

MONITORINGSADVIES TEO-SYSTEMEN

EFFECTEN VAN EEN KOUDELOZING



RAPPORT

2025
04

MONITORINGSADVIES TEO-SYSTEMEN
EFFECTEN VAN EEN KOUDELOZING

RAPPORT

2025

04

ISBN 978.94.6479.092.4



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS D.R.G. van Wieringen MSc (Witteveen+Bos)
V. Harezlak (Deltares)
S. Kelderman (Deltares)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Marlon Dijkshoorn (RWS MN);
Onno Frankena (RWS ZN);
Wiebe Lekkerkerk (HDSR);
Denise Winters (HHNK);

VORMGEVING Buro Vormvast
STOWA STOWA 2025-04
ISBN 978.94.6479.092.4

De inhoud van deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden in de publicatie, of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud ervan.

STOWA spant zich in de rechthebbenden van in de uitgave gebruikte afbeeldingen te respecteren conform het auteursrecht. Indien u desondanks van mening bent dat uw rechten in het geding zijn, dan verzoeken wij u contact met ons op te nemen.

TEN GELEIDE

MONITORINGADVIEZEN VOOR TEO-SYSTEMEN PLUS MOGELIJKE MITIGERENDE/ COMPENSERENDE MAATREGELEN

Bij het winnen van warmte uit oppervlaktewater, loost de warmteterugwininstallatie water dat kouder is dan die van het ontvangende oppervlaktewater. Deze koudelozingen kunnen van invloed zijn op de ecologische waterkwaliteit ter plekke. Maar hoe monitor je die invloed? STOWA en Rijkswaterstaat hebben een rapport laten opstellen met adviezen over de in vergunningen op te nemen monitoringeisen ten aanzien van het monitoren van koudepluimen en effecten op de biologische waterkwaliteit te monitoren.

Dit rapport biedt heldere richtlijnen voor het opstellen van monitoringeisen in vergunningen voor TEO-systemen (Thermische Energie uit Oppervlaktewater), conform de *Handreiking voor beoordeling van ecologische effecten van TEO-systemen 2.0* uit 2023. Voor standaardvergunningen zijn de eisen vereenvoudigd ten opzichte van eerdere monitoringplannen: minder parameters (vooral binnen fysische chemie), lagere meetfrequenties en een strakker onderscheid tussen monitoringniveaus die aansluiten bij verschillende vergunningtypes.

Bij maatwerkvergunningen zijn de eisen afgestemd op de specifieke beoordeling. Het advies biedt meerdere opties om koudepluimen en effecten op de biologische waterkwaliteit te monitoren. De resultaten worden getoetst aan de Kaderrichtlijn Water (KRW) of andere relevante lokale waterkwaliteitsdoelen. Gezien de onzekerheden in biologische metingen is uitgebreide monitoring cruciaal om betrouwbare conclusies te trekken, ondanks de hogere kosten.

Het rapport bevat tevens adviezen voor mitigerende en compenserende maatregelen om mogelijke negatieve effecten van TEO-installaties te minimaliseren.

Het rapport heeft de vorm van drie factsheets: één voor monitoring bij een standaardbeoordeling, één voor monitoring bij een maatwerkbeoordeling en één met een overzicht van mitigerende en compenserende maatregelen. Vervolgens zijn de opties en afwegingen toegelicht in de rapportage.

De geadviseerde aanpak in het rapport levert naar verwachting waardevolle inzichten op over de ecologische impact van TEO-systemen. STOWA moedigt waterbeheerders aan om de via monitoring verzamelde gegevens met ons te delen, voor bredere toepassing en kennisdeling.

Mark van der Werf
Directeur STOWA

VOORWOORD

Het voorliggende document geeft advies voor het stellen van monitoringseisen in een vergunning voor thermische energie uit oppervlaktewater (TEO)-installaties, en mogelijke mitigerende en compenserende maatregelen. Het document is een aanvulling op de tweede versie van de handreiking voor beoordeling van ecologische effecten van TEO-systemen (Witteveen+Bos en FLO Legal, 2023).

Het monitoringsadvies is eerst beknopt beschreven in drie factsheets: een voor monitoring bij een standaardbeoordeling, monitoring bij een maatwerkbeoordeling en een overzicht van mitigerende en compenserende maatregelen. Vervolgens zijn de opties en afwegingen toegelicht in de rapportage.

FACTSHEET MONITORINGSADVIES BIJ STANDAARDBEOORDELING

Bij de standaardbeoordeling wordt de aangevraagde thermische energie uit oppervlaktewater (TEO)-installatie getoetst aan de criteria uit de handreiking voor beoordeling van ecologische effecten van TEO-systemen 2.0 (Witteveen+Bos en FLO Legal, 2023) (hierna 'Handreiking TEO 2.0'). Als aan deze criteria wordt voldaan, zijn de ecologische effecten op voorhand verwaarloosbaar klein en kan de vergunning verleend worden. Als er niet wordt voldaan aan één van de criteria, zie dan de Factsheet Maatwerkbeoordeling.

SELECTIE VAN PARAMETERS

De selectie van de parameters volgt uit de criteria die bij een standaardbeoordeling gelden voor het waterlichaam. Dit verschilt per watertype (zie ook tabel 2.1), en betreft:

- alleen het debiet van de TEO-installatie bij regionale en grote rivieren, en vaarten en kanalen met stroming;
- alleen de temperatuur bij grote en matig grote diepe meren;
- in alle andere watertypen zowel het debiet van de TEO-installatie als de temperatuur.

Voor het debiet dient het volgende continu gemeten en geregistreerd te worden:

- het debiet van de TEO-installatie;
- de draaiuren van het systeem.

Voor de temperatuur dient het volgende tijdens het draaien van de TEO-installatie gemeten en geregistreerd te worden:

- de temperatuur van het ingenomen water (elk uur);
- de temperatuur van het te lozen water (elk uur);
- de draaiuren van het systeem (continu).

Jaarlijks voor een bepaalde datum worden de geregistreerde gegevens in digitale vorm toegestuurd aan het bevoegd gezag,

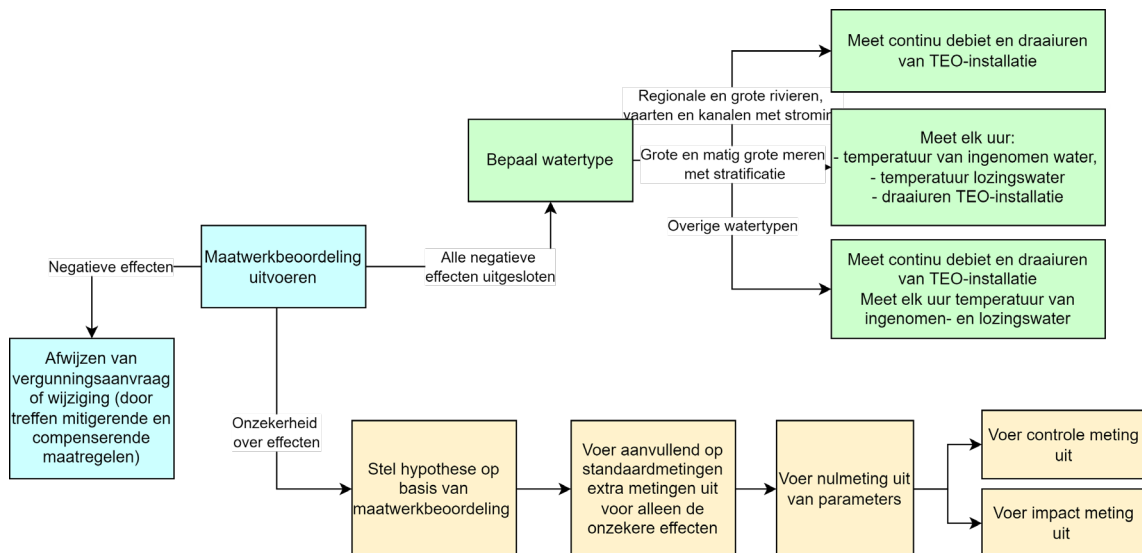
of:

de geregistreerde gegevens worden op verzoek van het bevoegd gezag in digitale vorm toegestuurd.

FACTSHEET MONITORINGSADVIES BIJ MAATWERKBEOORDELING

Welke parameters gemonitord moeten worden hangt af van de resultaten van de maatwerkbeoordeling. Alleen als effecten van de koudelozing niet kunnen worden uitgesloten, maar de waterbeheerder bereid is toch een vergunning te verlenen, is aanvullende monitoring nodig. Anders volstaat standaardmonitoring, zie het stappenplan in afbeelding 0.1. Tabel 0.1 toont de parameters die gemeten moeten worden als mogelijke effecten niet met zekerheid zijn uitgesloten.

AFBEELDING 0.1 STAPPENPLAN VOOR MONITORING MET IN BLAUW DE STAPPEN UIT DE HANDREIKING TEO 2.0, IN GEEL DE OPTIES VOOR AANVULLENDE MONITORING BIJ ONZEKERHEID OVER EFFECTEN EN IN GROEN MONITORING ALS NEGATIEVE EFFECTEN ZIJN UITGESLOTEN (DEZE EISEN ZIJN HETZELFDE ALS BIJ DE STANDAARDBEOORDELING)



TABEL 0.1 MOGELIJKE EFFECTEN VAN KOUDELOZING OP DE TOESTAND VAN DE FYSISCHE CHEMIE EN DE BIOLOGISCHE KWALITEITSELEMENTEN VAN DE KRW. DAARBIJ DIENT GETOETST TE WORDEN AAN DE SITUATIE WAARIN HET DOEL GEHAALD IS

Indicator waterkwaliteit	Mogelijk effect	Relevante parameters
O ₂ -verzadigingsgraad	Stratificatie door de koudelozing leidt tot onvoldoende zuurstof in de onderstaande laag	Temperatuur Zuurstof
Fytoplankton	De KRW-kwaliteit voor fytoplankton neemt af door verandering van de soortensamenstelling en chlorofyl a-concentratie	Fytoplankton abundantie Fytoplankton samenstelling Temperatuur
Macrofauna	Afname abundantie macrofauna Verandering soortensamenstelling	Macrofauna abundantie Macrofaunasamenstelling Temperatuur
Overige waterflora	Afname van abundantie waterplanten Verandering soortensamenstelling waterplanten	Temperatuur Bedekkingsgraad waterplanten Soortensamenstelling waterplanten
Vis	Afname van abundantie plantminnende en/of reofiele vis Toename abundantie brasem+karper Verandering soortensamenstelling vis Afname aantal soorten migrerende vis	Temperatuur Ruimtegebruik vis, indien grote overlap met verwacht koudepluim en onvoldoende alternatief habitat, vissen vangen Barrièrewerking: zenderen/sonar

