bij bestaande TEO-installaties. In 2022 en 2023 zullen deze metingen, mogelijk met een verbeterde methode, herhaald worden. Waternet is ondertussen een proefopstelling aan het bouwen waarin twee of drie verschillende TEO-installaties worden gebouwd. Vanaf 2023 zullen hierin dezelfde parameters worden bemonsterd om de verschillende opstellingen goed met elkaar te kunnen vergelijken.

1.2 DOEL

De doelstelling van het project is om op basis van literatuuronderzoek de effecten van filters en warmtewisselaars gebruikt bij TEO-installaties op in het water levende organismen te bepalen.

Specifiek zijn de volgende vragen geformuleerd:

1. Welke organismen in oppervlaktewater ondervinden schade door passage van filters en warmtewisselaars en in welke mate?
2. Welke eigenschappen van filters en warmtewisselaars zijn van invloed op deze schade en bij welke typen filters en warmtewisselaars is meer of minder schade te verwachten?
3. Wat is uit de literatuur bekend over de invloed van schade door passages van filters en warmtewisselaars op populatie- en ecosysteemniveau? Welke factoren spelen daarbij een rol?

De antwoorden op deze 3 vragen zijn vertaald naar een overzicht van in welke typen wateren, bij welke typen filters en warmtewisselaars welke effecten te verwachten zijn.

1.3 AANPAK

Literatuur voor deze studie is verzameld volgens de 8 stappen van een systematische literatuurstudie. Deze bestaan uit:

1. Formuleren onderwerp
2. Formuleren onderzoeksvragen (zie paragraaf 1.2)
3. Definiëren van sleutelwoorden (apart gebruikt of in combinatie): TEO, WarmingUP, thermal energy surface water, cool water installation, filtration, survival, entrainment, impegment, aquatic organisms, heat exchanger, fish, fish larvae, zoöplankton, copepods, (phyto)plankton, bacteria, archaea, microbial induced corrosion (MIC), biofouling, long term, effects.
4. Zoeken in databases: Google scholar (wetenschappelijke literatuur), Google (voor Nederlandse rapportages)
5. Gevonden hits op basis van titel:13580
6. Gevonden hits op basis van samenvatting: 483
7. Gevonden hits op basis van geheel artikel: 76
8. Beantwoording vragen

Er wordt niet alleen gekeken naar TEO-installaties, maar ook naar andere soorten installaties waarbij oppervlaktewater wordt gefilterd of waarbij in korte tijd de temperatuur van het passerende water in het systeem sterk verandert. Al meerdere decennia wordt oppervlaktewater gebruikt voor koeling (Keller, 1970) en worden in het binnen- en buitenland studies verricht naar de effecten daarvan. Verder wordt er (technische) informatie ingewonnen over de filters bij WarmingUP.

1.4 AFBAKENING

Om dit onderzoek zo specifiek mogelijk te maken zijn de volgende afbakeningen gekozen:

- Open TEO-installaties
- Aquatisch ecologische effecten in zoetwater (dus niet in zoute wateren)
- Acute schade aan organismen
- Effecten op de organismen die de aanzuigkorf kunnen passeren en dus ingezogen kunnen worden in een open TEO-systeem
- Effecten van verhoging of verlaging van watertemperatuur in buitenwater zelf worden niet onderzocht (zie hiervoor Wortelboer en Harezlak, 2020)
- Effecten van chemische reinigingen zijn niet onderzocht, omdat de indruk is verkregen dat men voorzichtig is met het toevoegen hiervan. Indien chemicaliën worden toegevoegd, wordt alleen het specifieke onderdeel gereinigd.

1.5 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 wordt een beknopte toelichting gegeven op de opbouw van een TEO-installatie en worden de verschillende systeemonderdelen besproken. Vervolgens wordt er in hoofdstuk 3 ingegaan op de onderzoeksvragen. In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de mogelijke schade door de TEO-installaties op de aquatische organismen die voorkomen in het water. In dit hoofdstuk wordt in paragraaf 3.1 de afbakening van watertypes besproken. Paragraaf 3.2 gaat in op potentiële schade aan aquatische organismen waarbij de eigenschappen van de TEO-onderdelen die van invloed zijn op de schade worden benoemd. Hierbij worden de onderzoeksvragen 1 en 2 beantwoord. In paragraaf 3.3 worden de effecten van de opgelopen schade door de TEO-installatie op populatie- en ecosysteemniveau besproken (beantwoording van onderzoeksvraag 3). Hoofdstuk 4 bestaat uit de discussie, de conclusies en aanbevelingen worden gegeven in Hoofdstuk 5.

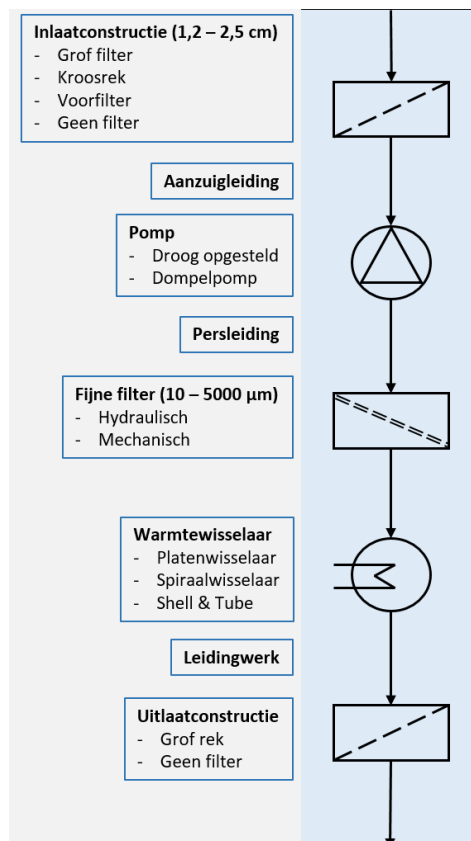
2

SYSTEEMONDERDELEN VAN TEO- INSTALLATIES

2.1 OPBOUW TEO-INSTALLATIE

Een open TEO-installatie omvat een reeks van reinigingsmethoden van het inlaatwater om deeltjes te verwijderen die de installatie kunnen beschadigen. Een schematische weergave van deze onderdelen is te zien in Figuur 2.1.

FIGUUR 2.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN OPEN TEO-INSTALLATIE. DE BELANGRIJKSTE ONDERDELEN VAN DE INSTALLATIE DIE MOGELIJK VOOR SCHADE KUNNEN ZORGEN BIJ ORGANISMEN ZIJN AFGEBEELD IN HET MIDDEN MET LINKS DE UITLEG VAN HET PICTOGRAM

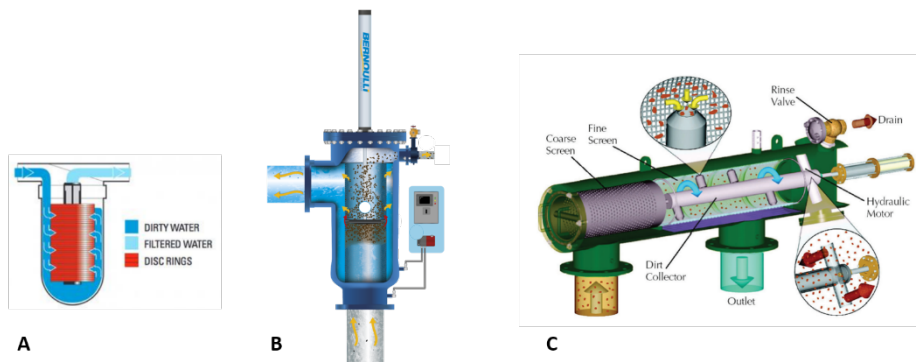


Het water wordt ingenomen vanuit het oppervlaktewater. Dit water kan eerst door een aanzuigkorf gaan om het grove vuil uit het water tegen te gaan (Figuur 2.1, Tabel 2.1) (De Fockert et al., 2021). De aanzuigkorf werkt met een automatisch terugspoelmechanisme waarbij met een harde straal het filter van binnenuit schoon wordt gespoten, zodat er minder kans op verstopping is (De Fockert en Harezlak, 2021).

Na de aanzuigkorf wordt het water met een pomp de installatie ingepompt naar het fijne filter dat het water verder filtreert. De verschillende typen filters die worden gebruikt zijn in te delen in twee categorieën: 1) hydraulische filters, en 2) mechanische filters (Tabel 2.1; Figuur 2.2) (de Fockert en Harezlak, 2021). Bij hydraulische filters stroomt het water door het filter en wordt het filter door middel van terugspoeling schoongespoeld, waarbij het water van de schone zijde wordt teruggepompt door het filter. Bij mechanische filters stroomt het water ook door het filter, maar wordt bij het schoonmaakproces een mechanisch onderdeel gebruikt om het vuil samen te brengen en af te voeren (voor meer details over de fijne filters zie De Fockert en Harezlak, 2021).

Om het vuil van het filter af te kunnen spoelen is de spoeldruk en het watervolume dat bij hydraulische filters wordt gebruikt om het filter te reinigen significant groter dan bij mechanische filters (De Fockert en Harezlak, 2021). Afhankelijk van de waterkwaliteit en het type vervuiling dat aanwezig is in het water wordt de maaswijdte van het filter geselecteerd. In de meeste gevallen wordt er tot 100 µm gefilterd. Kleiner wordt vaak niet toegepast, omdat je dan allerlei operationele problemen krijgt (persoonlijk contact met Anton de Fockert, 03-02-2022). De meest gangbare fijne filters op dit moment zijn de Disc- en Bernoulli filters.

FIGUUR 2.2 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE WERKINGSPRINCIPES VAN EEN A) HYDRAULISCHE FILTER², B) BERNOULLI FILTER³, C) SUCTION SCANNER FILTER⁴



TABEL 2.1 OVERZICHT VAN DE GEBRUIKTE TYPE FILTERS, POMPEN EN WARMTEWISSELAARS IN TEO-INSTALLATIES (OVERGENOMEN UIT DE FOCKERT EN HAREZLAK, 2021). AANGEGEVEN MAASWIJDTE IS WAT DE LEVERANCIER KAN LEVEREN. MEEST GANGBARE IS EEN MAASWIJDTE TOT 100 µM

	Variant	Maaswijdte (µm)	Reiniging
Aanzuigkorf	Grove doorlaatfilter/Aanzuigfilter	1200 - 2500	Terugspoelen door jets
Fijne filter	Drukfilter (hydraulisch)	100 - 2500	Omkering stroomrichting
	Discfilters (hydraulisch)	20 - 400	Omkering stroomrichting
	Suction scanner (mechanisch)	10 - 3000	Roterende schraper met terugspoeling
	Bernoulli filter (mechanisch)	100 - 5000	Zuigermechanisme

Vervolgens wordt het gefilterde water door de warmtewisselaar geleid om warmte of koude te onttrekken. Er zijn verschillende typen warmtewisselaars beschikbaar. De meest gebruikte warmtewisselaar is de platenwisselaar, omdat het een compact systeem is (De Fockert en Harezlak, 2021). Deze warmtewisselaar bestaat uit dunne platen (<1 mm dik) die om en om geplaatst zijn voor de warmte/koude overdracht. Een ander type warmtewisselaar is de pijpbundel (shell & tube). Verder kan er ook de plaat-spiraal warmtewisselaar worden gebruikt. Dit type wordt vaak toegepast in systemen waar slibdeeltjes in het water zitten. Het water dat door een warmtewisselaar gaat stroomt sneller dan in de rest van het systeem en

2 <https://www.grensregio.eu/assets/files/site/RECUPA-inventarisatie-technologie-zuiveringsstappen.pdf>

3 <https://bernoulli.se/about-bernoulli/>

4 <https://www.rainbird.com/sites/default/files/media/documents/2020-08/i-series-ho-ht-hydraulic-suction-scanning-screen-filter-tech-spec.pdf>

maakt afhankelijk van het gebruikte type ook verschillende bochten om de warmte of koude te onttrekken. Hier vindt in een korte tijd een temperatuurverandering plaats van ongeveer 3°C tot 6°C (Kruit et al., 2018). De materiaalkeuze voor een warmtewisselaar hangt af van de waterkwaliteit (De Fockert en Harezlak, 2021). Indien er kans is op microbiële corrosie (MIC) dan wordt er gekozen voor een titanium wisselaar. Na de warmtewisselaar wordt het water geloosd in het oppervlaktewater.