FACTSHEET MITIGERENDE EN COMPENSERENDE MAATREGELEN

Wanneer uit de maatwerkbeoordeling blijkt dat negatieve effecten niet zijn uit te sluiten, zijn mitigerende en/of compenserende maatregelen nodig. Met mitigerende maatregelen worden de negatieve effecten van de koudelozing geminimaliseerd. Maatregelen voor mitigatie van de koudelozing zijn:

- grootte van de koudepluim beperken door gebruik van diffusers als uit modellering blijkt dat de koudepluim te groot is. Diffusers zijn aanpassingen van het lozingspunt, zoals roosters en/of gesplitste uitlaten die zorgen voor betere menging van het koude water. Door het koude water beter te mengen zal de grootte van de koudepluim (waar de temperatuur meer dan 4 °C kouder is) kleiner zijn;
- stratificatie (gelaagdheid) beïnvloeden door menging te verbeteren (bijv. met diffusers, zie hierboven) of het direct toevoegen van zuurstof in de koudepluim (bijv. door een luchtpomp te plaatsen);
- stroming beïnvloeden met ontwerp en locatie van lozingspunt en het innamepunt om kortsluiting te voorkomen. Bijvoorbeeld door het inname en lozingspunt verder uit elkaar te leggen;
- variëren met het temperatuurverschil en lozingsdebiet, bijvoorbeeld door met een lager debiet en een hoger temperatuur verschil te werken, zodat de koudepluim een beperkt oppervlak heeft;
- koudelozing aanpassen aan levensstadia van organismen, bijvoorbeeld niet koude te lozen of met een debiet tijdens paai van waardevolle vissoorten;
- TEO-installatie later aanzetten, bijvoorbeeld pas eind juni, als waterplanten zijn opgekomen, zodat deze niet de concurrentie met algen verliezen en het water troebel wordt;
- aanpassen van de installatie zelf. Bijvoorbeeld door het gebruik van een platen- in plaats van buizenwisselaar.

Nadat de mitigerende maatregelen zijn verwerkt in het ontwerp, moet opnieuw in de maatwerkbeoordeling worden getoetst of effecten nu wel zijn uit te sluiten (zie ook Handreiking TEO 2.0, hoofdstuk 6.6).

Als na mitigatie alsnog negatieve effecten worden verwacht, dan kunnen deze worden gecompenseerd door het nemen van maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit. Om effectieve compenserende maatregelen te kiezen is een systeemanalyse nodig. Hiervoor kan de analyse voor de maatwerkbeoordeling volstaan. Zonder systeembegrip is er een risico dat ineffectieve maatregelen worden genomen. Compenserende maatregelen voor negatieve effecten op ecologie zijn:

- stikstof- en/of fosforverwijdering. In sommige gevallen kan dit worden gecombineerd met een TEO-installatie, aangezien voor zowel (open) TEO als fosforverwijdering waterinname nodig is;
- herkolonisatie van soorten, waarop TEO een negatief effect heeft, uit de omgeving faciliteren door habitat voor deze soorten op orde te brengen, bijvoorbeeld in de vorm van drijvend groen of een natuurvriendelijke oever;
- zones voor waterplanten (begroeibaar areaal) elders in het waterlichaam aanleggen;

- compenseren van leefgebied als deze minder ecologisch geschikt wordt. Hiervoor zijn meerdere opties, bijvoorbeeld:
 - bij verminderd ecologisch functioneren van een rietkraag door een TEO-installatie kan deze rietkraag elders worden aangelegd;
 - aanleg van natuurvriendelijke oevers;
 - verrijken van de leefomgeving of habitat met: visbossen, dood hout, aanbrengen van reliëf (bijvoorbeeld met schanskorven en/of ecobeton);
- vispasseerbaarheid verbeteren (bij blokkade migratie) door de aanleg van vispassages.

Voor het dimensioneren van deze compenserende maatregelen is expertoordeel nodig om te bepalen of deze voldoende het effect van de TEO-installatie compenseren.

STOWA IN HET KORT

HOE WE WERKEN

STOWA is het kennis- en innovatiecentrum voor regionale waterbeheerders in Nederland; de waterschappen en provincies. We helpen ze met het verkrijgen van nieuwe kennis en inzichten die nodig zijn om de opgaven van de regionale waterbeheerders beter te kunnen uitvoeren. Dat doen we door kennisvragen te formuleren en te selecteren in programmacommissies. We zetten ons onderzoek uit bij een keur aan experts, adviesbureaus, instituten en universiteiten, die we begeleiden tijdens hun werk. We zorgen voor de beschikbaarstelling en verspreiding van de kennis, inzichten en antwoorden aan de gezamenlijke waterbeheerders. We stimuleren de uitwisseling van kennis en ervaringen, via bijeenkomsten, werkgroepen, excursies, conferenties en communities of practice. We werken samen met onder andere ministeries, Rijkswaterstaat, gemeenten, drinkwaterbedrijven.

WAT WE ONDERZOEKEN

Inhoudelijk richt STOWA zich op alle onderdelen van waterbeheer, van waterkering en stedelijk waterbeheer tot waterzuivering en watersystemen. Belangrijke thema's daarbij zijn klimaatadaptatie, waterveiligheid, waterkwaliteit en ecologie, energietransitie en circulaire economie.

De kennisvragen die STOWA beantwoordt liggen meestal op technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied. Onze kennis is altijd gericht op de praktijk van regionale waterbeheerders. Dat is waar we voor staan, als Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer.

WIE WE ZIJN

STOWA is als kennisorganisatie onafhankelijk, onpartijdig en transparant. De afnemers van onze kennis moeten erop kunnen vertrouwen dat de inhoud van onze rapporten objectief en representatief is. Alleen zo kan onze kennis worden ingezet voor beter waterbeheer en innovaties die antwoord geven op de uitdagingen van vandaag en morgen. Het is aan regionale waterbeheerders zelf te bepalen hoe ze de kennis van STOWA in de praktijk gebruiken. STOWA kan daarbij een rol spelen als adviseur, maar is geen uitvoerder of regisseur.

STOWA is een stichting die de richtlijnen volgt voor organisaties zonder winstoogmerk (RJ-640). In ons jaarverslag is daarom naast de cijfermatige jaarrekening onder meer ook een directieverslag over de stichting, haar activiteiten en kentallen opgenomen.

MONITORINGSADVIES TEO-SYSTEMEN

EFFECTEN VAN EEN KOUDELOZING

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	VOORWOORD	
	FACTSHEET MONITORINGSADVIES BIJ STANDAARDBEOORDELING	
	FACTSHEET MONITORINGSADVIES BIJ MAATWERKBEOORDELING	
	FACTSHEET MITIGERENDE EN COMPENSERENDE MAATREGELEN	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Achtergrond/Aquathermie in de Nederlandse energietransitie	1
	1.2 Aanleiding en doel	1
	1.3 Werkwijze	2
	1.4 Afbakening van het monitoringsadvies	3
	1.5 Stroomschema en leeswijzer	3
2	STANDAARDBEOORDELING	5
	2.1 Inleiding	5
	2.2 Selectie van parameters	5
	2.3 Advies monitoring: wanneer, waar en hoe	6
3	MAATWERKBEOORDELING	7
	3.1 Inleiding	7
	3.2 Selectie van parameters	8
	3.3 Advies monitoring (waar, wanneer en hoe) van temperatuur	9
	3.3.1 Monitoringsperiode (BACI-methode)	9
	3.3.2 Vorm van de koudepluim	9
	3.3.3 Oppervlakte van de koudepluim (t.o.v. begroeibaar areaal)	12
	3.3.4 Natte doorsnede van koudepluim (i.v.m. barrièrewerking)	14
	3.3.5 Lozingstemperatuur in het voorjaar	14
	3.3.6 Diepte van teruglevering	15
	3.3.7 Verschil temperatuur van de lozing en het ontvangende water	15
	3.3.8 Stratificatie (temperatuur en O ₂ -verzadigingsgraad)	15

3.4	Advies monitoring biologische kwaliteitselementen (waar en hoe)	16
3.4.1	Fytoplankton	16
3.4.2	Macrofauna	17
3.4.3	Overige waterflora	17
3.4.4	Vis	18
4	MITIGERENDE EN COMPENSERENDE MAATREGELEN	20
4.1	Inleiding	20
4.2	Mitigerende maatregelen	20
4.3	Compenserende maatregelen	21
5	DISCUSSIE EN CONCLUSIE	24
6	REFERENTIES	25

1

INLEIDING

1.1 ACHTERGROND/AQUATHERMIE IN DE NEDERLANDSE ENERGIETRANSITIE

Nederland staat voor de uitdaging om over te schakelen naar duurzamere energiebronnen als onderdeel van de energietransitie. Aquathermie kan mogelijk een aanzienlijk deel van de Nederlandse energiebehoefte vervullen door gebruik te maken van diverse technieken om met water duurzaam te verwarmen en te koelen. De Unie van Waterschappen, Rijkswaterstaat en STOWA beschouwen het gebruik van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) als een waardevolle bijdrage aan deze transitie. Tegelijkertijd streven ze ernaar om negatieve effecten op de ecologische waterkwaliteit te minimaliseren. Bij het benutten van TEO wordt relatief warm oppervlaktewater ingenomen en na gebruik als afgekoeld water weer terug in het oppervlaktewater geloosd. De kennis over de effecten van de lozing is nog in ontwikkeling.

1.2 AANLEIDING EN DOEL

Eind 2023 is in opdracht van STOWA en Rijkswaterstaat de tweede versie van de handreiking voor beoordeling van ecologische effecten van TEO-systemen uitgebracht (Handreiking TEO 2.0, Witteveen+Bos en FLO Legal, 2023). Het doel van deze handreiking is om vergunningverleners te ondersteunen bij het beoordelen van de ecologische effecten van de winning van thermische energie uit oppervlaktewater. In deze handreiking ontbraken nog handvatten voor monitoring. Daarom hebben Rijkswaterstaat en STOWA aan Deltares en Witteveen+Bos gevraagd om een monitoringsadvies op te stellen dat past bij de drie niveaus van beoordeling in Handreiking TEO 2.0.