Reiniging van de installatie kan zowel mechanisch (vaakst toegepast bij TEO), thermisch of chemisch, dit is afhankelijk van het type vervuiling en de locatie van vervuiling (De Fockert en Harezlak, 2021).

2.2 MOGELIJK SCHADELIJKE SYSTEEMONDERDELEN EN FACTOREN

De aquatische organismen kunnen tijdens het onttrekken van oppervlaktewater in de TEO-installatie worden gezogen. De organismen worden tijdens botsing (impingment) met de filters of het meevoeren (entrainment) door de gehele installatie blootgesteld aan verschillende factoren die ontstaan door:

- Trekspanning
- Drukspanning
- Wrijving/schuifkrachten
- Contact met onderdelen van de installatie, zoals filters, pompen, leidingen
- Versnellingskrachten die ontstaan door verandering in snelheid en richting
- Botsen met deeltjes zoals organisch materiaal dat net als de organismen door de installatie wordt gezogen, schade is afhankelijk van dichtheid en grootte van de deeltjes
- Stress
- (Chemische reacties als er e.g. biocide wordt gebruikt om vervuiling (fouling) tegen te gaan, hier niet besproken)

Of een combinatie hiervan.

Wanneer deze verschillende factoren gecombineerd worden met de eerder genoemde relevante elementen van een TEO-installatie, ontstaat er een overzicht van mogelijke schade per element zoals beschreven in Tabel 2.2.

TABEL 2.2 OVERZICHT VAN AANWEZIGE KRACHTEN EN STRESSOREN PER RELEVANT ONDERDEEL VAN EEN TEO-INSTALLATIE DIE MOGELIJK SCHADE AAN BIOTA KUNNEN GEVEN. CONCRETE UITGANGSPUNTEN VOOR DE GROOTTE VAN DE MAASWIJDTE VOOR DE AANZUIGKORF EN FILTERS ZIJN GEGEVEN

	Aanzuigkorf (maaswijdte 1200-2500 µm)	Fijne filters (maaswijdte 100 µm)	Warmtewisselaar	Overig onderdelen
Trekspanning	X	X		
Drukverschillen			X	
Schuifkrachten		X	X	
Stroomsnelheid	X	X	X	
Contact of botsing	X	X		
Overige schade		Reiniging van filters Terugspoeling	Temperatuur verschil*	Predatie door organismen die leven in leidingnetwerk

*Niet onderzocht in deze literatuurstudie

Voor dit literatuuronderzoek zijn de volgende systeemonderdelen van de TEO-installatie relevant:

- Aanzuigkorf
- Fijne filters
- Warmtewisselaar
- Schoonmaaksysteem van zowel de aanzuigkorf en de fijne filters

Voor de schade zijn de volgende kenmerken van de installatie van belang:

- Maaswijdte van de verschillende filters
- Drukverschillen
- (In)stroomsnelheid
- Temperatuursprong

2.3 VERGELIJKING TEO-INSTALLATIE MET ENERGIECENTRALES

Voor de bepaling van mate van schade wordt in deze literatuurstudie vaak teruggegrepen op onderzoeken die uitgevoerd zijn in energiecentrales. Om een idee te krijgen hoe vergelijkbaar deze installaties zijn met een TEO-installaties zijn de belangrijkste kenmerken van zowel de TEO-installatie als de energiecentrales genoemd in Tabel 2.3.

TABEL 2.3 VERGELIJKING VAN BELANGRIJKSTE EIGENSCHAPPEN VAN EEN TEO-INSTALLATIE MET EEN ENERGIECENTRALE (GROVE SCHATTING PERSOONLIJKE COMMUNICATIE ANTON DE FOCKERT)

	TEO-installatie	Energiecentrale
Debiet (m ³ /s)	0,01 - 0,07	2 - 100
Temperatuurverschil van lozing (oC)	-9 tot +6	+5 tot +10
Drukverschillen (m)	0 - 20	0 - 30
Aanzuigsnelheid (m/s)	0,1 - 0,5	0,1 - 0,5
Doorstroomsnelheid (m/s)	0,5 - 2	0,5 - 4
Maaswijdte filters	100 µm	2 - 7 mm
Chloor dosering	minimaal	vaak toegepast; shock dosering, continue dosering of combinatie hiervan

Uit bovenstaande tabel wordt duidelijk dat in energiecentrales het debiet hoger is. De aanzuigsnelheden zijn echter hetzelfde wat inhoudt dat er een grotere buisdiameter wordt gebruikt, maar de krachten zijn vergelijkbaar. Ook is de maaswijdte van de filters in energiecentrales groter. Tenslotte wordt er in energiecentrales vaak gebruik gemaakt van chloor dosering, wat niet het geval is bij TEO-installaties.

3

SCHADE OP AQUATISCHE ORGANISMEN DOOR TEO-INSTALLATIE

3.1 AFBAKENING WATERTYPEN

De organismen die leven in het water rondom de inlaat van een TEO-installatie hebben een risico om schade op te lopen doordat ze in botsing komen met of worden meegevoerd door de installatie. De soorten aquatische organismen verschillen per type water, omdat elk type water zijn eigen ecosysteem heeft. Bij een TEO-installatie kan het water in principe uit alle watertypen worden gebruikt, maar is men voorzichtig met het gebruik van water uit ecologisch kwetsbare wateren. Desalniettemin kan er een grove indeling worden gemaakt van welke organismen voorkomen in het Nederlandse oppervlaktewater. Voor de inname van warm water wordt water uit de bovenste oppervlaktelaag onttrokken wat door zoninstraling net een paar graden warmer kan zijn dan dieper gelegen water. Voor koude-inname wordt het water zo diep mogelijk uit het watersysteem onttrokken. In dit onderzoek wordt de schade aan aquatische organismen onderzocht die of in de bovenste laag van het water voorkomen, en/of in diepere lagen water. Deze zijn onderverdeeld in de volgende groepen; vissen, zoöplankton, fytoplankton en bacteriën en archaea. Voor macrofauna was te weinig literatuur beschikbaar om de effecten te bespreken in deze studie. Macrofyten zijn niet meegenomen in deze studie omdat ondergedoken waterplanten en oeverplanten niet worden ingezogen en dus geen directe schade ondervinden.

3.2 SCHADE PER SOORTGROEP

Er is geen literatuur beschikbaar waarin is onderzocht wat de potentiële schade aan aquatische organismen is in een TEO-installatie. Daarom is besloten om literatuur te verzamelen waarbij onderzoek is verricht in vergelijkbare installaties (zie paragraaf 2.3).

De risico's en mogelijke schade aan de organismen worden in de volgende secties per groep besproken. Hierbij wordt eerst een inleiding gegeven op het soort organisme om vervolgens de mogelijke schade per relevant onderdeel van een TEO-installatie (aanzuigkorf, fijne filters, en overige onderdelen) te bespreken. De schadelijke effecten van warmtewisselaars worden niet besproken. Dit is omdat er geen specifieke literatuur werd gevonden over de effecten van de warmtewisselaars zelf. In de meeste studies is alleen gekeken naar de effecten van de totale installatie op de aquatische organismen.

3.2.1 VISSEN

Vissen gaan door vier verschillende stadia in hun levenscyclus; ei, larf, jonge vis, en volwassen vis. De grootte van de eitjes voor vissen ligt tussen de 0,5 – 3,5 mm, larven zijn tussen de 2 - 12 mm groot en post-larven zijn 5 - 70 mm groot (Jager & van Walraven, 2020; Bijlage A1). Het voorkomen van vissen hangt af van het seizoen en de soort.

3.2.1.1 AANZUIGKORF

In een TEO-installatie is de maaswijdte van de aanzuigkorf tussen de 1,20-2,50 mm, waardoor er wordt verwacht dat er voornamelijk eitjes en kleine larven in de installatie komen. In een onderzoek van STOWA (Kunst et al., 2010) wordt aangegeven dat vissen in staat zijn om bij stroomsnelheden onder de 0,5 m/s de roosters voor de pompen te ontwijken. De Electric Power Research Institute (Dixon, 2000) beveelt echter een veel lagere stroomsnelheid van 0,15 m/s aan. Bij TEO-installaties ligt de inzuigsnelheid tussen 0,1 tot 0,5 m/s (zie tabel 2.3). Wanneer de stroomsnelheid van het water groter is dan het vermogen van de vis om weg te zwemmen, kan de vis vast komen te zitten of in botsing komen met de aanzuigkorf die ontworpen is om te voorkomen dat grotere organismen en vuil in het systeem komen. Ook kan een vis verstrikt raken tussen het aanwezige afval op het filter. Indien deze condities niet direct de dood tot gevolg hebben, kan de blootstelling aan bijhorende stress op termijn leiden tot vroegtijdig overlijden door uitputting, een verminderde weerstand tegen predatie en ziekten of onvermogen om actief te strijden om voedsel (Hanson et al., 1977). Zo zijn er observaties van verlies van ogen en/of schubben en interne bloedingen afhankelijk van de vissoort (Bell, 1974). De mate van stress ervaring is afhankelijk van de stroomsnelheid, botsingstijd, en vissoort. Jonge zalmen hadden een verhoogde zuurstofstress bij verhoogde stroomsnelheid en langere botsingstijd, wat leidde tot verhoogde mortaliteit (Prentice en Ossiander, 1974). De schade aan vissen door botsing met de aanzuigkorf is dus afhankelijk van de soort, grootte, ontwikkelingsstadium en conditie van de vis, de maaswijdte van de aanzuigkorf en de inzuigsnelheid van de pomp.

3.2.1.2 FIJNE FILTER

Eitjes en kleine larven van vissoorten kunnen door de aanzuigkorf gaan, omdat ze kleiner zijn dan de gebruikte maaswijdte van de aanzuigkorf (<2,5 mm) en niet kunnen wegzwemmen. Deze eitjes en larven komen via de pomp bij het fijne filter terecht. De meest gebruikte maaswijdte van het fijne filter is meestal rond de 100 µm, waardoor zowel de eitjes als de larven uit het water worden gefilterd.

In de jaren '70 en '80 gingen onderzoekers uit van een 100 % overlijdenspercentage van vis eitjes en larven die door de installatie werden meegevoerd (Marcy et al., 1978; Muessig et al., 1988). Tegenwoordig zijn er betere meetmethodes en blijkt de overlevingskans vele malen hoger. Mayhew en collega's (2000) onderzochten de overleving van vislarven in koelinstallaties van energiecentrales en concludeerden dat een groot deel van de larven die door de gehele installaties zijn meegevoerd dit overleven. Het is alleen onbekend welke filters en pompen aanwezig waren in deze installatie, het enige wat bekend is van deze installatie is het debiet, 20-53 m³/s (500-1300 MWe), maar uitgaande van Tabel 2.3 ligt de maaswijdte ergens tussen 2 en 7 mm, wat aanzienlijk hoger is dan bij TEO-installaties.