Het doel van het voorliggende document is om vergunningverleners te ondersteunen bij het stellen van monitoringseisen in een vergunning. In deze rapportage zijn de opties en afwegingen toegelicht. In twee factsheets is het monitoringsadvies ook kort beschreven. In aanvulling daarop geeft dit rapport een overzicht van mitigerende en compenserende maatregelen.

De handreiking TEO 2.0 kent drie niveaus van beoordeling en daarnaast afwijzing:

1. meldingsplicht: voor kleine initiatieven waarbij het vermogen van de TEO-installatie dusdanig klein is dat verwachte ecologische effecten verwaarloosbaar klein zijn;
2. standaardvergunning: na het doorlopen van een stroomschema is duidelijk dat de verwachte ecologische effecten verwaarloosbaar klein zijn;
3. maatwerk: er is een aanvullende analyse nodig om erachter te komen of de negatieve ecologische effecten verwaarloosbaar klein zijn;
4. afwijzing: bij kwetsbare watertypen of als maatwerkbeoordeling uitwijst dat er significante negatieve ecologische effecten worden verwacht.

Aan de hand van de Handreiking TEO 2.0 wordt beoordeeld of een TEO-installatie leidt tot significante ecologische effecten. Als dit is uitgesloten, dan wordt een TEO vergund. De vergunningverlener moet voorschriften over monitoring van emissies (van koud water) opnemen in de omgevingsvergunning (Besluit kwaliteit leefomgeving).

Monitoring is van belang om te controleren of de TEO-installatie aan de vergunningsvoorschriften voldoet en om te bepalen of mitigerende maatregelen nodig zijn. Daarnaast is monitoring in het kader van onderzoek belangrijk voor kennisontwikkeling. Dit monitoringsadvies richt zich op monitoring om te controleren of de TEO-installatie aan de vergunningsvoorschriften voldoet, zodat er gehandhaafd kan worden. In een maatwerkbeoordeling wordt bepaald of en wat voor mitigerende maatregelen nodig zijn. Dit advies geeft een overzicht van die mitigerende maatregelen. Monitoring voor kennisontwikkeling is geen onderdeel van dit monitoringsadvies.

Ten aanzien van de omvang van de monitoring zijn de volgende gevallen te onderscheiden:

1. als er geen vergunning nodig is, omdat de TEO-installatie klein is, dan is er geen monitoring nodig;
2. indien een vergunning is verleend op basis van een standaardbeoordeling, dan is alleen monitoring nodig van de parameters waaraan in de vergunning eisen zijn gesteld ten aanzien van het functioneren van de TEO-installatie. Voor deze TEO-systemen is het wenselijk om monitoring op te zetten die tenminste is gericht op de volgende parameters:
 - het maximum debiet;
 - de lozingstemperatuur;
 - de temperatuur van het ontvangend oppervlaktewater en
 - de draaiuren.

Monitoring van ecologische effecten is in dit geval niet nodig, omdat de inschatting was dat ecologische effecten verwaarloosbaar zijn;

3. indien niet wordt voldaan aan één van de criteria voor standaardbeoordeling of sprake is van cumulatie (combinatie van effecten van twee of meer TEO-installaties), dan is een maatwerkvergunning nodig. Als een vergunning met maatwerk is verleend dan kan het zinvol zijn om naast de parameters van de TEO-installatie ook ecologische effecten in het waterlichaam te monitoren. De keuze van monitoringsparameters is afhankelijk van de uitkomst van de maatwerkbeoordeling. Welke ecologische en fysisch-chemische parameters precies gemeten dienen te worden, op welke locatie en met welke frequentie, zal in overleg met de ecooloog van de waterbeheerder moeten worden vastgesteld op basis van de resultaten van de maatwerkbeoordeling. Voor deze monitoring van ecologische effecten is een historische referentie of nulmeting nodig en/of een vergelijkbaar meetpunt dat niet direct beïnvloed wordt door koudelozingen.

1.3 WERKWIJZE

Voor het opstellen van dit monitoringsadvies zijn eerst bij de gebruikers wensen opgehaald in een sessie van STOWA. Daarnaast is er een begeleidingscommissie, die bestaat uit ecologen en vergunningverleners die betrokken waren of gebruik maken van de handreiking TEO 2.0. Deze begeleidingscommissie bestaat uit:

- Marlon Dijkshoorn (RWS MN);
- Onno Frankena (RWS ZN);
- Wiebe Lekkerkerk (HDSR);
- Denise Winters (HHNK);
- Wim Schouten (RWS MN).

Het concept monitoringsadvies is opgesteld op basis van expertkennis. Het concept monitoringsadvies is getoetst in een praktijksessie met de begeleidingscommissie én schriftelijk aan hen voorgelegd. Vervolgens is een definitief monitoringsadvies opgesteld. Dit monitoringsadvies is een gezamenlijk product van Witteveen+Bos en Deltares.

1.4 AFBAKENING VAN HET MONITORINGSADVIES

Dit monitoringsadvies richt zich alleen op:

- monitoring voor vergunningverlening en niet voor kennisontwikkeling, hiervoor lopen parallel onderzoeksprogramma's. We adviseren wel te kijken naar kansen voor kennisontwikkeling;
- effecten van koudelozing, en niet de effecten van filtering. De gecombineerde effecten van koudelozing en filtering worden nog verder onderzocht in diverse projecten, waaronder een modelstudie van Witteveen+Bos en enkele veld- en/of modelstudies door Deltares en NIOO in samenwerking met waterbeheerders.

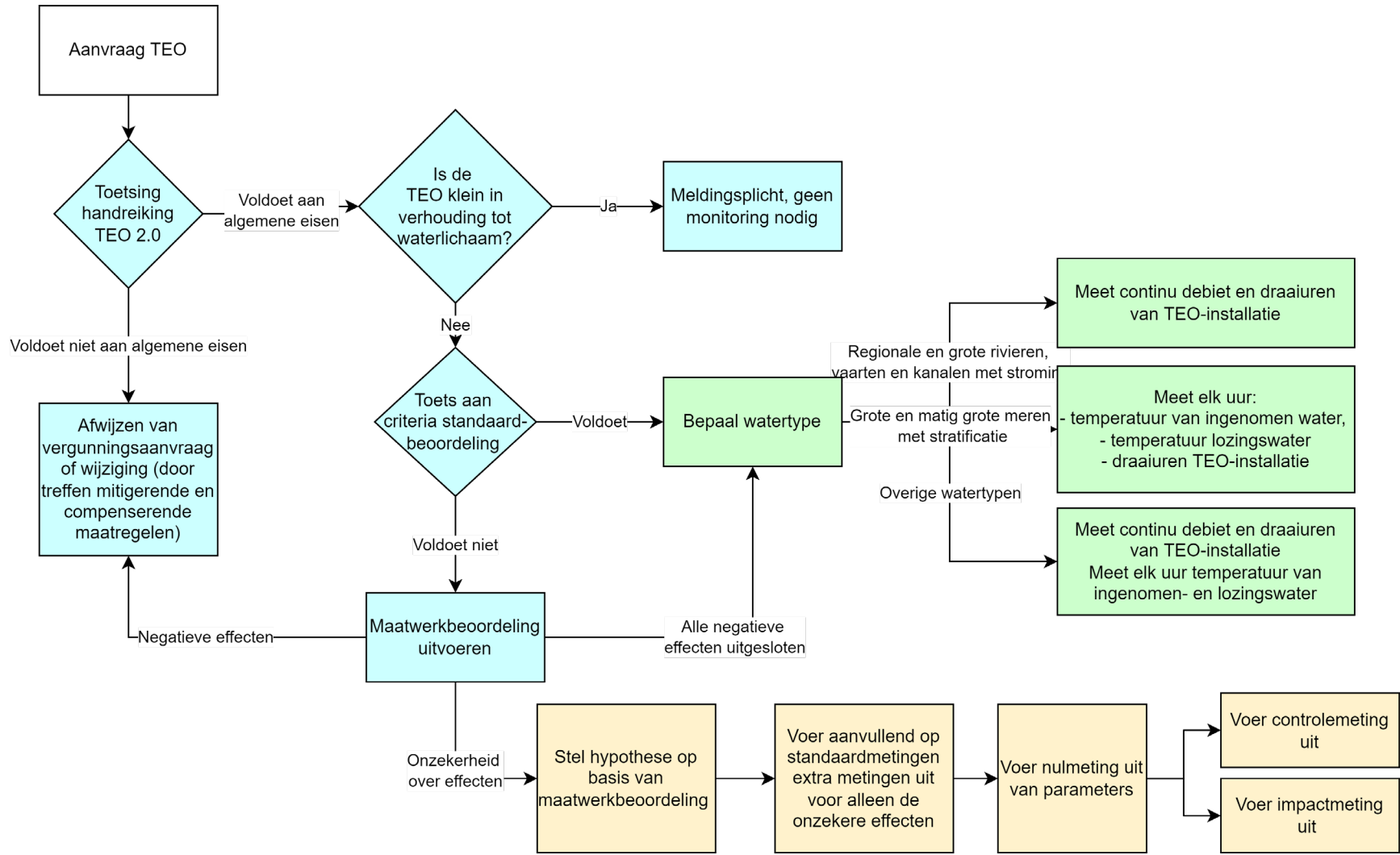
1.5 STROOMSCHEMA EN LEESWIJZER

Afbeelding 1.1 toont het stroomschema bij aanvraag voor een TEO-installatie en geeft daarbij de relatie tot de handreiking TEO 2.0 aan. Aan de hand van deze stappen is hieronder de indeling van het rapport beschreven.