De effecten van mogelijke schade van de verschillende typen fijne filters aan de eitjes en larven is onbekend. Wel is duidelijk dat een juveniele (kleine) vis schade ondervindt wanneer hij lang tegen een zeef of filter is aangedrukt (van Giels, 2008). Door het filter continu te spoelen wordt de schade beperkt (van Giels, 2008). Daarnaast is het van belang om het residu op het filter goed af te voeren naar het oppervlaktewater. Bijvoorbeeld door het residu relatief ver van de inlaat af te voeren zodat aanwezige organismen niet een tweede keer in de installatie worden gezogen en door het afgevoerde water onder water te lozen in plaats van aan het oppervlak zodat visetende vogels minder gemakkelijk hun prooi kunnen vangen (van Giels, 2008).

3.2.2 ZOÖPLANKTON

Zoöplankton is de verzameling van zwevende of drijvende heterotrofe organismen. Het bestaat onder andere uit protozoa (zoals radiolarieten, amoeben en ciliaten) en metazoa waarin de roeipootkreeftjes (Copepoda, gemiddelde lengte 1-2 mm (Walter & Boxshall, 2022), watervlooien (Cladocera, gemiddelde lengte <1mm (Havel, 2009), mosselkreeftjes (Ostracoda, gemiddeld 0,5-2 mm lang (Martens & Horne, 2009)) en raderdiertjes (Rotifera, gemiddelde lengte 0,05-2 mm (Walace & Smith, 2009)) vallen.

Zoöplankton komt veel voor nabij de oever, vooral als er ook aquatische vegetatie aanwezig is (Maia-Barbosa et al., 2008). De grootte van zoöplankton varieert sterk, de gemiddelde lengte zit tussen 20 µm en 200 µm.

3.2.2.1 FIJNE FILTERS

Het zoöplankton gaat door de aanzuigkorf van een TEO-installatie. Vervolgens wordt een deel ervan door het fijne filter uit het water gefilterd. Het zoöplankton dat op het filter achterblijft ondervindt mogelijk schade door de wijze waarop het filter wordt schoongemaakt (zie paragraaf 3.2.1.2). Het zoöplankton dat kleiner is dan de maaswijdte van het fijne filter (meest gebruikte maaswijdte rond de 100 µm) zal door de gehele installatie worden gevoerd. Uitkomsten van onderzoek naar de overleving van zoöplankton na passage van filters in verschillende installaties verschillen. Er is alleen onderzoek uitgevoerd waarbij gekeken is naar het verschil in populatie bij de in- en uitlaat van deze installaties. Over de effecten van terugspoeling van zoöplankton dat te groot was om door het filter te gaan is geen informatie beschikbaar in de literatuur.

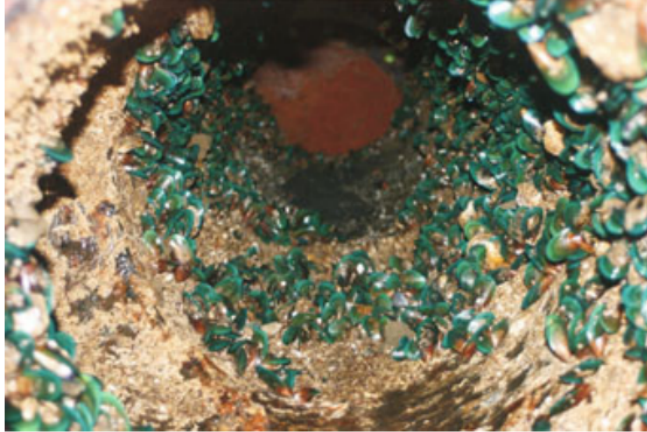
Veel onderzoeken tonen aan dat de overleving van zoöplankton beperkt is (zoals in Heinle, 1969; Goss en Bunting, 1976; Gentile et al, 1976; Kartasheva et al, 2008; Davies and Jensen, 1974). Terwijl andere onderzoeken aangeven dat de sterfte gering is (20-30% sterfte) (zoals in Karas, 1992; Evans et al 1986; Melton and Serviss, 2000; Dias and Bonecker, 2008). De artikelen waarin aangegeven wordt dat er sterfte plaatsvindt zijn in de meerderheid. De kanttekening die gemaakt moet worden bij de beschreven onderzoeken is dat het onderzoek voornamelijk is verricht in installaties die gebruik maken van chlorering en dat de gemiddelde temperatuur van het gebruikte oppervlaktewater hoger is dan gebruikelijk in Nederland waardoor de temperatuur dodelijk kan zijn voor zoöplankton, wat vergelijking met een TEO-installatie moeilijk maakt.

3.2.2.2 OVERIGE SCHADE

Naast mogelijke reductie van zoöplankton door passage van de filters, kunnen de aantallen ook afnemen doordat ze opgegeten worden. Er kunnen filter-feeders (deze organismen leven van plankton en ander in het water zwevend voedsel) in het leidingnetwerk zitten. Deze organismen, zoals randpootkreeften, mosselen, hydroïden, mosdiertjes en sponzen zijn als larf in de installatie gekomen en hebben zich hier vervolgens gevestigd (Figuur 3.1). Deze organismen kunnen leven van het zoöplankton dat met het water door de leidingen stroomt (Karas, 1992). Karas concludeerde een geringe afname (<3%) van het zoöplankton bij de uitlaat in vergelijking met de inlaat zonder de aanwezigheid van filter-feeders, maar wanneer deze wel aanwezig waren in het leidingnetwerk werd er een afname van 50% gevonden (Zweedse kerncentrales met een debiet van koelwater tussen de 43-86 m³/s; temperatuurverhoging tussen de 10°C tot 13°C; lengte van het systeem 500-2500 m; gebruikte filters en pompen zijn onbekend). Deze filter-feeders kunnen zich hechten aan de aanzuigkorf of aan de wanden van het leidingnetwerk van een installatie indien de larven door het fijne filter heen komen en hier zorgen voor verstopping en versnelling van corrosie (Mackie et al., 1989; McMahon,

1990; Nalepa en Schloesser, 1992). Deze organismen hechten zich ook in TEO-installaties (De Fockert en Harezlak, 2021). Een voorbeeld is de quaggamossel, waarvan de larven ongeveer 100-150 μm groot zijn en afhankelijk van de maaswijdte van het fijne filter in de installatie komen. De larven bevatten al een schelp waardoor ze de verschillende krachten in een TEO-installatie gemakkelijker kunnen overleven. Eenmaal in de installatie hechten ze zich aan de wanden en groeien daar uit tot volwassen mosselen.

FIGUUR 3.1 AANGROEI DOOR GROENE MOSSELEN (PERNA VIRIDIS) IN EEN ZEEWATER INLAATLEIDING (BRON: VENUGOPALAN ET AL., 2011)



In Karas (1992) wordt ook gesproken over vertraagde sterfte door de schade die opgelopen is door de installatie (rond 50%). Wat deze sterfte inhoudt, hoe deze is vastgesteld, en wat de effecten hiervan zijn is onduidelijk beschreven. Er is verder geen literatuur gevonden waarin gekeken wordt naar de effecten van de stress die een passage geeft aan het zoöplankton en daarmee de langeretermijneffecten. Tot nu bestaan er alleen studies waarbij gekeken wordt naar de directe sterfte.

3.2.3 FYTOPLANKTON

Fytoplankton zijn fotosynthetiserende protisten en bacteriën die in de bovenste waterlaag leven. Het is een belangrijke primaire producent in het ecosysteem en speelt een sleutelrol bij het handhaven van de energie- en materiebalans. Fytoplankton bestaat uit bacteriën (cyanobacteriën), algen, en eencellige planten. De productiviteit van het fytoplankton is afhankelijk van de aanwezige nutriënten, temperatuur, pH en zonlicht. Stilstaande wateren hebben dan ook vaker meer problemen met grote hoeveelheden fytoplankton zoals blauwalgen-groei (cyanobacteriën), doordat de temperatuur van het water sneller toeneemt dan in stromend water en de nutriënten niet wegstromen. De grootte van het fytoplankton is erg divers: van $<2 \mu\text{m}$ tot $200 \mu\text{m}$ (Acevedo-Trejos, 2015).

3.2.3.1 FIJNE FILTERS

Fytoplankton is kleiner dan $200 \mu\text{m}$ en zal in de TEO-installatie terecht komen. Afhankelijk van de maaswijdte van het fijne filter, zal het fytoplankton worden teruggespoeld naar het waterlichaam of verder door de installatie gaan.

Verschillende onderzoeken in koelwaterketens van energiecentrales tonen aan dat er een reductie is van het fytoplankton bij de uitlaat ten opzichte van het inlaatwater (tot 80%) (op basis van celtellingen, biovolume, chlorofyl-a en aantal dode cellen (via detectie met

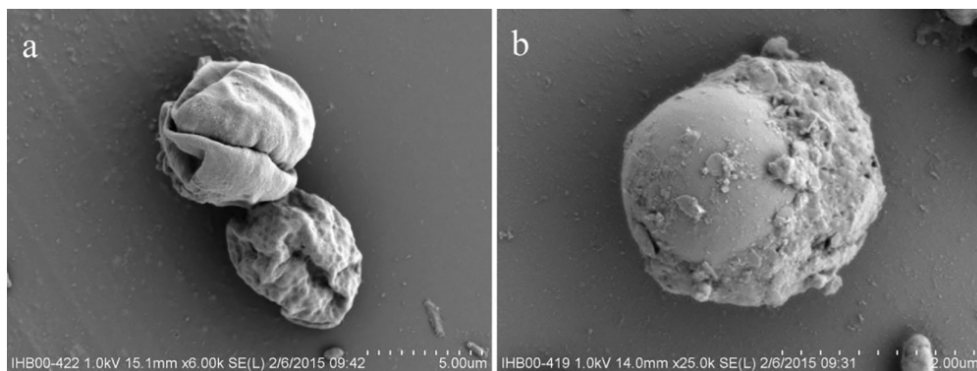
propidium iodide (PI), een fluorescerende stof die aan DNA in cellen bindt wanneer deze dood zijn) (Poornima et al., 2005; 2006; Briand, 1975; Lapkov et al., 1987; Lashkov and Postoev, 1988; Jordan et al., 1983)). Deze onderzoeken zijn uitgevoerd bij installaties die gebruik maken van hoge temperaturen en in de meeste gevallen wordt er ook chloor gebruikt als biocide (de artikelen bevatten geen informatie over gebruikte filters).

Li et al., (2018) bestudeerde de effecten van doorlating van fytoplankton bij verschillende diversion-type waterkrachtcentrales (omleiding van een rivier door een kanaal of stuw zodat het natuurlijke verval van de rivierbedding wordt benut om energie op te wekken) in China (niks bekend over debiet, snelheid en gebruikte filters).

Deze waterkrachtcentrales maken geen gebruik van temperatuurverhoging en chemische toevoegingen. Zij vonden een afname in biomassa tussen de 8 – 43% (gemiddeld 21%) van het fytoplankton na het doorlopen van een installatie op basis van chlorofyl-a, celmorfologie (Figuur 3.2) en fysiologische en biochemische parameters. Verder vonden ze ook verhoogde waarden van oxidatieve stress (ROS), hoeveelheid metabolische activiteit (FDA), en celmembraan integriteit (PI) bij de uitlaat van de waterkrachtcentrale. Dit is volgens de onderzoekers waarschijnlijk het resultaat van drukverval, trek- en schuifkrachten en verhoging van de waterstroom in de installatie. De ROS waarden bij bemonstering 1000 m benedenstrooms van de outlet waren lager waren dan bij de bemonstering direct bij de outlet. Deze observatie suggereert dat of het fytoplankton zich kan herstellen indien de stress verdwenen is, zoals ook geconcludeerd is in eerdere studies (Saravanane et al., 1998 (condensator koelingspomp 3 m³/s, zeewater pomp 2,7 m³/s, snelheid in de koelinstallatie 2-2,5 m/s); Bienfang en Johnson, 1980), of dat de abundantie van het in het waterlichaam al aanwezige fytoplankton groot is en daardoor de schade van de installatie maskeert.