1. bij een aanvraag worden de stappen in de handreiking TEO 2.0 doorlopen (Witteveen+Bos en FLO Legal, 2023). Hierbij wordt de aanvraag getoetst aan o.a. toepassing van best beschikbare technieken, emissie van stoffen, locatie (kwetsbare wateren en/of natura 2000) en cumulatie. Als niet wordt voldaan aan de eisen leidt dit tot afwijzing of aanpassing van de aangevraagde TEO-installatie. Hoofdstuk 4 beschrijft de mitigerende en compenserende maatregelen in geval van aanpassing van de TEO-installatie;
2. vervolgens wordt getoetst of de TEO-installatie dusdanig klein is in verhouding tot de omvang van het waterlichaam, zodat significante ecologische effecten op voorhand zijn uit te sluiten (voor toelichting, zie tabel 4.2 in handreiking TEO 2.0). Als deze dusdanig klein is, volstaat een meldingsplicht en is er geen monitoring nodig;
3. bij een TEO-installatie die niet klein is, wordt getoetst aan de criteria van de standaardbeoordeling. Afhankelijk van het watertype wordt het debiet en de draaiuren van de TEO-installatie en/of de temperatuur van het ingenomen water en het lozingswater gemeten. De monitoringseisen bij een standaardbeoordeling zijn nader beschreven in hoofdstuk 2;
4. is deze uitgewerkt voor een TEO-installatie waarbij de koudepluim mogelijk effect heeft op waterplanten. In hoofdstuk 3 is aanvullende monitoring voor alle mogelijke effecten van koudelozing uitgewerkt.

AFBEELDING 1.1 STROOMSCHEMA BIJ AANVRAAG VOOR EEN TEO-INSTALLATIE, MET IN BLAUW DE STAPPEN IN DE HANDREIKING TEO 2.0 (STERK VERSIMPELD), IN GROEN DE STAPPEN VOOR MONITORING BIJ EEN STANDAARDBEOORDELING EN IN GEEL DE STAPPEN BIJ EEN MAATWERKBEOORDELING, TER ILLUSTRATIE UITGEWERKT VOOR WATERPLANTEN

4



2

STANDAARDBEOORDELING

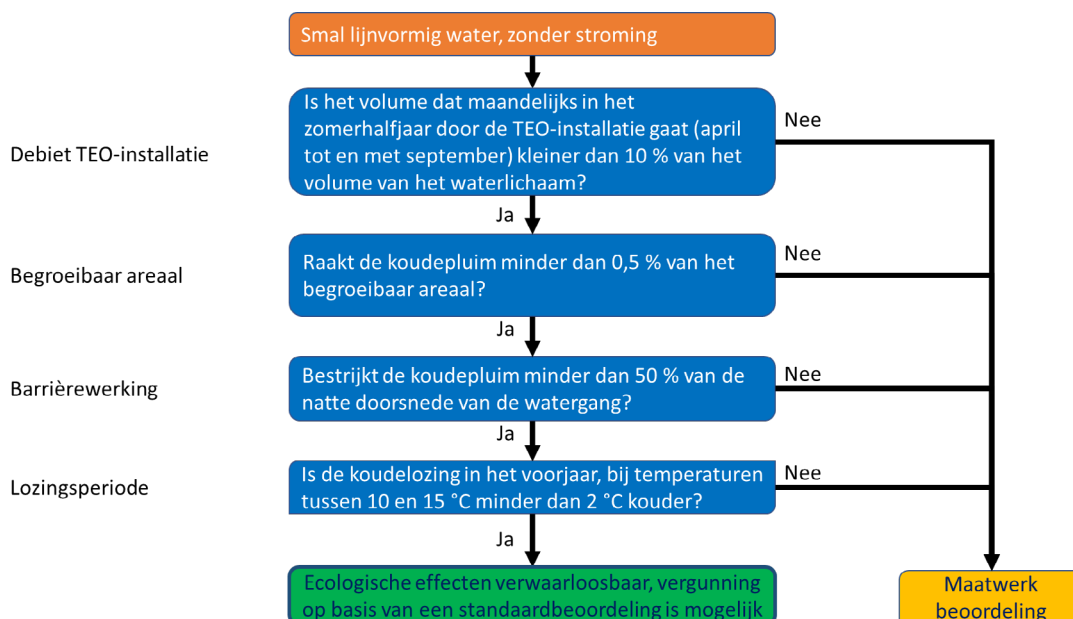
2.1 INLEIDING

Bij de standaardbeoordeling wordt de aangevraagde TEO-installatie getoetst aan criteria voor twee parameters. Het gaat om het debiet van de TEO-installatie en de eigenschappen van de koudepluim. Deze criteria/parameters worden uitgewerkt in par. 2.2. Als aan deze criteria wordt voldaan, zijn de ecologische effecten op voorhand verwaarloosbaar klein. De monitoring bij een standaardbeoordeling is daarom alleen gericht op de parameters waarvoor in de vergunning criteria zijn gesteld ten aanzien van het functioneren van de TEO-installatie. Als er niet wordt voldaan aan één van de criteria, of er sprake is van cumulatie van effecten, zie dan hoofdstuk 3 over de maatwerkbeoordeling. In dit hoofdstuk wordt de selectie van parameters toegelicht, gevolgd door advies over waar en hoe deze parameters het best gemeten kunnen worden.

2.2 SELECTIE VAN PARAMETERS

De selectie van de parameters volgt uit de criteria die bij een standaardbeoordeling gelden voor het waterlichaam. Afbeelding 2.1 toont als voorbeeld de criteria voor een peilgestuurd smal lijnvormig waterlichaam. Tabel 2.1 toont een overzicht van wat er gemeten moet worden per criterium en per watertype. Dit is meestal een combinatie van het debiet van de TEO-installatie en watertemperatuur. Zo kan worden gecontroleerd of bij het gebruik van de TEO-installatie aan de vergunningvoorschriften wordt voldaan. Verdere monitoring is niet nodig, omdat op basis van de onderbouwing in de Handreiking TEO 2.0 is bepaald dat de effecten bij dit gebruik verwaarloosbaar zijn. Voor meer toelichting over de criteria, zie de Handreiking TEO 2.0.

AFBEELDING 2.1 VOORBEELD VAN EEN BESLISSHEMA VOOR KEUZE VAN HET TYPE MONITORING IN HET GEVAL VAN EEN SMAL LIJNVORMIG WATER ZONDER STROMING. VOOR EEN COMPLEET OVERZICHT VAN DE BESLISSHEMA'S EN MEER TOELICHTING OVER DE CRITERIA, ZIE HANDBREIKING TEO 2.0 (BRON: WITTEVEEN+BOS EN FLO LEGAL, 2023)



TABEL 2.1 RELEVANTE CRITERIA PER WATERTYPE EN OP RIJ TWEE DE PARAMETER(S) DIE DAAR BIJ HOREN

Watertype	Maximum debiet van de TEO-installatie	Oppervlakte van de koudepluim (begroeibaar areaal)	Natte doorsnede van koudepluim (barrièrewerking)	Lozingstemperatuur in het voorjaar	Hoogte van teruglevering	Verskil temperatuur lozing en achtergrond
	debiet bij uitlaat	temperatuur	temperatuur	temperatuur	temperatuur	temperatuur
Smal lijnvormig water, vaarten en kanalen zonder stroming	ja	ja	ja	ja	-	-
Vaarten en kanalen met stroming, regionale en grote rivieren	ja	-	-	-	-	-
Kleine en matige grote ondiepe meren	ja	ja	-	Ja	-	-
Grote ondiepe meren	ja	ja	-	-	-	-
Kleine diepe meren (met stratificatie)	ja	ja	-	-	ja	-
Grote en matig grote diepe meren (met stratificatie)	-	ja	-	-	ja	ja
Laaglandbeken	ja	-	ja	Ja	-	-

2.3 ADVIES MONITORING: WANNEER, WAAR EN HOE

Deze paragraaf beschrijft waar en hoe de parameters uit tabel 2.1 gemeten moeten worden. Het gaat om de verschillende eigenschappen van de koudepluim en het debiet.

Voor het debiet dient het volgende continu gemeten en geregistreerd worden:

- het debiet van de TEO-installatie;
- de draaiuren van het systeem.

Voor de koudepluim dient het volgende tijdens het draaien van de TEO-installatie gemeten en geregistreerd te worden:

- de temperatuur van het ingenomen water (elk uur);
- de temperatuur van het te lozen water (elk uur).

Jaarlijks voor een door het bevoegd gezag bepaalde datum worden de geregistreerde gegevens in digitale vorm toegestuurd aan het bevoegd gezag, of: de geregistreerde gegevens worden op verzoek van het bevoegd gezag in digitale vorm toegestuurd.

3

MAATWERKBEOORDELING

3.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk licht toe welke parameters gemeten moeten worden in geval van een maatwerkbeoordeling. Een maatwerkbeoordeling is nodig wanneer niet wordt voldaan aan één van de criteria van de standaardbeoordeling. Alleen voor het criterium dat niet voldoet wordt een aanvullende analyse gedaan (bijvoorbeeld uitgebreide modellering). Bij de maatwerkbeoordeling zijn drie uitkomsten mogelijk:

1. vanwege negatieve effecten op de waterkwaliteit wordt de TEO niet vergund en monitoring is dan niet aan de orde,
2. negatieve effecten zijn uitgesloten en de TEO wordt vergund, óf
3. het is nog onzeker of negatieve effecten kunnen worden uitgesloten door onvoldoende kennis en de TEO wordt wel vergund.

Ad 2. Als uit nadere analyse blijkt dat significante effecten zijn uit te sluiten, voldoet de monitoring van de standaardbeoordeling. Bijvoorbeeld wanneer de koudepluim geen barrière voor migratie kan vormen, omdat het waterlichaam geen functie heeft voor migratie (bv. een geïsoleerd meer). Deze monitoring dient dan alleen om te controleren of de koudepluim niet groter is dan verwacht door een hoger debiet of temperatuurverschil. In deze situatie volstaat monitoring zoals bij de standaardbeoordeling (zie hoofdstuk 2).

Ad 3. Als, zelfs na uitgebreide analyse in een maatwerkbeoordeling én het nemen van mitigerende en/of compenserende maatregelen significante ecologische effecten niet worden verwacht, maar dit onzeker is, kan de waterbeheerder ervoor kiezen om de TEO-installatie toch te vergunnen. In dat geval kan de vergunningverlener aanvullende voorwaarde opnemen voor monitoring van effecten op de waterkwaliteit. Deze monitoringsresultaten kunnen voor het bevoegd gezag wel aanleiding zijn om ambtshalve de omgevingsvergunning aan te scherpen of in te trekken¹.

Dit hoofdstuk richt zich verder op monitoring voor effecten in situatie 3. Het doel van deze monitoring is om te bepalen of de koudelozing van de TEO-installatie leidt tot een achteruitgang van de waterkwaliteit² en/of het niet tijdig bereiken van de KRW-doelen. Monitoring in situatie 3 is ingewikkeld, vanwege onzekerheden bij monitoring van de waterkwaliteit (met name voor vis, macrofauna, fytoplankton en waterplanten). Invloeden zoals een droge of natte zomer, andere lozings en uitvoering van andere KRW-maatregelen, naast meetonzekerheden, hebben mogelijk een groter effect op de KRW-kwaliteit dan de TEO-installatie. Daarom kunnen effecten alleen door uitgebreide meerjarige monitoring van zowel de koudelozing als de ecologie worden bepaald. De resultaten geven waardevolle nieuwe informatie over de effecten van TEO-installaties op het watersysteem. We adviseren daarom

- 1 Het is niet mogelijk om in de vergunning zelf te regelen dat de TEO bij bepaalde monitoringsresultaten moet worden stopgezet, omdat niet bij voorbaat zeker is dat die resultaten alleen worden veroorzaakt door het betreffende TEO systeem. De monitoringsresultaten kunnen voor het bevoegd gezag wel aanleiding zijn om ambtshalve de omgevingsvergunning aan te scherpen of in te trekken, maar dat vergt een nieuw besluit met een nieuwe onderbouwing.
- 2 In niet KRW-lichamen gelden ook waterkwaliteitsdoelen. De provincie heeft deze gedefinieerd, in sommige gevallen op basis van dezelfde ecologische kwaliteitsratio (EKR) als die voor KRW-lichamen wordt gebruikt.

deze monitoring in deze situatie te combineren met kennisontwikkeling en in elk geval de ervaringen te delen met STOWA.

3.2 SELECTIE VAN PARAMETERS

De te onderzoeken parameters volgen uit de maatwerkbeoordeling. Een overzicht van deze parameters staat in tabel 3.1. Dit zijn parameters waarvoor negatieve ecologische effecten niet zijn uitgesloten in de analyse voor de maatwerkbeoordeling. Dit zal meestal een combinatie zijn van het bepalen hoe groot de koudepluim daadwerkelijk is, en de effecten hiervan op de kwaliteitselementen van de KRW. Een goede bepaling van de koudepluim is belangrijk om te bepalen of de negatieve effecten daadwerkelijk het gevolg zijn van de koudelozing. Bijvoorbeeld of de koudelozing zorgt voor een afname van abundantie van waterplanten. Het doel van de monitoring is te controleren of zulke negatieve effecten wel of niet significant zijn.

Tabel 3.1 toont een overzicht van deze mogelijke effecten door koudelozing per onderdeel van de KRW, en de te meten parameters. Een voorbeeld van selectie van parameters: een maatwerkbeoordeling is uitgevoerd vanwege een te grote koudepluim, die criteriagrenzen voor barrièrewerking en begroeibaar areaal overschrijdt. In de maatwerkbeoordeling zijn effecten door barrièrewerking uitgesloten, omdat het water geen migratiefunctie heeft voor vis (het waterlichaam is bijvoorbeeld niet verbonden). Dan richt de aanvullende monitoring zich alleen op het begroeibaar areaal. Met de monitoring wordt onderzocht hoe groot de gemodelleerde koudepluim daadwerkelijk is. Vervolgens wordt met monitoring onderzocht of een koudepluim van $\geq 0,5$ % van het begroeibaar areaal leidt tot achteruitgang van de abundantie en soortensamenstelling van waterplanten in dit waterlichaam.

TABEL 3.1 MOGELIJKE EFFECTEN VAN KOUDELOZING OP DE TOESTAND VAN DE FYSISCHE CHEMIE EN DE BIOLOGISCHE KWALITEITSELEMENTEN VAN DE KRW. DAARBIJ DIENT GETOETST TE WORDEN AAN DE SITUATIE WAARIN HET DOEL GEHAALD IS, BV.. DE ABUNDANTIE VAN WATERPLANTEN DIE DAN VOORKOMT

Indicator waterkwaliteit	Mogelijk effect	relevante parameters
O ₂ -verzadigingsgraad	Stratificatie door de koudelozing leidt tot onvoldoende zuurstof in de onderstaande laag	Temperatuur Zuurstof
Fytoplankton	De KRW-kwaliteit voor fytoplankton neemt af door verandering van de soortensamenstelling Chlorofyl a-concentratie	Fytoplankton abundantie Fytoplankton samenstelling Temperatuur
Macrofauna	Afname abundantie macrofauna Verandering soortensamenstelling	Macrofauna abundantie Macrofaunasamenstelling Temperatuur
Overige waterflora	Afname van abundantie waterplanten Verandering soortensamenstelling waterplanten	Temperatuur Bedekkingsgraad waterplanten Soortensamenstelling waterplanten
Vis	Afname van abundantie plantminnende en/of reofiele vis Toename abundantie brasem+karper Verandering soortensamenstelling vis Afname aantal soorten migrerende vis	Temperatuur Ruimtegebruik vis, indien grote overlap met verwachte koudepluim en onvoldoende alternatief habitat, vissen vangen Barrièrewerking: zenderen/sonar

3.3 ADVIES MONITORING (WAAR, WANNEER EN HOE) VAN TEMPERATUUR

Een goede bepaling van de koudepluim is belangrijk om te onderzoeken of de negatieve effecten op waterkwaliteit daadwerkelijk het gevolg zijn van de koudelozing. Deze paragraaf beschrijft eerst de opzet voor het meten van oorzaak en effect, dan hoe de vorm van een koudepluim zich ontwikkelt in verschillende type wateren; vervolgens wordt uitgelegd waar en hoe de parameter temperatuur gemeten kan worden in verschillende type waterlichamen.

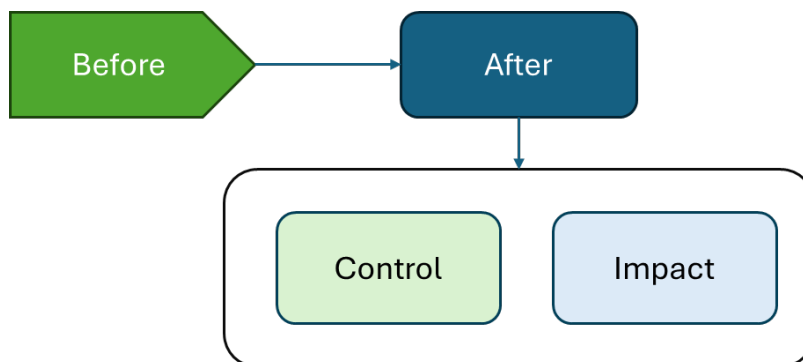
3.3.1 MONITORINGSPERIODE (BACI-METHODE)

Idealiter wordt de monitoring opgezet volgens de BACI-methode: Before, After, waarbij After opgesplitst is in Control en Impact (Afbeelding 3.6). De verschillende onderdelen hebben de volgende doelen:

- de 'Before', oftewel de nulmeting, zorgt voor een beeld van de standaard temporele en ruimtelijke variaties in de te monitoren parameters voor het betreffende waterlichaam;
- de 'After' is opgesplitst in controle- en impactmetingen:
 - de controlemetingen worden uitgevoerd buiten de invloedssfeer van de TEO-installatie, maar idealiter wel in hetzelfde waterlichaam. Controlemetingen geven daarmee inzicht in mogelijke veranderingen in de te monitoren parameters anders dan veroorzaakt door de TEO-installatie;
 - de impactmetingen worden gedaan in de (te verwachten) invloedssfeer van de TEO-installatie. Een vergelijking met de controlemetingen en hoe die meetpunten zich verhouden tot de impactmetingen (bekend vanuit de nulmetingen) geven inzicht in de effecten van de TEO-installatie op de te monitoren parameters.

Naast de eisen van de BACI-methode moet bij de monitoringsopzet rekening gehouden worden met voldoende meetpunten en metingen om toetsbare statistische analyses uit te kunnen voeren. Bij het meten van biologische waterkwaliteit adviseren wij in dit geval drie meetjaren voor zowel *before* als *after*, vanwege natuurlijke temporele variatie, bijvoorbeeld als gevolg van verschillen tussen weerjaren (droge hete zomer of natte koele zomer).

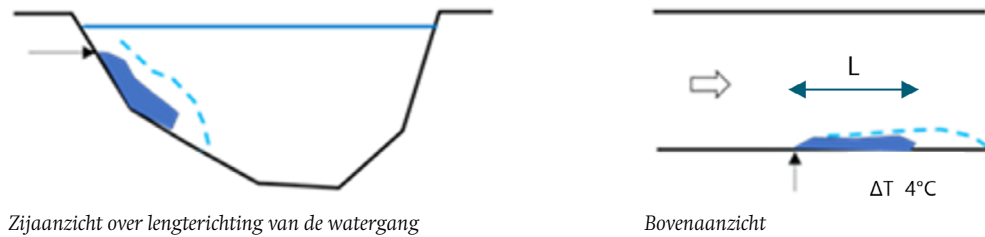
AFBEELDING 3.6 SCHEMATISCHE WEERGAVE BACI-METHODE



3.3.2 VORM VAN DE KOUDEPLUIM

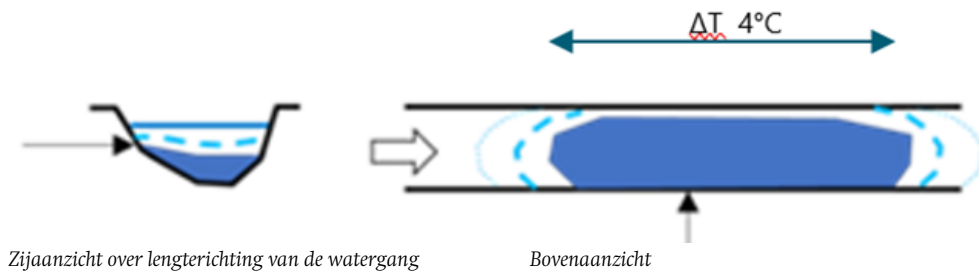
In lijnvormige watergangen met stroming zijn ecologische effecten vooral direct stroomafwaarts van het lozingspunt te verwachten. Stroming en turbulentie, bijvoorbeeld door wind en scheepvaart, kunnen zorgen voor een snelle menging, waardoor koudepluimen minder sterk aanwezig zijn en snellere opwarming van het geloosde water plaatsvindt. Bij snelle menging zullen de ecologische effecten kleiner zijn.