FIGUUR 3.2

VERANDERING VAN MORFOLOGISCHE STRUCTUUR VAN CHORELLA SP. BIJ DE INLAAT (A) EN BIJ DE UITLAAT (B) VAN EEN WATERKRACHTCENTRALE VASTGELEGD MET EEN SCANNING ELEKTRON MICROSCOOP (LI ET AL., 2018)



3.2.3.2 OVERIGE SCHADE

Toediening van chloor veroorzaakt chemische stress en leidt tot hoge sterfte (e.g. Poornima et al. 2005, 2006; Davis, 1989). Bij temperatuurverhoging is de schade voor het fytoplankton beperkt (Sellner et al., 1984; Rajadurai et al., 2005; Saravanane, 1998).

3.2.4 BACTERIËN EN ARCHAEA

Bacteriën en archaea zijn eencellige organismen en vormen samen de prokaryoten. Ze spelen een belangrijke rol in de nutriëntencycli van onze aarde en zijn daardoor onmisbaar. Ze leven in een vrije vorm, los in het water of de bodem, of in een biofilm. Gemiddeld hebben deze

microben een grootte tussen de 1 en 5 μm , al kan de grootte per soort sterk variëren tussen de 0,1 μm (kleinste bacterie) tot de reuzebacterie van 750 μm . Naast de grootte variëren ze ook in vorm en in dikte van de celwand. In installaties spelen bacteriën en archaea een belangrijke rol bij ophopingen en microbiel geïnduceerde corrosie in leidingen en pompen.

3.2.4.1 FIJNE FILTERS

De maaswijdtes van filters in TEO-installaties zijn te groot om microben tegen te houden, waardoor microben in de installatie terecht komen. Er is geen onderzoek beschikbaar waarbij de effecten van filtratiesystemen, die worden gebruikt bij TEO/koelinstallaties/gascentrales etc., op microben zijn bestudeerd.

Wel is aangetoond dat microben levensvatbaar kunnen zijn na filtratie door een 0,22 μm filter (Liu et al., 2019). Alleen de ultra-kleine microben kunnen dit filter passeren, maar de cultivatie naderhand toont aan dat een passage door een filter niet noodzakelijk dodelijk is. Het verschil in temperatuur na de warmtewisselaar verlaagt mogelijk het metabole systeem van de microben.

3.2.4.2 OVERIGE SCHADE

Voor een specifieke groep bacteriën en archaea is de installatie een ideale leefomgeving: er is een oppervlak om zich aan te hechten, een continue stroom van nutriënten omdat het een open systeem is, en afvalstoffen worden continu afgevoerd. Met name de sulfaat-reducerende microben en ijzermicroben worden geregeld aangetroffen in koelwaterinstallaties en warmtepompen. Deze organismen zullen biofilms vormen op de wanden en zorgen uiteindelijk voor verstopping en/of corrosie.

3.3 SCHADE OP POPULATIE- EN ECOSYSTEEMNIVEAU

3.3.1 INLEIDING

Effecten van TEO-installaties op individuele organismen kunnen impact hebben op populatie- of ecosysteemniveau, maar op dit moment is dat nog onzeker en ook is onbekend of dit altijd het geval is. Daarbij kunnen we onderscheid maken tussen de organismen die zelf direct effect ondervinden van de installatie en de organismen die *indirect* effect ondervinden via het voedselweb.

Bij organismen die direct schade ondervinden van de installatie zal dit effect impact hebben op het populatieniveau indien de populatie in de exponentiele groeifase zit. In deze fase is de toename van de organismen niet gelimiteerd door beschikbaarheid van voedsel of andere bronnen, en verloopt hun groei dan ook met maximale snelheid (dit noemen we 'groei-gelimiteerd'). Als er in deze fase een extra verliesterm optreedt (zoals mortaliteit door een TEO-installatie), zal dit impact hebben op de totale populatiegroei. Indien de toename van de organismen wel door beschikbaarheid van voedsel of andere bronnen beperkt is, zal een (klein) verschil in populatiegrootte snel gecompenseerd worden door extra groei. Natuurlijk maakt het hierbij ook uit hoe groot de extra mortaliteitsterm is: als deze te groot wordt, kan bron-gelimiteerde populatie veranderen in een groei-gelimiteerde populatie. Of een dergelijke omslag optreedt, hangt af van hoe groot het effect (extra mortaliteit) is ten opzichte van de natuurlijke mortaliteit van de totale populatie.

Indien er effecten zijn op populatieniveau, kunnen deze ook impact hebben op andere populaties, en daarmee een indirect effect op (een deel van) het ecosysteem. Dat gebeurt als er trofische of andere relaties bestaan tussen de verschillende populaties, en het systeem niet robuust genoeg is om veranderingen daarin op te vangen. In een complexer voedselweb met meerdere soorten kunnen predatoren bijvoorbeeld makkelijker overstappen naar een andere vergelijkbare prooi (Maar et al. 2018).

3.3.2 RELEVANTE LITERATUUR

Er zijn enkele onderzoeken uitgevoerd naar de populatie en ecologische effecten van gebruik van oppervlaktewater door verschillende centrales. In alle gevallen ging het niet om TEO-installaties, maar om koelwaterinstallaties.

Onderzoek door Rijkswaterstaat concludeerde dat de samenstelling en omvang van de vispopulatie voornamelijk wordt gevormd door een combinatie van het habitat en voedselbeschikbaarheid (van Giels, 2008).

Er werd verwacht dat de invloed van wateronttrekking voor koelwaterinstallaties op de vispopulaties in grote open dynamische systemen niet snel tot een reductie van het visbestand leidt, doordat er genoeg aanvoer is van nieuwe vis. Mogelijk is er alleen lokaal een effect. Ook is de periode na de paai, wanneer vissen klein en gevoelig zijn voor inzuiging, beperkt. En juist in deze periode zijn de aantallen het grootst, omdat vissen grote hoeveelheden nageslacht produceren om grote verliezen op te kunnen vangen (Tom Buijse pers. comm.). Voor open en dynamische systemen is het effect op de populatie waarschijnlijk gering. Echter blijft het onduidelijk wat de effecten op de vispopulatie zijn in kleinere of afgesloten wateren.

Dias en Bonecker (2008) onderzochten de populatiestructuur van zoöplankton rondom de inlaat en uitlaat van een kerncentrale voor vier jaar (Rio de Janeiro, Brazil; 627 MW, debiet 36,6 m/s, temperatuurverhoging van 7°C). De aantallen zoöplankton waren hoger bij de uitlaat dan bij de inlaat (uitlaat gem: 245,434 ind/m³, SD: 335,358 ind/m³; inlaat gem: 84,634 ind/m³, SD: 101,409 ind/m³). Ook waren de resultaten van chlorofyl-*a* metingen vergelijkbaar met een vergelijkbare studie bij dezelfde installatie uitgevoerd in 1991-1993. Temperatuur van oppervlaktewater was de belangrijke factor die de zoöplanktongemeenschap op de lozingslocatie stuurde. Al met al kon er geen effect op het mesozoöplankton door passage door de condensoren worden waargenomen, en er kon geen blijvende negatieve invloed op de planktonpopulaties worden vastgesteld.

Ook voor fytoplankton werd er geen verschil in aantallen van populatie geobserveerd na het doorlopen van een energiecentrale in Kalpakkam, India (235 MW, stroomsnelheid 2-2,5 m/s, debiet 3 m³/s, temperatuurverhoging 7-10°C) (Saravanane et al. 1998). Zo bereikte de diatomee concentratie in het koelwater (7,5 *10⁴ cellen/ml) bijna de maximale waarde van het inname water. Wel was *Thalassiosira sp.* dominant aanwezig. Het herstel van schade aan de organismen werd *in vitro* onderzocht aan de hand van celtellingen, absorptiemetingen, netto primaire productie en totale respiratie van water uit de installatie. De potentiële mate van herstel was hetzelfde, alleen de tijd voor het herstel was verschillend: drie dagen voor het inlaatwater, vijf dagen voor water dat was blootgesteld aan chloor, en acht dagen voor water dat was blootgesteld aan chloor en temperatuurverhoging in de installatie.

3.3.3 NUMERIEK MODELLEREN

Om de impact van de *directe* effecten te berekenen is er een model nodig dat de huidige situatie adequaat beschrijft met betrekking tot de:

- Groeibeperkende factoren. Voor algen zijn dit bijvoorbeeld de verschillende resources (nutriënten, licht) en de natuurlijke mortaliteit (inclusief de bestaande graasdruk).
- Ruimtelijke differentiatie. Indien het systeem niet homogeen gemengd is, kan het uitmaken waar een onttrekking plaatsvindt, want dit bepaalt welk deel van de populatie aan het effect wordt blootgesteld. In dat geval moet de relevante ruimtelijke differentiatie in het model meegenomen worden.
- Specifieke soorten/levensstadia en hun eigenschappen. Indien blijkt dat de TEO-installatie een verschillend effect heeft op verschillende soorten en/of levensstadia, dan moet dit meegenomen worden in het model. Daartoe dienen de eigenschappen van de verschillende soorten/levensstadia afdoende bekend te zijn en het model voldoende gekalibreerd/gevalideerd te zijn op deze eigenschappen. Indien zowel de fysiologie (groei en natuurlijke mortaliteit) als de effecten van TEO grotendeels gekoppeld zijn aan de grootte van de individuen, zijn specifieke soorten/levensstadia niet nodig en kan de soortensamenstelling eventueel in grootte-klassen worden uitgedrukt.

Om de impact van de *indirecte* effecten te berekenen is er een voedselweb model nodig dat de situatie adequaat beschrijft met betrekking tot de:

- Verschillende soorten/populaties en hun onderlinge relaties. Het model dient niet enkel de 'getroffen' organismen en hun directe predatoren te bevatten, maar bijvoorbeeld ook de andere prooien van hun predatoren.
- Ruimtelijke schematisatie/differentiatie. Voor een studie die zich richt op het hogere voedselweb wordt vaak geen ruimtelijk expliciet model gebruikt. Dit omdat de hogere trofische soorten vaak mobiel zijn en grotere afstanden (kunnen) afleggen. Wel dient er rekening gehouden te worden met de verschillende habitats waaraan de soorten gebonden zijn.