AFBEELDING 3.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN HET VERWACHTE GEDRAG VAN EEN KOUDEPLUIM IN STROMEND WATER MET IN DONKERBLAUW DE KOUDEPLUIM, IN STIPPELLIJNEN DE RAND VAN DE MENGZONE. DE LENGTE VAN DE KOUDEPLUIM (L) IS DE AFSTAND TUSSEN HET LOZINGSPUNT (ZWARTE PIJL) EN DE AFSTAND IN DE LENGTERICHTING TOT WAAR EEN TEMPERATUURVERSCHIL VAN 4 °C BEREIKT WORDT



In lijnvormige wateren met weinig tot geen doorstroming kan de koude zich, afhankelijk van de relatie tussen debiet van de TEO-installatie en dimensies van de watergang, in de lengte en breedte over de waterbodem verdelen, omdat koud water zwaarder is dan warm water. Bij het vrijwel ontbreken van menging (in absentie van stroming, wind en scheepvaart) kan de koude langdurig onder in de waterkolom aanwezig blijven. Daardoor bestaat er in stilstaande systemen een grotere kans op ecologische effecten van koudelozing dan in watersystemen met stroming.

AFBEELDING 3.2 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN HET VERWACHTE GEDRAG VAN EEN KOUDEPLUIM VANAF HET LOZINGSPUNT (ZWARTE PIJL) IN STILSTAAND LIJNVORMIG WATER, MET IN DONKERBLAUW DE KOUDEPLUIM. DE LICHTBLAUWE STIPPELLIJNEN ZIJN VERSCHILLENDE ISOTHERMEN IN DE MENGZONE



In meervormige watersystemen zonder doorstroming zal de koudepluim zich vanaf het lozingspunt zowel in de lengte als breedte verspreiden. De mate van verspreiding zal daarbij samenhangen met het debiet van de TEO-installatie en het profiel van de waterbodem. Ecologische effecten van de koudelozing zijn vooral te verwachten in het gebied waarin de koudepluim langdurig aanwezig is.

Modelberekeningen van Deltares voor diepe meren laten zien dat koude die aan of dicht bij het oppervlak wordt geloosd, blijft hangen in het epilimnion³, daar mengt, met een dikker epilimnion tot gevolg, wat dus negatieve ecologische effecten kan hebben. Voor het gedrag van de koudepluim in diepe meren is het daarom van belang op welke hoogte het water wordt geloosd. Het thermische effect van de koudelozing zal daarbij het kleinst zijn als de lozing plaatsvindt op die hoogte waar de temperatuur van het ontvangende water gelijk is aan de temperatuur van het geloosde water.

3 Het epilimnion is de bovenste laag van een meer met verschillende temperatuurlagen (thermische stratificatie).

AFBEELDING 3.3 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN HET VERWACHTE GEDRAG VAN EEN KOUDEPLUIM VANAF HET LOZINGSPUNT (ZWARTE PIJL) IN EEN ONDIEP STILSTAAND MEER, MET IN DONKERBLAUW DE MENGZONE, EN IN LICHTERBLAUWE STIPPELLIJNEN DE ISOTHERMEN VAN DE KOUDEPLUIM

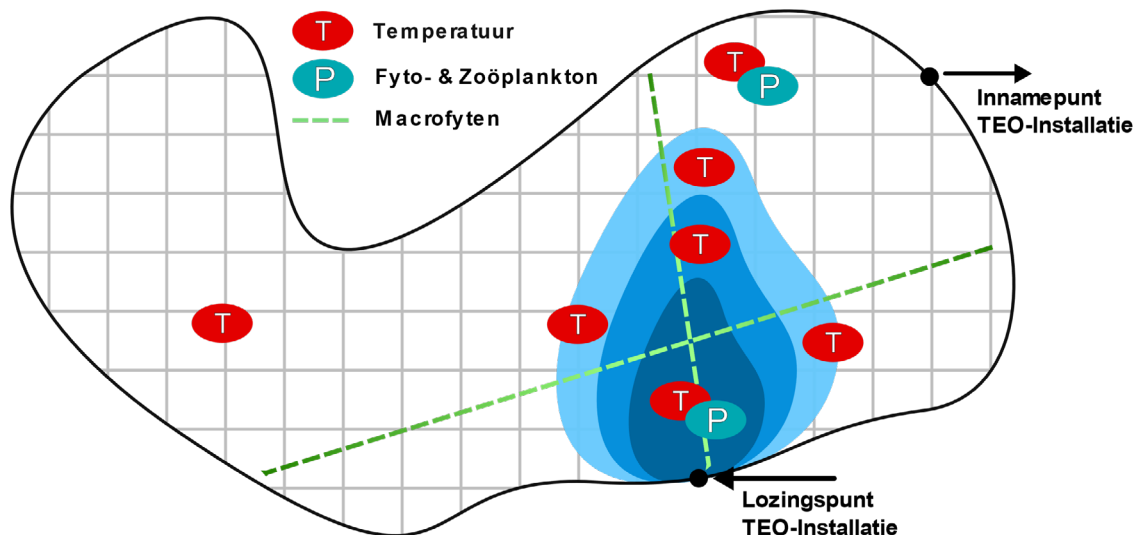


Per parameter wordt in deze paragraaf uitgelegd hoe (technisch) en waar (ruimtelijk) deze per watertype gemonitord moet worden.

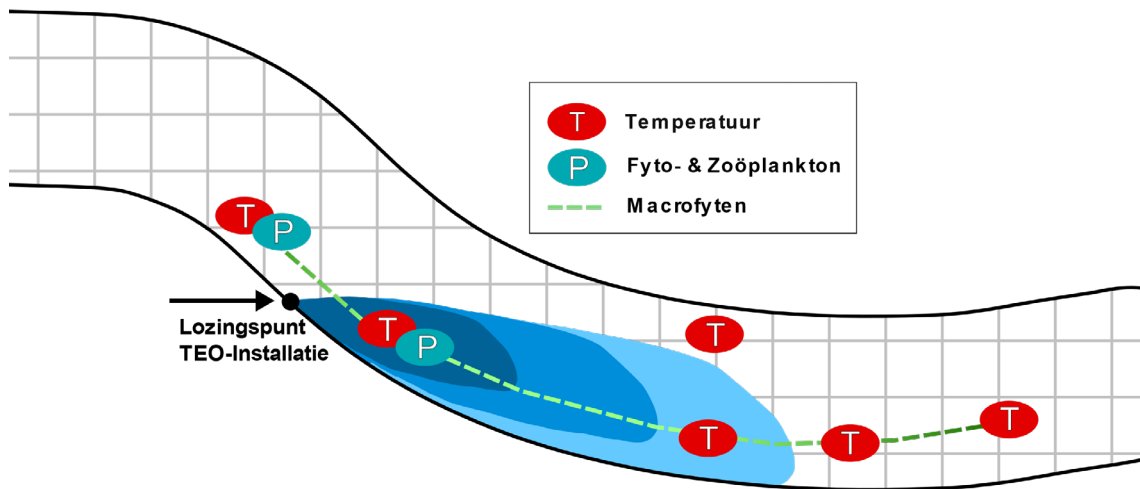
BEPALEN VORM VAN DE KOUDEPLUIM

Per watertype moet onderzocht worden hoeveel en wat voor type monitoringspunten nodig zijn: ontstaat er een koudepluim, hoe beweeglijk is deze en wat zijn de aanwezige biologische parameters? De beweeglijkheid van de pluim hangt af van het watertype: in stilstaand water, zoals een meer, kan een eventuele pluim door windgedreven stroming dynamischer zijn dan in een rivier en zijn daarom meer monitoringspunten nodig. In afbeelding 3.4 en afbeelding 3.5 staan typische monitoringsopzetten voor respectievelijk stilstaande en stromende watertypen weergegeven.

AFBEELDING 3.4 VOORBEELD VAN EEN MONITORINGSOPZET VOOR EEN STILSTAAND WATER MET EEN (RELATIEF) ZEER GROTE KOUDEPLUIM. DE VERSCHILLENDE BLAUWE ELLIPSEN STAAN VOOR DE KOUDEPLUIM, MET DONKER BLAUW DE MEESTE AFKOELING EN LICHTBLAUW DE MINSTE. IN RODE BOLLEN STAAN LOCATIES VOOR EEN (TIJDELIJKE) TEMPERATUURMETING. IN BLAUWE BOLLEN EN GROENE LIJNEN STAAN LOCATIES OM BIOLOGIE TE METEN (MEER TOELICHTING STAAT IN PARAGRAAF 3.4). BOVENIN, BUITEN DE INVLOED VAN HET LOZINGSPUNT IS HET CONTROLEPUNT. HIER DIENEN OOK ALLE PARAMETERS GEMETEN TE WORDEN DIE IN DE KOUDEPLUIM WORDEN GEMETEN



AFBEELDING 3.5 TYPISCHE MONITORINGOPZET VOOR EEN STROMEND WATER. DE VERSCHILLENDE BLAUWE ELLIPSEN STAAN VOOR DE KOUDEPLUIM, MET DONKER BLAUW DE MEESTE AFKOELING EN LICHTBLAUW DE MINSTE. IN RODE BOLLEN STAAN LOCATIES VOOR EEN (TIJDELIJKE) TEMPERATUURMETING. IN BLAUWE BOLLEN EN GROENE LIJNEN STAAN LOCATIES OM BIOLOGIE TE METEN (MEER TOELICHTING STAAT IN PARAGRAAF 3.4). BOVENSTROOMS (LINKS) VAN HET LOZINGSPUNT IS HET CONTROLEPUNT. HIER DIENEN OOK ALLE PARAMETERS GEMETEN TE WORDEN DIE IN DE KOUDEPLUIM WORDEN GEMETEN



3.3.3 OPPERVLAKTE VAN DE KOUDEPLUIM (T.O.V. BEGROEIBAAR AREAAL)

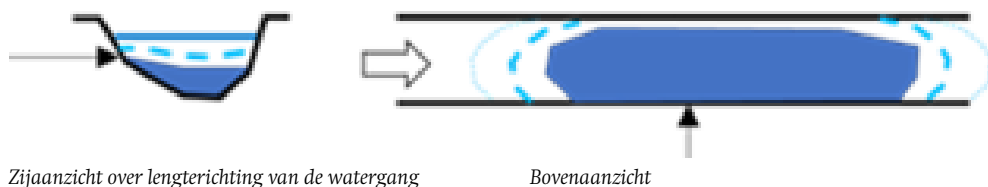
De oppervlakte van de koudepluim ten opzichte van het begroeibare areaal voor waterplanten is een criterium voor stilstaande wateren. Het criterium hanteert een maximum van 0,5 % dat de koudepluim het potentieel begroeibaar areaal mag bedekken. Met dit criterium wordt uitgesloten dat de koudepluim kan leiden tot dusdanige geremde groei van waterplanten dat de kans op vertroebeling van het water toeneemt.

In principe hoeft de koudepluim in relatie tot het potentieel begroeibaar waterplanten areaal niet gemonitord te worden tenzij uit de Handreiking TEO 2.0 blijkt dat het potentieel begroeibaar areaal hoogstwaarschijnlijk (in tegenstelling tot 'niet') niet onder invloed komt van de koudelozing, maar dat dit wel uitgesloten moet worden. Wanneer dit het geval is, dan is temperatuurmonitoring nodig.

MONITORING LIJNVORMIG WATER

In een stilstaand lijnvormig water verspreidt een koudepluim zich als een bel: links, rechts en naar overliggende oever (afbeelding 3.7). Windrichting en -kracht kan zorgen voor vervorming van de bel. Deze vervorming is daarmee dynamisch en kan daarom zorgen voor het tijdelijk beïnvloeden van het potentieel begroeibaar waterplanten areaal.

AFBEELDING 3.7 VERSPREIDING KOUDEPLUIM IN STILSTAAND LIJNVORMIG WATER (BRON: HANDREIKING TEO 2.0)



Of een koudelozing inderdaad in het potentieel begroeibaar waterplantenareaal komt, kan vastgesteld worden door de temperatuur te meten op een transect vanuit de lozing naar het potentieel begroeibaar waterplanten areaal. De metingen kunnen op meerdere manieren

uitgevoerd worden, afhankelijk van wat en hoe al gemeten wordt, het budget en wat aan meetapparatuur beschikbaar is. Belangrijk is dat de metingen vast kunnen stellen dat de gemeten temperatuur een gevolg is van de koudelozing of niet. Hiervoor is het belangrijk dat ten minste de temporele en ruimtelijk resolutie voldoende moeten zijn.

Monitoringsopties:

- temperatuursensoren (sonde of meerdere sensoren met vaste tussenafstand op een kabel):
 - op vaste frames;
 - aan boeien;
 - aan bootje of kano;
- glasvezelkabel;
- (varende)drones.

Metingen met temperatuursensoren op vaste frames of aan boeien vinden plaats op een transect vanaf het lozingspunt tot een beperkt deel in het potentieel begroeibaar waterplanten areaal met daarnaast een controle meetpunt. Hoeveel meetpunten nodig zijn op het transect hangt af van de lengte van het transect zodat de gradiënt in temperatuur gevolgd kan worden. De afstand tussen de meetpunten is niet meer dan 300 meter. De metingen vinden tenminste op 2 dieptes plaats: nabij de bodem (20-30 cm) en nabij het wateroppervlak (20-30 cm).

Een benadering voor een controlemeetpunt is om gedurende een voldoende lange periode temperatuurmetingen uit te voeren voordat de TEO-installatie in werking treedt, zodat verschillende weersomstandigheden (windstil, warme dag, koele dag, weinig of veel stroming) in de dataset zijn opgenomen. Idealiter is dit tenminste het zomerhalfjaar, ervan uitgaande dat dat de periode is waarin de TEO-installatie actief is, zodat seizoensdynamiek meegeenomen kan worden. Om tot een robuuste dataset te komen waar verbanden gelegd kunnen worden tussen het inlaatwater en de meetpunten zijn daarnaast hoogfrequente metingen (minimum 4-uurbasis) nodig. Een meer uitgebreide optie is om niet het inlaatwater als referentiemeetpunt te gebruiken, maar een controlepunt elders in het waterlichaam, welke voldoende vergelijkbaar is met de locatie van de lozing, maar niet onder invloed van de lozing zelf staat (bijvoorbeeld bovenstrooms in een rivier).

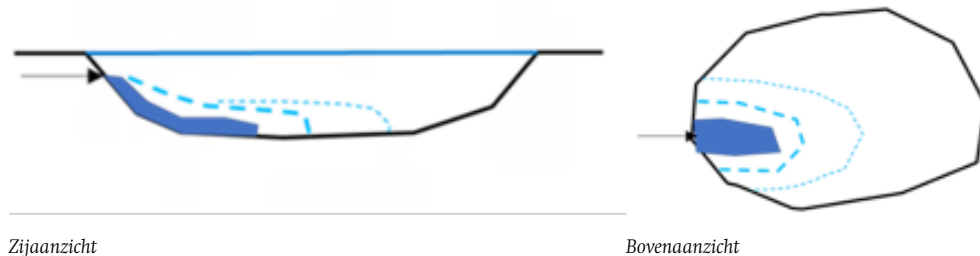
Een glasvezelkabel (met meerdere sensoren) kan gebruikt worden om een ruimtelijk beeld over een langere tijdperiode te verkrijgen. De glasvezelkabel kan als net worden uitgelegd op de bodem en op ten minste twee punten langs een verticale paal geleid worden voor een verticaal temperatuurprofiel. Dit verticale temperatuurprofiel is waardevol net in het potentieel begroeibaar waterplantenareaal en halverwege het transect om eventuele (micro-)stratificatie in beeld te brengen.

Temperatuursensoren aan een bootje of een varende drone kunnen een ruimtelijk beeld geven van de koudepluim. Om vast te kunnen stellen of de koudepluim wel of niet in het potentieel begroeibaar waterplanten areaal komt, is het wel nodig om de hele pluim in beeld te brengen. Doordat de pluim over tijd qua vorm kan veranderen, moet een ruimtelijk beeld onder verschillende weerscondities gemaakt worden: wind stil, dominante wind richting, warme en koude dagen. Voor het maken van een temperatuurbeeld met een bootje worden temperatuursensoren op een rigide buis gemonteerd, waarbij op tenminste twee diepten (zie hierboven) gemeten wordt. Voor gebruikmaking van een drone moet het water wel homogeen gemengd zijn, want koudere lagen die dieper in het water liggen worden niet opgepikt.

MONITORING MEERVORMIG WATER

Afbeelding 3.8 toont de verspreiding van de koudepluim in een meervormig water. De monitoringopties voor een meervormig water zijn hetzelfde als die voor het lijnvormig water. Echter, de pluim in een meervormig water is in potentie dynamischer, omdat de koudepluim meer kanten op kan. Daarom zijn meer meetpunten vereist (zie afbeelding 3.4, bron: handreiking TEO 2.0).

AFBEELDING 3.8 VERSPREIDING KOUDEPLUIM IN STILSTAAND MEERVORMIG WATER (BRON: HANDREIKING TEO 2.0)



Zijaanzicht

Bovenaanzicht

3.3.4 NATTE DOORSNEDE VAN KOUDEPLUIM (I.V.M. BARRIÈREWERKING)

Dit criterium is gericht op de mogelijke barrièrewerking van de koudepluim voor migrerende vissen. Het criterium is alleen van toepassing op stilstaande lijnvormige waterlichamen en laaglandbeken en houdt in dat de koudepluim maximaal 50 % van de natte doorsnede van deze watertypen mag bedekken. Dit betekent dat van oever tot oever maximaal 50 % van de natte dwarsdoorsnede de koudepluim mag bevatten.

Om inzicht te krijgen in hoe de koudepluim zich verspreidt over de natte dwarsdoorsnede, wordt op drie locaties in de dwarsdoorsnede de verticale temperatuurgradiënt gemeten. De te meten dwarsdoorsnede ligt voor stilstaande lijnvormige waterlichamen nabij het lozingspunt en voor laaglandbeken zo'n 100 tot 200 meter stroomafwaarts. De drie te meten locaties zijn op 25 % van de watergangbreedte, op 50 % en op 75 %. De verticale temperatuurgradiënt wordt gemeten 10 tot 20 centimeter onder het wateroppervlak en vervolgens elke 50 cm tot nabij de bodem. De metingen kunnen handmatig gedaan worden, zodat er geen permanent vast obstakel in de dwarsdoorsnede hoeft te worden geplaatst. De metingen moeten tenminste vijf keer uitgevoerd worden wanneer de TEO-installatie in bedrijf is, waarbij tenminste drie metingen op relatief warme en windstille dagen worden uitgevoerd. Onder deze omstandigheden is de kans op ophoping van de koudepluim het grootst.

Daarnaast dient de temperatuur gemeten te worden in een controledwarsdoorsnede, die niet onder invloed staat van de koudelozing. Voor deze controledwarsdoorsnede wordt dezelfde procedure gehanteerd, waarbij voor stilstaande lijnvormige wateren de controledwarsdoorsnede zich zo ver mogelijk van de koudelozing af, maar nog wel in hetzelfde waterlichaam bevindt. Voor laagland beken kan de controledwarsdoorsnede zich ongeveer één kilometer stroomopwaarts bevinden. Belangrijk is dat de controledwarsdoorsnede zo vergelijkbaar mogelijk is met de dwarsdoorsnede nabij het lozingspunt, qua beschaduwing, stroming, eventuele lozingen en scheep/boot-verkeer .

3.3.5 LOZINGSTEMPERATUUR IN HET VOORJAAR

Voor smalle, lijnvormige wateren zonder stroming, kleine en matig grote en ondiepe meren, en voor en laaglandbeken geldt dat in het voorjaar bij een watertemperatuur tussen de 10°C en 15°C de lozingstemperatuur van de TEO-installatie niet meer dan 2 °C mag verschillen

met de watertemperatuur. Voor de watertemperatuur wordt de temperatuur van het inlaatwater gebruikt zoals die gemeten wordt bij de inlaat van de installatie. Om de maximale grens van 2 °C niet te overschrijden kan ofwel gekozen voor een vaste meetopstelling of enkele meetmomenten.