Modellen met de hierboven beschreven voorwaarden zijn deels voorhandig, maar hoe betrouwbaar en accuraat deze zijn hangt wel af van de specifieke vraag en situatie:

- **Directe effecten op algenpopulaties.** Deze kunnen over het algemeen adequaat doorge-rekend worden met zogenaamde NPZD (nutriënten–fytoplankton–zooplankton–detritus)-ecosysteemmodellen. Dit zijn ecosysteemmodellen waarin naast de algen zelf ook de verschillende resources (licht, en nutriënten) als predatoren (zooplankton) en de overige belangrijke componenten (detritus) zijn opgenomen. Wat algen betreft worden over het algemeen de twee of drie belangrijkste soortgroepen meegenomen. Een uitzondering hierop is het Delft3D-WAQ/BLOOM model, waarin voor blauwalgen ook een reeks specifieke soorten en hun parameters voorhandig zijn. Wel moet in het achterhoofd worden gehouden dat de algensoortensamenstelling veel lastiger accuraat te simuleren is dan bijvoorbeeld algenbiomassa. Dit komt o.a. doordat er over het algemeen te weinig kalibratie/validatie data voor beschikbaar zijn en door grote gevoeligheid van de gemodelleerde soortensamenstelling voor omgevingscondities. Dit geldt ook voor de zooplankton-module. Hoewel beschikbaar, is deze bijna niet toegepast in projecten en daardoor niet voldoende gekalibreerd en/of gevalideerd. Het (vaak ruimtelijk expliciete) model dient dus afdoende zorgvuldig opgezet en gekalibreerd te zijn.
- **Directe effecten op zooplankton.** Hoewel in NPZD-ecosystemen ook zooplankton dynamisch wordt mee gemodelleerd, worden er in het algemeen geen verschillende soorten onderscheiden, maar hooguit twee of drie soortgroepen (zie bijvoorbeeld Maar

et al, 2018). In Delft3D-WAQ wordt in de praktijk enkel één zoöplanktongroep (mesozoöplankton) onderscheiden (er wordt momenteel een module ontwikkeld waarin ook microzoöplankton zit, maar deze is nog niet gekalibreerd/gevalideerd (mesozoöplankton ook niet)). Afname van zoöplankton in het model moet worden opgelegd als forcering of via een dichtheidsafhankelijke benadering. Voor het berekenen van het effect van TEO-installaties op zoöplankton populaties betekent dit dat opgelegd moet worden dat bijvoorbeeld een bepaald percentage passage door een TEO-filter niet overleeft of een bepaalde grootte. Een ecosysteemmodel dat 'verder het voedselweb ingaat' gaat dan de NPZD modellen is PCLake. In PCLake worden er naast een zoöplanktongroep ook vissen en visetende vogels meegenomen. Zoöplankton in PCLake groeit en reproduceert door het eten van algen en detritus en sterft door vispredatie. Zoöplankton wordt in PCLake zo simpel mogelijk gehouden en is daarom niet verder gesplitst in groepen (Janse 2005). Wel is PCLake minder geschikt dan Delft3D om ruimtelijke aspecten mee te nemen, maar er kan wel onderscheid worden gemaakt in een oever- en een watercompartiment (en het water zelf in een boven- en onderlaag).

- Voor het berekenen van **indirecte effecten** zijn voedselweb-modellen nodig. Hierbij kan men denken aan PCLake, EcoPath of andere 'lineaire inverse' modellen (LIMs). Uitdaging bij alle voedselweb-modellen is om voldoende grip te krijgen op alle invoerparameters die nodig zijn om de interacties tussen de soorten te kunnen beschrijven. Dit is precies waarom inverse modellen en methodes zijn ontwikkeld: om onbekende voedselweb relaties te kunnen kwantificeren.

Dit gebeurt over het algemeen op basis van een steady state in een simpel model zonder ruimtelijke differentiatie. EcoPath is oorspronkelijk ook als een inverse model ontwikkeld, maar zodra de voedselweb relaties bekend zijn, kan het ook als een 'forward' model in worden gezet om veranderingen in de tijd te berekenen. Ook is er een ruimtelijke variant van EcoPath ontwikkeld. In Nederland is EcoPath met name gebruikt voor de Noordzee, maar wordt zowel in terrestrische als aquatische omgevingen (inclusief zoetwater) toegepast (Christensen et al. 2005). EcoPath geeft van oorsprong een simpele weergave van de werkelijkheid, waaronder het ontbreken van ruimtelijke variatie. Men heeft daar later een ruimtelijke variant voor ontwikkeld (Ecospace) om zo ruimtelijke veranderingen in biomassa en biodiversiteit dynamisch te kunnen berekenen. Deze versie zou voor effecten van TEO-installaties getest kunnen worden. Voor de toepassing in de Noordzee lag de nadruk op de hogere trofische niveaus, waarbij de lagere trofische niveaus werden geaggregeerd in generieke compartimenten. PCLake daarentegen is uitgebreid gekalibreerd en gevalideerd voor plassen en meren in Nederland. Dit maakt PCLake het meest geschikte model om de indirecte effecten van TEO in Nederland te bestuderen. Kanttekening daarbij is dat het werkt op basis van soortgroepen (dus niet met specifieke soorten) en een beperkte functionaliteit heeft met betrekking tot ruimtelijke differentiatie. Dit kan deels opgelost worden door de al bestaande koppeling met het stromingsmodel SOBEK (2D).

Op basis van bovenstaande toelichting kan geconcludeerd worden dat er voor de directe effecten op algen het beste gebruik kan worden gemaakt van Delft3D-WAQ/BLOOM. Voor indirecte effecten op het voedselweb kan het beste gebruik worden gemaakt van PCLake. Voor directe effecten op zoöplankton hangt de modelkeus af van de relevantie van de ruimtelijke differentiatie en de voorspelbaarheid van de predatiedruk door vissen. In alle gevallen is het aan te bevelen om de modellen zo goed mogelijk af te regelen op de lokale situatie. De relevantie van de ruimtelijke aspecten kan worden geëvalueerd op basis van een zogenaamde tracersom.

Voor de langere termijn streven we naar een betere integratie tussen PCLake en Delft3D-WAQ. Door de workflows beter op elkaar af te stemmen en de uitkomsten beter op elkaar aan te laten sluiten, wordt het makkelijker om beide modellen in te zetten binnen één project en hebben we ‘the best of both worlds’ ter beschikking.

Op de kortere termijn zijn we bezig om een alternatieve algenmodule in Delft3D-WAQ te ontwikkelen waarin ook microzoöplankton wordt meegenomen. Deze module wordt momenteel gekalibreerd voor de Noordzee. Een mogelijke vervolgstap zou zijn om deze te kalibreren voor een zoet systeem.

4

SAMENVATTING EN DISCUSSIE

In deze literatuurstudie is onderzocht wat bekend is over de effecten van filters en warmtewisselaars die worden gebruikt bij TEO-installaties op in het water levende organismen. Op dit moment is er nog geen wetenschappelijke literatuur beschikbaar over de effecten van een TEO-installatie op de organismen die hier tegenaan botsen of in het systeem worden gezogen. Maar oppervlaktewater voor het koelen van waterstromen in installaties wordt al lange tijd gebruikt, bijvoorbeeld in energiecentrales. De besproken schade aan de verschillende aquatische organismen is afkomstig van onderzoek bij zulke andere installaties. Dit is natuurlijk niet helemaal representatief voor TEO-installaties. Deze andere installaties hebben vaak grotere debieten dan TEO-installaties, maar gelijke instroomsnelheden en de filters bij TEO-installaties zijn fijner waardoor de gevonden effecten op aquatische organismen uiteindelijk mogelijk ook gelden voor TEO-installaties.

4.1 BEPERKTE INFORMATIE KENMERKEN INSTALLATIES

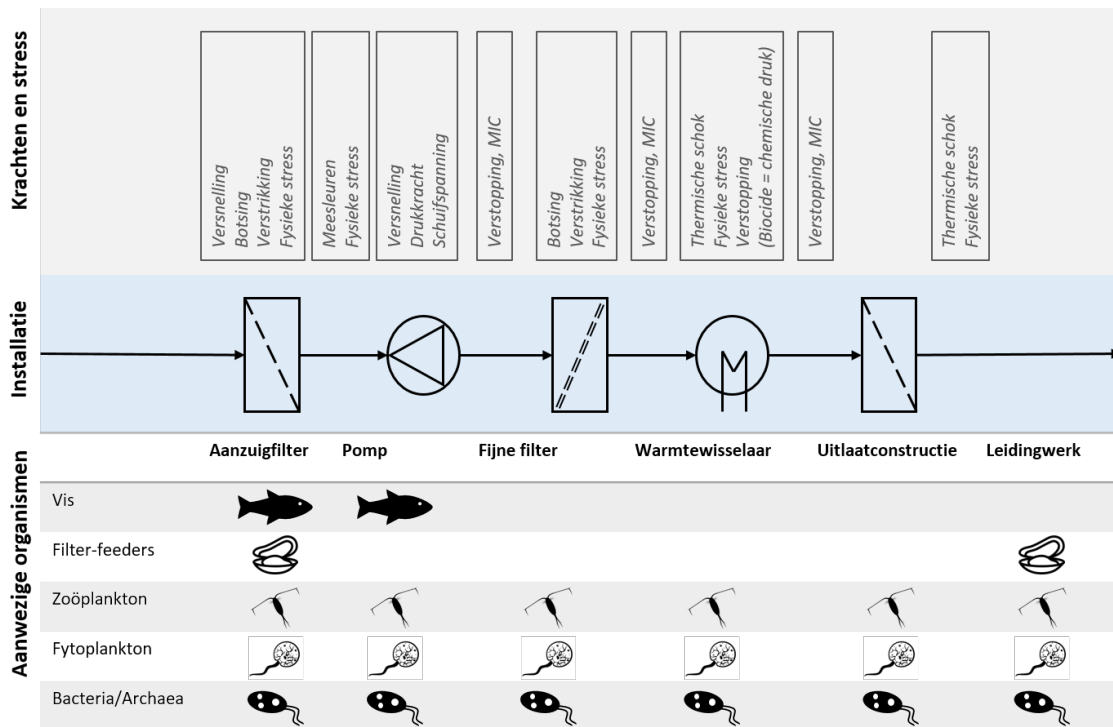
De belangrijkste kanttekening die gemaakt moet worden is dat in de gelezen literatuur meestal weinig informatie is te vinden over de onderzochte installaties. Hierdoor is het onbekend wat de stroomsnelheid, netwerklengte, drukken, gebruikte filters en warmtewisselaars zijn, en is het een uitdaging om deze resultaten direct naar TEO-installaties te vertalen. In het algemeen zijn de debieten van de onderzochte installaties hoger dan die van een TEO-installatie en zijn maaswijdtes groter. Daarbij komt ook dat de temperatuur van het water in alle gebruikte onderzoeken wordt verhoogd, terwijl bij TEO de temperatuur vooral verlaagd kan worden. Ook was het 50 jaar geleden niet ongewoon om biocide toe te voegen aan het water dat door de installatie ging, om verstopping en corrosie tegen te gaan. Zoals onderzoek heeft aangetoond leidt dit tot grote sterfte bij het zoöplankton en fytoplankton, dat door de installatie gaat. In een TEO-installatie is de verwachting dat organismen de trek-, druk- en schuifkrachten en thermische stress anders zullen ervaren dan nu beschreven is voor de andere installaties, maar wat de effecten precies zijn en welke aspecten de meeste invloed hebben kunnen we niet met zekerheid zeggen.

Omdat er ook veel overeenkomsten zijn tussen TEO-installaties en energiecentrales (Tabel 2.3), geven de besproken resultaten een eerste indruk wat de mogelijke effecten van een installatie op biota zijn. Doordat in een TEO-installatie het debiet lager is, temperatuur wordt verlaagd en er minder chlorering plaatsvindt, kan schade, ten opzichte van energiecentrales, aan organismen minder gevolgen hebben voor het hele ecosysteem. Om de exacte effecten van de filters en warmtewisselaars te bepalen is onderzoek in het veld nodig om deze verwachtingen te valideren.

4.2 SCHADE AAN DE AQUATISCHE ORGANISMEN

De mogelijke schade aan aquatische organismen is afhankelijk van veel factoren zoals het type organisme, de grootte van het organisme, de aanzuigsnelheid en de maaswijdte van filters. Een schematisch overzicht van het voorkomen van de besproken organismen, die in de pelagische zone voorkomen, en de krachten die werken in het systeem is gegeven in Figuur 4.1.

FIGUUR 4.1 SCHEMATISCH OVERZICHT VAN DE KRACHTEN EN STRESS DIE ORGANISMEN KUNNEN ONDERVINDEN IN EEN TEO-INSTALLATIE PER RELEVANT ONDERDEEL VAN EEN INSTALLATIE VOOR DEZE STUDIE. DE ORGANISMEN DIE AANWEZIG KUNNEN ZIJN IN DE VERSCHILLENDE ONDERDELEN ZIJN WEERGEGEVEN AAN DE HAND VAN ICONEN



De schade aan vissen is afhankelijk van de kans op het inzuigen van vissen. Dit is lengte- en soortafhankelijk. De maaswijdte van de filters van een TEO-installatie zijn relatief klein ten opzichte van filters genoemd in de literatuur over andere installaties. Met een maaswijdte van 100 µm verwachten wij dat in een TEO-installatie de vislarven en eitjes door de fijne filters uit het water worden gefilterd. Wat dit betekent voor de schade door botsing en wrijving met het filter kan worden onderzocht. Onderzoek uit recente jaren toont aan dat een groot deel van de ingezogen vissen die worden weggespoeld van de filters of zeven gebruikt in koelwaterinstallaties, de passage naar het open water overleeft (Mayhew et al., 2000). De sterfte kan ook beperkt worden wanneer de terugspoeling plaatsvindt op een afstand benedenstrooms van de intake en er ook onder water wordt geloosd in plaats van uit een hogere leiding boven het water, omdat vogels dan moeilijker de vissen kunnen vangen. De invloed van een TEO-installatie op de vispopulatie in grote dynamische gebieden zal beperkt zijn voor het visbestand, maar in de kleinere wateren en vooral in de afgesloten wateren kan de schade en sterfte van de vissen een negatief effect hebben op de aanwezige vispopulatie en daarmee aan het ecosysteem.

De mogelijke schade aan zoöplankton door de TEO-installatie is moeilijk vast te stellen. De meerderheid van de lezen literatuur geeft aan dat er sterfte plaatsvindt in de installatie (zie paragraaf 3.2.2). Maar in deze studies werden vrij hoge temperaturen van het oppervlak-

tewater gehaald en chlorering gebruikt, wat niet of in veel mindere mate van toepassing is bij TEO-installaties. De *in vitro* studies maakten gebruik van grovere filters, maar toonden aan dat de mechanische schade aan zoöplankton beperkt is. In een TEO-installatie zullen filters worden gebruikt met een kleinere maaswijdte dan die gebruikt zijn voor het onderzoek in de beschreven artikelen, maar de verwachte schade kan beperkt zijn. Sterfte van zoöplankton kan wel ontstaan doordat filter-feeders (mosselen bijvoorbeeld) zich hechten in het leidingsysteem van de installatie en hier leven van het zoöplankton dat voorbij komt. Het schoonhouden van het netwerk van leidingen voorkomt de groei van deze organismen.

De effecten van de TEO-installatie op populatieniveau van het zoöplankton zijn nog niet onderzocht in de literatuur, maar het ligt voor de hand dat deze afhankelijk is van de locatie van de installatie. In open, dynamische wateren is de verwachting dat de mogelijke sterfte van zoöplankton door een TEO-installatie niet of alleen een heel lokaal effect heeft op de populatie in dat waterlichaam. In kleine, afgesloten wateren kunnen mogelijk wel grotere effecten op populatieniveau optreden, maar hiervoor is onderzoek nodig waarin wordt nagegaan wat de soortensamenstelling en dichtheid van het zoöplankton is in het open water en hoeveel sterfte (of andere schade optreedt) in de TEO-installatie per tijdseenheid (bijvoorbeeld dag in het voorjaar). Op deze manier kan dan kwantitatief berekend worden wat de effecten zijn van de TEO-installatie op de populatie van het zoöplankton (dezelfde exercitie kan uiteraard ook voor vis, fytoplankton en zelfs voor de bacteriën uitgevoerd worden).

Ook het fytoplankton komt in de installatie terecht en afhankelijk van de maaswijdte van het fijne filter doorloopt het fytoplankton de gehele installatie. De meeste studies observeren een reductie van het fytoplankton, maar ook hier worden in de meeste studies biociden toegevoegd aan het water. Hierdoor blijft het onduidelijk wat de effecten voor fytoplankton zijn door filters en warmtewisselaars in een TEO-installatie. Qua effect op de populatie was er in de studie van Li et al., (2018) 1 km benedenstrooms geen effect waarneembaar. Mogelijk heeft een TEO-installatie alleen lokaal een effect wanneer het is geplaatst in een waterlichaam met open verbindingen naar andere wateren.

Voor de laatste groep, de bacteriën en archaea, zijn geen studies gevonden die puur naar de schade kijken voor deze organismen. Alle studies richten zich op de mogelijke schade die kan ontstaan aan de installatie door verstopping en microbiële geïnduceerde corrosie van deze organismen. Wij verwachten dat de installatie schade geeft aan de microbiële cellen, maar of dat op het ecosysteem niveau relevant zal zijn is nu niet aan te geven maar wordt niet als een reëel risico ingeschat.

4.3 ADVIES FILTERS EN WARMTEWISSELAARS

Er is geen wetenschappelijke literatuur gevonden waarin de eigenschappen van de fijne filters en warmtewisselaars van TEO-installaties op de schade aan aquatische organismen systematisch werd onderzocht, daardoor kunnen er geen conclusies worden getrokken over de grootte van de schade bij verschillende filterafmetingen of verschillende typen warmtewisselaars. In de meeste artikelen werd alleen een watermonster genomen bij de in- en uitlaat van een installatie (voor installaties in het algemeen, niet specifiek enkel TEO). In de installaties zelf werd niet bemonsterd. Welk onderdeel van de installatie dan de schade heeft bezorgd is dus niet bekend.

De manier van schoonmaken van het fijne filter heeft mogelijk effect op de overleving van de ingezogen aquatische organismen die op het filter achterblijven (Figuur 2.2). Het is aan te raden om de fijne filters vaak schoon te spoelen (het schema voor automatisch schoonspoelen via instelbaar drukverschil aanpassen), om de schade door de zuigkracht en drukkracht te verminderen. Maar of dit mogelijk is voor de gebruikte filters bij TEO-installaties moet worden onderzocht. De effecten op mogelijke schade van de verschillende fijne filters zijn namelijk nog onbekend. Bij een hydraulische filter wordt de stroomrichting van het water omgedraaid en is de potentiële schade aan de aquatische organisme in het residu waarschijnlijk afhankelijk van de duur van de botsing, spoeldruk, de stroomsnelheid van het water en botsingen met andere loskomende deeltjes/organismen. Voor het mechanische filter worden twee verschillende soorten gebruikt; het Bernoulli filter werkt met een schoonmaakdisk die verticaal langs het filter beweegt om het filter schoon te drukken wanneer deze verstopt raakt. Het suction filter gebruikt een soort stofzuiger die het schone water aanzuigt en hiermee het vuil opzuigt.

Hierbij kan een organisme mogelijk schade ondervinden door verandering van stroomsnelheid, drukkrachten, botsing met andere deeltjes die loskomen en door de mechanische schoonmaakmethodes. Of er inderdaad verschil in schade is te vinden bij gebruik van de verschillende fijne filters is nog onbekend.

4.4 KENNISLEEMTES

De uitgevoerde literatuurstudie heeft een aantal afbakeningen waardoor er mogelijk effecten niet worden meegenomen. Zo is er alleen gekeken naar de acute schade aan de organismen die het systeem in worden gezogen. De indirecte schade (bijvoorbeeld latere sterfte als gevolg van verwondingen na passage door de installatie of doorwerkingen naar andere trofische niveaus van het voedselweb) aan de organismen is buiten beschouwing gelaten. Organismen kunnen het passeren van de installatie mogelijk overleven, maar door de ervaren stress of drukverschillen kan er schade ontstaan die alleen op de lange termijn zichtbaar wordt.

Verder is er niet gekeken naar de effecten van de schade en sterfte op het functioneren van het voedselweb. Hoe het voedselweb wordt beïnvloed is afhankelijk van verschillende parameters, zoals bijvoorbeeld het habitat van het waterlichaam, nutriënten, temperatuur en de aanwezige organismen zelf. In hoofdstuk 5 is hier wel advies voor opgenomen. Deze situatie is verschillend per watertype en de relaties zijn zeer complex. Het is goed om eerst een beter beeld te krijgen van de schade aan de aquatische organismen in Nederland in verschillende watertypen en de mogelijke effecten op de populatie en ecologische gevolgen. Wanneer dit bekend is kan ook het effect van temperatuursverandering in het water van de TEO-installatie (afgekoeld of opgewarmd) worden meegenomen of vergeleken met dit effect. Deze ecologische effecten zijn al eerder beschreven in Wortelboer en Harezlak, 2020.

Ecosysteemeffecten van TEO-installaties kunnen ook inzichtelijk gemaakt worden met behulp van modellen. Voor de directe effecten op algen kan het beste gebruik gemaakt worden van Delft3D-WAQ/BLOOM. Voor indirecte effecten op het voedselweb kan het beste gebruik worden gemaakt van PCLake. Voor directe effecten op zoöplankton hangt de modelkeus af van de relevantie van de ruimtelijke differentiatie en de voorspelbaarheid van de predatiedruk door vissen. In alle gevallen is het aan te bevelen om de modellen zo goed mogelijk af te regelen op de lokale situatie. Hogere trofische niveaus kunnen met Ecopath doorgerekend worden.

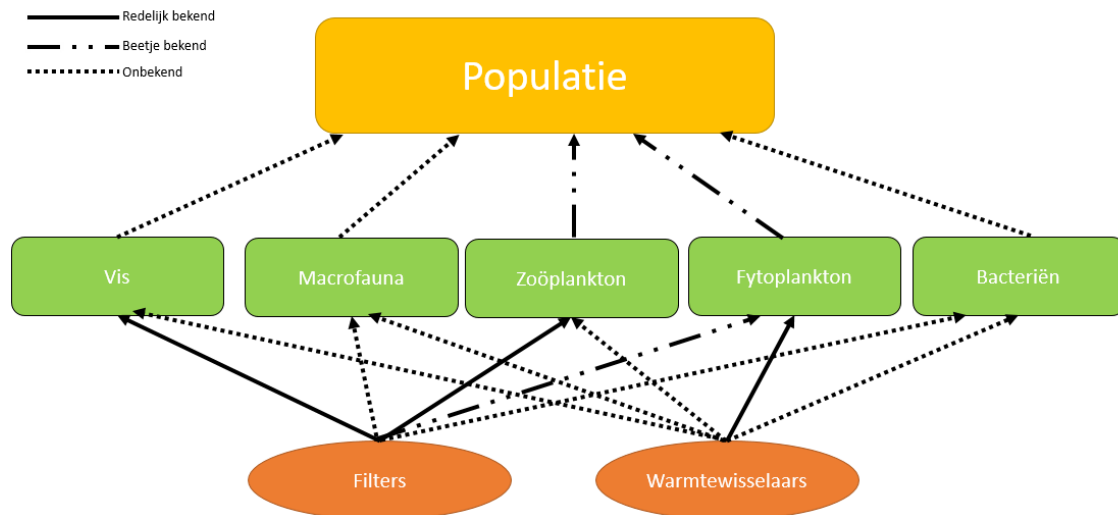
Er zou ook gekeken moeten worden naar de effecten van chemische en (vooral) mechanische reiniging van de leidingen en warmtepompen. In deze studie is aangegeven dat reiniging met chloride zeer schadelijk is voor alle levensvormen. In een TEO-installatie wordt dit in mindere mate gebruikt. Andere methoden (zie Hoofdstuk 2) kunnen gebruikt worden om verstopping en corrosie in de leidingen tegen te gaan. Afhankelijk van de locatie waar dit wordt toegepast, de dosering en afvoer, kan dit gevolgen hebben voor de aquatische organismen. Hier is in dit onderzoek niet verder op in gegaan.

5

CONCLUSIES & AANBEVELINGEN

Kennis over effecten van verschillende installaties op de bestudeerde biota zijn samengevat in Figuur 5.1. Het gaat hier om installaties zoals koelwaterinstallaties in waterkrachtcentrales. Over effecten van filters en warmtewisselaars in TEO-installaties op aquatische biota zijn geen onderzoeksresultaten gevonden.

FIGUUR 5.1 OVERZICHT VAN MATE VAN BEKENDHEID VAN EFFECTEN VAN FILTERS EN WARMTEWISSELAARS UIT INSTALLATIES, ZOALS KOELWATERINSTALLATIES OF WATERKRACHTCENTRALES, OP VIJF GROEPEN AQUATISCHE ORGANISMEN. HET ONTWERP VAN DE PIJLEN GEEFT DE MATE VAN GEVONDEN INFORMATIE WEER. DE KLEUREN IN DE CIRKELS OF RECHTHOeken HEBBEN GEEN BETEKENIS



Uit deze literatuurstudie kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Er zijn nog geen wetenschappelijke onderzoeksresultaten gepubliceerd over mogelijke schade aan organismen in een TEO-installatie. In deze studie is daarom veel literatuur geraadpleegd over effecten van andere installaties zoals koelwaterinstallaties in verschillende centrales.
- Op basis van die studies is het aannemelijk dat aquatische organismen mogelijk trek-, druk- en schuifkrachten, stress en versnellingen ondervinden door botsing met onderdelen in de installatie of doordat ze de installatie worden ingezogen en meegevoerd.
- Uit deze onderzoeken bleek dat de grootste schade optrad bij zoöplankton en fytoplankton.
- Voor het zoöplankton zijn de mechanismen die tot sterfte leiden niet altijd duidelijk. Vaak kwam dat door chlorering en hoge temperaturen die worden gehanteerd in de installatie (>30°C), maar een (klein) deel van de sterfte van zoöplankton werd ook veroorzaakt door de aanwezigheid van filter-feeders die leven in het leidingnetwerk.
- Er is vrijwel geen informatie beschikbaar over de debieten, gebruikte filters, snelheden etcetera in de installaties in de geraadpleegde studies. Hierdoor is het moeilijk om een inschatting te maken van de mate van schade aan aquatische organismen door onderdelen van een TEO-installatie. In een TEO-installatie is de verwachting dat organismen

de drukval, trek- en schuifkrachten, en thermische stress anders zullen ervaren dan nu beschreven is voor de andere installaties, maar wat de effecten precies zijn en welke aspecten de meeste invloed hebben kunnen we niet met zekerheid zeggen.

- Er wordt verwacht dat de hydraulische fijne filters, in combinatie met instroomsnelheden die gelijk zijn aan die bij energiecentrales, schade veroorzaken aan de organismen. Voor de warmtewisselaars wordt verwacht dat de installaties met het kortste traject, lage druk en versnelling van het water de minste schade geven.
- Uitgaande van de mate van schade zoals beschreven in de literatuur voor de andere onderzochte installaties, zullen de effecten van schade op populatie- en ecosysteemniveau mogelijk beperkt zijn in grote dynamische wateren. In kleine afgesloten wateren kunnen mogelijk wel grotere effecten optreden. Hier is eerst onderzoek naar nodig voordat er duidelijke conclusies kunnen worden getrokken (zie hieronder).
- Een open TEO-installatie zorgt voor meer schade bij aquatische organismen door de inzuiging dan een gesloten TEO-installatie, omdat hier geen organismen in het systeem komen. Ondanks dat de warmteonttrekking minder efficiënt is, is het interessant om toepassing van deze gesloten systemen verder te onderzoeken. We verwachten dat een gesloten installatie een goed alternatief is in kleinere wateren, waar een open TEO-systeem mogelijk te veel schade geeft aan de aquatische organismen.

De volgende adviezen volgen uit deze studie:

- Het wordt aanbevolen om de effecten per type filter en warmtewisselaar in het lab en veld te onderzoeken om een beter inzicht te verkrijgen in de mate van schade per installatie-onderdeel, inclusief de verschillende reinigingsmethodes.
- Er wordt verwacht dat hydraulische reiniging minder schade veroorzaakt aan organismen dan mechanische reiniging. Het wordt daarom aanbevolen om dit in de praktijk te onderzoeken.
- In deze literatuurstudie is niet naar voren gekomen wat de effecten zijn van een TEO-installatie op de waterkwaliteit. Algen komen in de installatie terecht, maar de schade is tot nu toe onduidelijk. Eerdere studies hebben wel onderzocht wat de kansen zijn voor waterkwaliteitsverbetering bij verandering van de TEO-installatie, bijvoorbeeld door toevoegen van een zandbed of flexbed filter (de Jong et al, 2020). Praktijkproeven moeten aantonen of dit de waterkwaliteit ook daadwerkelijk verbetert. Bij gebruik van een flexbed filter kan de schade aan organismen hoger worden doordat het water door nog een filter gaat.
- Bemonstering van biota dient in de zomer uitgevoerd te worden, omdat dan de TEO-installaties operationeel zijn.
- Daarna kunnen de resultaten van die onderzoeken gebruikt worden om door te rekenen wat de gevolgen op populatie- en ecosysteemniveau zijn. Ook kan dan het effect van temperatuursverandering in het water van de TEO-installatie (afgekoeld of opgewarmd) worden meegenomen.
- Het kan echter zijn dat ontwikkeling van TEO toepassingen sneller gaan dan er onderzoek in het veld en lab verricht kan worden. In dat geval is het advies om met modelstudies te beginnen, ook al moeten er verschillende aannames gedaan worden. Deze aannames kunnen in de toekomst dan vervangen of bijgesteld worden met onderzoek data uit veld- en labwerk.
- Voor de modellering wordt het volgende geadviseerd:
 - Om de effecten van TEO-installaties op populatie- en ecosysteemniveau ruimtelijk te berekenen kan gebruik worden gemaakt van 2D of 3D hydrodynamisch-waterkwaliteitsmodellen. Delft3D is hier een voorbeeld van. Kanttekening is dat de effecten op

het gehele voedselweb niet doorgerekend kunnen worden (Delft3D is beperkt tot de primaire producenten, zoöplankton en Dreissena's).

- De volgende scenario's zouden in een modelstudie uitgevoerd kunnen worden:
 - verschillende percentages aan verlies van plankton door de TEO-installatie (aangevuld met selectie van genera) om vervolgens door te rekenen wat dit betekent voor het fytoplankton en zoöplankton.
 - het variëren van het aantal installaties aan een waterlichaam om te zien waar een eventueel ecologisch omslagpunt ligt.
 - Verschillende watersystemen; matig groot en kleine wateren, diep en ondiep. In een vervolgstudie zou een advies kunnen worden opgesteld tot wanneer een open TEO-systeem in het open water geplaatst kan worden. Voor grote wateren valt geen relevant effect te verwachten omdat een relatief klein deel van het watervolume wordt ingenomen door de installatie.
 - Effecten op de waterkwaliteit, onder andere de effecten op nutriëntendynamiek (en de gevolgen daarvan op fytoplankton etc.).
- Bovenstaande scenario's kunnen variaties in het operationele systeem van TEO-installaties meenemen (in welke periode water innemen etc.)
- Aanvullend hieraan zou PCLake ingezet kunnen worden om effecten op waterplanten door te rekenen.
- Voor het doorrekenen van TEO-installatie effecten op hogere trofische niveaus zouden andere (open source) modellen zoals Ecopath geraadpleegd kunnen worden.

AANBEVELINGEN VOOR DE VERGUNNINGVERLENING

- Voor kleinere (regionale) wateren is het advies om een afweging te maken tussen de deltaT en het ingenomen volume. Vergroting van deltaT en van volume kunnen beiden, op een andere manier, leiden tot extra schade. Wat de effecten van een grote delta T en/of ingenomen volume op aquatische organismen is moet dan wel onderzocht worden. Daarvoor moeten direct aan de uitlaat monsters genomen worden om te zien of de organismen die de installatie verlaten nog levensvatbaar zijn.
- Bij voorkeur toepassen van hydraulische fijne filters.
- Om de schade door botsing met het aanzuigfilter zo veel mogelijk te beperken wordt geadviseerd de stroomsnelheid hier <math><0,5\text{ m/s}</math> te houden.

6

REFERENTIES

Acevedo-Trejos, E., Brandt, G., Bruggeman, J., en Merico, A. (2015). Mechanisms shaping size structure and functional diversity of phytoplankton communities in the ocean. *Scientific Reports*, 5:8918.

Bamber, R. N., & Seaby, R. M. (2004). The effects of power station entrainment passage on three species of marine planktonic crustacean, *Acartia tonsa* (Copepoda), *Crangon crangon* (Decapoda) and *Homarus gammarus* (Decapoda). *Marine Environmental Research*, 57(4), 281 – 294. doi:10.1016/j.marenvres.2003.08.0

Bamber, R. N., Seaby, R. M. H., Fleming, J. M., & Taylor, C. J. L. (1994). The effects of entrainment passage on embryonic development of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Nuclear Energy*, 33, 353 – 357.

Bell, M.C. (1974). Fish passage through turbines, conduits and spillway gates. In L.D. Jensen (editor), *Proceedings of the second workshop in entrainment and intake screening*, p 251-261. Electric Power Res. Inst. Res. Proj. RP-49 Rep. 15, Palo Alto, Calif.

Bienfang, P., and Johnson, W. (1980). Response of subtropical phytoplankton to power plant entrainment. *Environ. Pollut. Ser. A, Ecol. Biol.*, 22: 165-178 Briand, F.J.P (1975). Effects of power-plant cooling systems on marine phytoplankton. *Mar. Biol.*, 33: 135-146

Bricknell I, Dalmo RA., 2005. The use of immunostimulants in fish larval aquaculture. *Fish Shellfish Immunol* 19: 457 – 472.

Capuzzo J.M (1980) Impact of power-plant discharges on marine zooplankton: A review of thermal, mechanical and biocidal effects. *Helgoländer meeresunters.* 33, 422-433.

Christensen, V., C.J. Walters & D. Pauly (2005) *Ecopath with Ecosim: a user's guide*. Fisheries Centre, University of British Columbia, Vancouver. November 2005 edition, 154 p. (available online at www.ecopath.org).

Davies, R.M., and Jensen L.D (1974) Effects of entrainment of zooplankton at three mid-atlantic power plants. Electric Power research institute; Cooling water discharge research project (RP-49). Report no 10.

Davis MH (1983) The response of entrained phytoplankton to chlorination at a coastal power station (Fawley, Hampshire). Central Electricity Generating Board. Report No. TPRD/L/2470/N83

De Fockert, A., Cardose, R., Molenaar, R., van der Werff, B., de Vlieger, H., Godschalk B., Meddeler, B., Bos, S., Oesterholt, F., en Moerman, A. (2021) *Aquathermie configuraties: Overzicht TEO, TED en TEA door middel van factsheets, kostenkanten en beslisbomen*. Innovatieplan WarminUP. Projectnummer 11205156. Beschikbaar via: <https://www.warmingup.info/documenten/aquathermie-configuraties.pdf>

De Fockert, A & Harezlak, V. (2021). *Ontwerphandreiking Aquathermie-TEO WarmingUp werkpakket 3C*. Projectnummer: 11205156. Beschikbaar via: <https://www.warmingup.info/documenten/ontwerphandreiking-aquathermie-teo.pdf>

- De Jong, AEE., Jansen, S, Gerritse, J (2020) Literatuurstudie N verwijdering Sloterplas. Deltares. Projectnummer: 11206396-00
- Dias, C.O. & Bonecker, S.L.C. (2008). Long-term study of zooplankton in the estuarine system of Ribeira Bay, near a power plant (Rio de Janeiro, Brazil). *Hydrobiologia*, 614:65 – 81.
- Dixon D.A. (2000). Technical Evaluation of the Utility of Intake Approach Velocity as an Indicator of Potential Adverse Environmental impact under Clean Water Act Section 316(b), EPRI report 1000731
- Evans, M. S., Warren, G. J., & Page, D. I. (1986). The effects of power plant passage on zooplankton mortalities: Eight years of study at the Donald C. Cook nuclear plant. *Water Research*, 20(6), 725 – 734. doi:10.1016/0043-1354(86)90096-5
- Gentile, J. H., Cardin, J., Johnson, M. & Sosnowski, S. (1976). Power plants, chlorine and estuaries. - U.S. Environmental Protection Agency, Ecological Research, Washington, D. C., Rept. No. 600/3-76-055, 28 pp.
- Goldman, J.C., Quinby, H.L. (1979). Phytoplankton Recovery after Power Plant Entrainment. *Water Pollution Control Federation*, 51(7);1816-1823
- Goss, L. B. and Bunting, D. L. (1976). Thermal tolerance of zooplankton. *Water res.* 10,387-398.
- Hanson, C.H., J.R. White, and H.W. Li. 1977. Entrapment and impingement of fish by power plant cooling-water intakes: an overview. *Mar. Fish. Rev.* 39(10):7-17.
- Harezlak, V. (2021). Effecten van koudelozingen op het ecologisch functioneren van oppervlaktewatersystemen
Literatuurstudie – Warming Up. Projectnummer: 11205155
- Havel, J. E. (2009). Cladocera. *Encyclopedia of Inland Waters*, 611 – 622. doi:10.1016/b978-012370626-3.00145-9
- Heinle, D. R. (1969). Temperature and zooplankton. *Ches. Sci.* 10, 186-209.
- Holt G. J., 2011. Larval Fish Nutrition. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Jager, Z., en van Walraven, L. (2020). Review of the possible interactions between Blue Energy and aquatic organisms. Deliverables 1.2 & 1.3 of project OOB (Onderzoek Omgevingseffecten Blue Energy). NIOZ Report 2020-04. NIOZ Royal Netherlands Institute for Sea Research: Texel. 56 pp. <https://doi.org/10.25850/nioz/7b.b.2>
- Janse, J.H. (2005) Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches. Proefschrift WUR, ISBN 90- 8504-214-3.
- Jordan, R.A., Martin, P.G., Sutton, C.E., 1983. Selective effects of phytoplankton entrainment at the surry power plant, james river, virginia. *Hydrobiologia* 106, 253 – 261.
- Karås, P. (1992). Zooplankton entrainment at Swedish nuclear power plants. *Marine Pollution Bulletin*, 24(1), 27 – 32. doi:10.1016/0025-326x(92)90313-u
- Kartasheva, N. V., Fomin, D. V., Popov, A. V., Kuchkina, M. A., & Minin, D. V. (2008). Impact assessment of nuclear and thermal power plants on zooplankton in cooling ponds. *Moscow University Biological Sciences Bulletin*, 63(3), 118 – 122. doi:10.3103/s009639250803005x
- Keller, K.J. (1970) Lozing van koelwater in de toekomst. *H2O* 3(21): 533-537.

- Kruit, K.S.B., Schepers, B., Roosjen, R., en Boderie, P. (2018) Nationaal potentieel van aquathermie – Analyse en review van de mogelijkheden. CE Delft.
- Kunst, J.M., Spaargaren B., Vriese T., Kroes M., Rutjes C., van der Pauw Kraan E., Joker R.R., (2010), Gemalen of vermalen worden, STOWA rapport 2010-W03
- Lapkov, A.S., Postoev, V.S., Kirillova, K.I., 1987. New method of operating turbines with consideration of the biological factors. Abstracts of Papers (in Russian).
- Lashkov, A.S., Postoev, V.S., 1988. Why rivers are dying. Priroda Chelovek 4
- Lawler, Matusky & Skelly Engineers (1979). Ecosystem effects of phytoplankton and zooplankton entrainment. Interim Report, EA-1038, Research project 876, United States. <https://doi.org/10.2172/6241922>
- Li, H., Zhao, W., Tang, X., Li, Q., Guo, W., Gong, D. (2018) Entrainment effects of a small-scale diversion-type hydropower station on phytoplankton. *Ecological Engineering*, 116: 45-51, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.02.030>.
- Liu, J., Li, B., Wang, Y., Zhang, G., Jiang, X., and Li, X. (2019) Passage and community changes of filterable bacteria during microfiltration of a surface water supply. *Environment International*, 131:104998. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104998>
- Maar, M., Butenschön, M., Daewel, U., Eggert, A., Fan, W., Hjøllø, S. S., Hufnaglg, M., Huret, M., Ji, R., Lacroix, G., Peck, M.A., Radtke, H., Saille, S., Sinerchia, M., Skogen, M.D., Travers-Trolet, M., Troost, T.A., van de Wolfshaar, K. (2018). Responses of summer phytoplankton biomass to changes in top-down forcing: Insights from comparative modelling. *Ecological Modelling*, 376(March), 54–67. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.03.003>.
- Mackie GL, Gibbons WN, Muncaster BW, Gray IM (1989) The zebra mussel (*Dreissena polymorpha*): a synthesis of European experiences and a preview for North America. Ontario Ministry of Natural Resources, Water Resources Branch, Great Lakes Section, Toronto, pp 22
- Maia-Barbosa, P.M., Peixoto, R.S., en Guimaraes, A.S. (2008). Zooplankton in littoral waters of tropical lake: a revisited biodiversity. *Braz. J. Biol.*, 68(4): 1069-1078.
- Marcy B.C, Beck A.D., & Ulanowicz R.E (1978). Effects and impacts of physical stress on entrained organisms. In: JR Schubel en BC Marcy Jr. eds. *Powerplant entrainment: A biological assessment*. Academic Press.
- Martens, K., & Horne, D. J. (2009). Ostracoda. *Encyclopedia of Inland Waters*, 405–414. [doi:10.1016/b978-012370626-3.00184-8](https://doi.org/10.1016/b978-012370626-3.00184-8)
- Mayhew, D. A., Jensen, L. D., Hanson, D. F., & Muessig, P. H. (2000). A comparative review of entrainment survival studies at power plants in estuarine environments. *Environmental Science & Policy*, 3, 295–301. [doi:10.1016/s1462-9011\(00\)00069-1](https://doi.org/10.1016/s1462-9011(00)00069-1)
- McMahon, R. F. (1990). The zebra mussel: US utility implications (No. EPRI-GS-6995). Electric Power Research Inst.
- Metlon, B.R., and Serviss, G.M. (2000). Florida Power Corporation—Anclote Power Plant Entrainment Survival of Zooplankton. *Environmental Science & Policy*, 3 (1):233-248, [https://doi.org/10.1016/S1462-9011\(00\)00062-9](https://doi.org/10.1016/S1462-9011(00)00062-9).

- Muessig, P.H., Young, Y.R., Vaughan, D.S., Smith B.A. (1988). Advances in field and analytical methods for estimating entrainment mortality factors. L.W Barnthouse, R.J Klauda, D.S Vaughan, R.L Kendell (Eds.), Science, Law, and Hudson River Power Plants, A Case Study in Environmental Impact Assessment, American Fisheries Society Monograph 4, Bethesda, MD.
- Nalepa, T.F., en Schloesser, D. (1992). In: Zebra Mussels Biology, Impacts, and Control. Chapter 22 Infestation of power plant water system by the Zebra mussel (*Dreissena polymorpha* Pallas). Lewis Publisher.
- Poornima, E.H., Rajadurai, M., Rao, T.S., Anupkumar, B., Rajamohan, R., Narasimhan, S.V., Rao, V.N.R., Venugopalan, V.P. (2005) Impact of thermal discharge from a tropical coastal power plant on phytoplankton. *Journal of Thermal Biology*, 30 (4): 307-316.
- Poornima, E.H., Rajadurai, M., Rao, V.N.R., Narasimhan, S.V., Venugopalan, V.P. (2006). Use of coastal waters as condenser coolant in electric power plants: Impact on phytoplankton and primary productivity. *Journal of Thermal Biology*, 31(7):556-564. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2006.05.009>
- Prentice, E.F., and Ossiander, F.J. (1974). Fish diversion systems and biological investigation of horizontal traveling screen model VII. In L.D. Jensen (editor), Proceedings of the second workshop in entrainment and intake screening, p 205-214. Electric Power Res. Inst. Res. Proj. RP-49 Rep. 15, Palo Alto, Calif.
- Rajadurai, M., Poornima, E.H., Narasimhan, S.V., Rao, V.N.R., Venugopalan, V.P. (2005). Phytoplankton growth under temperature stress: laboratory studies using two diatoms from a tropical coastal power station site. *J. Therm. Biol.*, 30: 299-306
- Saravanane, N., Satpathy, K.K., Nair, K.V.K., and Durairaj, G. (1998). Preliminary observations on the recovery of tropical phytoplankton after entrainment. *J. Therm. Biol.*, 23: 91-97
- Sellner, K.G., Kachur, M.E., Lyons, L. (1984). Alterations in carbon fixation during power plant entrainment of estuarine phytoplankton. *Water Air Soil Pollut*, 21: 359-374
- Vadstein, O., Bergh, O., Gatesoupe, F.J., Galindo Villegas, J., Mulero, V., Picchiatti, S. (2013) Microbiology and immunology of fish larvae. *Rev Aquacult.*,5:S1 – S25
- Van Giels, J. (2008). De effecten van onttrekking van koelwater op vis Metingen voorjaar 2008. Rijkswaterstaat Waterdienst, Projectnummer: 20080249
- Venugopalan, V. P., Rajagopal, S., & Jenner, H. A. (2011). Operational and Environmental Issues Relating to Industrial Cooling Water Systems: An Overview. *Operational and Environmental Consequences of Large Industrial Cooling Water Systems*, 1– 12. doi:10.1007/978-1-4614-1698-2_1
- Wallace, R. L., & Smith, H. A. (2009). Rotifera. *Encyclopedia of Inland Waters*, 689–703. doi:10.1016/b978-012370626-3.00147-2
- Walter, T.C. and Boxshall, G. (2022). World of Copepods Database. Accessed at 07-01-22 <https://www.marinespecies.org/copepoda> on 2022-01-07. doi:10.14284/356
- Wortelboer, R., Harezlak, en de Groot-Wallast, I (2020). Monitoringsplan Ecologische Effecten Thermische Energie Oppervlaktewater. Uitgevoerd onder Warming Up. Deltares report: 11205155 T3B

BIJLAGE

FIGUUR A.1 LENGTE (IN MM) VAN A) EIEREN, B) LARVEN, EN C) POST-LARVEN VAN VERSCHILLENDE ZOET EN ZOETWATER VISSEN (BRON: JAGER & VAN WALRAVEN, 2020)