Voor de meting van het temperatuurverschil kan afhankelijk van de locatie een vaste meetopstelling gerealiseerd worden door een temperatuursensor minder dan 25 meter vanaf het lozingspunt te installeren waarmee hoogfrequent gemeten kan worden (tenminste 4-uursbasis) nabij de bodem en nabij het wateroppervlak. Dit levert een robuuste dataset om temperatuurverschil tussen in- en uitlaat te bepalen. Belangrijk is er nulmetingen worden uitgevoerd, zodat de watertemperatuur bij het inlaatpunt vergeleken kan worden met de temperatuur bij het uitlaatpunt (het 'effectpunt'). Dit geeft inzicht in de vraag of ze zonder TEO-installatie hetzelfde zijn of dat er een structureel verschil is tussen beide meetpunten waarmee in de analyse rekening gehouden moet worden. Voor de nulmeting is het belangrijk dat deze onder vergelijkbare condities gebeurt als wanneer de TEO-installatie draait (bijvoorbeeld hoogzomer). Een alternatief voor de vaste meetopstelling is om wekelijks bij het inlaatpunt en nabij het uitlaatpunt te meten (op minder dan 25 meter afstand, handmatig en ten minste nabij de bodem en nabij het oppervlak). Dit is arbeidsintensiever en levert een minder robuuste dataset op, maar geeft wel een beeld van de mate van afkoeling. Ook hier zijn tenminste drie nulmetingen nodig. Belangrijk is dat voor de effectmeting in de mogelijke koudepluim wordt gemeten.

3.3.6 DIEPTE VAN TERUGLEVERING

Voor kleine, diepe meren en grote en matig grote diepe meren - met stratificatie is de diepte van het lozingspunt van de koudelozing van belang in verband met de spronglaag (i.e. thermocline): de koudelozing moet plaatsvinden beneden deze spronglaag, zodat deze intact blijft.

Monitoring van de diepte van de spronglaag gebeurt door een vaste temperatuuropstelling. Afhankelijk van de diepte van het waterlichaam en kennis van de dynamiek van de spronglaag moet de hoogte van de temperatuursensoren worden bepaald zodat de spronglaag permanent gemonitord wordt. Meting-frequentie is tenminste 6-uurlijks en gedurende de periode dat de TEO-installatie in werking is. Locatie is nabij het lozingspunt (ordegrootte 50 m tot 250 m).

3.3.7 VERSCHIL TEMPERAATUUR VAN DE LOZING EN HET ONTVANGENDE WATER

Voor grote en matig grote diepe meren is het temperatuurverschil tussen het geloosde water en die van de ontvangende waterlaag (onder de spronglaag) van belang. Deze mag niet groter zijn dan 3 °C in verband met de stabiliteit van de spronglaag.

De monitoring is gelijk aan die beschreven in 2.3, waarbij de lozingstemperatuur (in de installatie) vergeleken wordt met de in 2.3, verkregen monitoringdata behorend bij de lozingshoogte.

3.3.8 STRATIFICATIE (TEMPERATUUR EN O₂-VERZADIGINGSGRAAD)

Het doel is om na te gaan of de koudelozing leidt tot meer (vaker) of langere (duur) stratificatie. Stratificatie zorgt ervoor dat waterlagen slecht mengen, wat een negatief effect kan hebben op de O₂-verzadigingsgraad. Meet hiervoor de watertemperatuur op minimaal drie dieptes: bodem-midden-oppervlak. Vergelijk het temperatuurverschil tussen die verschil-

lende dieptes. Vergelijk het temperatuurverloop in tijd tussen meetpunten waar meer en minder invloed van de TEO-installatie verwacht wordt en vergelijking met aan/uit installatie. Als stratificatie wel optreedt, kan worden gekozen de monitoring uit te breiden en ook O₂-verzadigingsgraad te meten.

De keuze voor methode en meetlocatie is nader beschreven in paragraaf 2.3. Let op dat ook een nulmeting nodig is: het kan zijn dat stratificatie sowieso weleens op treedt. Voor de nulmeting is het belangrijk dat deze onder vergelijkbare condities gebeurt (o.a. weerjaar, zoals een natte kouder zomer of een droge warme zomer).

3.4 ADVIES MONITORING BIOLOGISCHE KWALITEITSELEMENTEN (WAAR EN HOE)

Deze paragraaf licht toe welke mogelijke effecten optreden voor de biologische kwaliteitselementen en wat dit betekent voor de monitoring. Om de effecten van alleen de TEO-installatie op biologische waterkwaliteit te bepalen zijn goede gegevens over de koudepluim nodig (zie hiervoor paragraaf 3.3) en uitgebreide monitoring van biologische kwaliteitselementen. Een beperkt aantal metingen geeft onvoldoende informatie, vanwege meetonzekerheden en grote invloed van externe factoren, zoals een droge of natte zomer. Over effecten van TEO op biologische kwaliteitselementen is nog weinig bekend. Monitoring levert waardevolle nieuwe informatie. We adviseren daarom de monitoring te combineren met kennisontwikkeling en in elk geval de ervaringen te delen met STOWA.

In deze paragraaf wordt alleen kort de monitoring van biologische kwaliteitselementen in relatie tot koudelozingen beschreven. Uitgebreide informatie over de wijze van monitoring van KRW-kwaliteitselementen (fytoplankton, macrofauna, vis, waterplanten) is te vinden in het handboek hydrobiologie (STOWA, 2014) en het Protocol monitoring en toestandsbeoordeling oppervlaktewaterlichamen KRW (Rijkswaterstaat, 2020).

3.4.1 FYTOPLANKTON

Doel is om na te gaan of de koudelozing zorgt voor achteruitgang van het kwaliteitselement Fytoplankton in het waterlichaam. Deze parameter is binnen de KRW alleen relevant voor (vrijwel) stilstaande wateren. In de KRW wordt hiervoor de abundantie en soortensamenstelling onderzocht. Bij toename van abundantie (chlorofyl a-concentratie) en negatieve soorten (blauwalg) en/of afname van positieve soorten, neemt de KRW-kwaliteit af. Een lagere KRW-kwaliteit kan bijvoorbeeld voorkomen in van oorsprong helder water, waar door de koudelozing waterplanten niet meer voldoende opkomen, zodat algen dominant worden en het water kan omslaan naar troebele toestand.

Effecten van TEO-installaties op fytoplankton door koude zijn lastig te monitoren: productiviteit van fytoplankton wordt deels gestuurd door temperatuur, maar kan ook onder invloed staan van bijvoorbeeld filtering. Daarnaast zijn de effecten van een weerjaar groot (bijvoorbeeld met een zeer droge warme, of een natte koude zomer). We adviseren daarom monitoring te richten op de gezamenlijke effecten van koudelozing én filtering, en om een nulmeting uit een vergelijkbaar weerjaar te gebruiken of een stroomopwaardse locatie bij lijnvormige stromende wateren, en de meetgegevens kritisch te evalueren met hulp van ecologen.

3.4.2 MACROFAUNA

Doel is om na te gaan of de koudelozing zorgt voor achteruitgang van de kwaliteit van macrofauna in het waterlichaam. In de KRW wordt hiervoor de abundantie en soorten-samenstelling onderzocht. Dit gebeurt aan de hand van soortenlijsten met kenmerkende soorten en positieve of negatieve soorten. Om te bepalen of de TEO-installatie invloed heeft op de macrofauna moeten de temperatuureffecten van de TEO-installatie (zie paragraaf 2.3, inclusief controle meetpunt) en de macrofaunagemeenschap in beeld gebracht worden (zie tabel 3.2). Wanneer er verschuivingen optreden in de macrofaunagemeenschap, dan moet met expertoordeel gekeken worden of dit een positieve of negatieve verandering is, en of het verschil tussen de controlegemeenschap en de beïnvloedde gemeenschap gelinkt kan worden aan de waargenomen temperatuurverschillen, fluctuaties en tijdsduur van de blootstelling.

TABEL 3.2 STAPPEN VOOR MONITORING VOOR MACROFAUNA

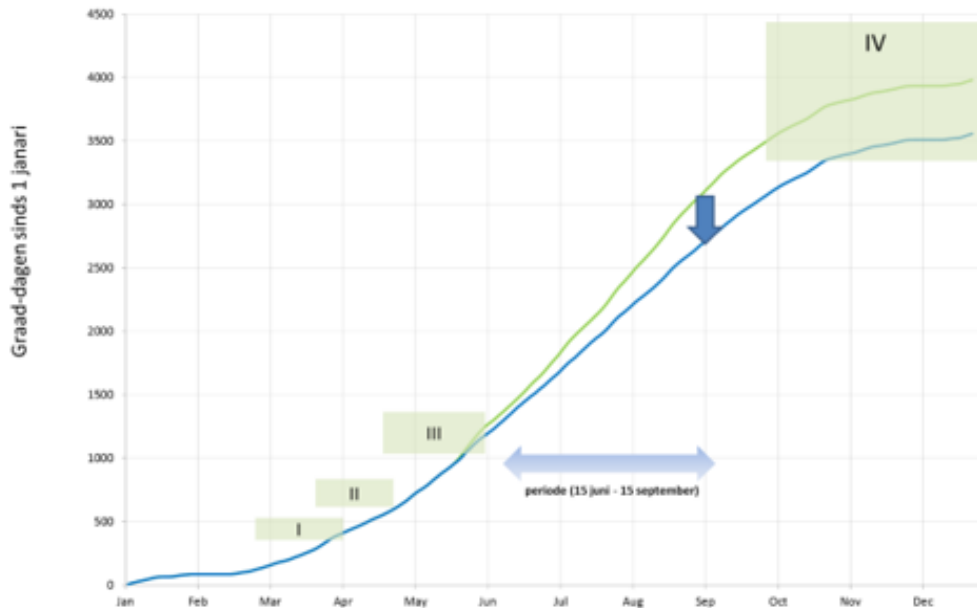
Stap	Wat	Hoe
1	Nulmeting	Voorafgaand aan de inwerkingtreding van de TEO-installatie – methodiek conform handboek hydrobiologie (STOWA, 2014)
2	Controlemeetpunten	Vergelijkbare meetlocaties buiten de invloedssfeer van de TEO-installatie, zodat andere drukken uitgesloten kunnen worden: overeenstemming in macrofauna-samenstelling. Methodiek conform handboek hydrobiologie (STOWA, 2014)
3	Replica's	Idealiter 4 of meer replica's (herhalingen van metingen) voor voldoende betrouwbare statistiek. Metingen in zomerhalfjaar en methodiek conform handboek hydrobiologie (STOWA, 2014)

3.4.3 OVERIGE WATERFLORA

Doel is om na te gaan of de koudelozing zorgt voor achteruitgang van de kwaliteit van waterplanten, c.q. het kwaliteitselement 'Overige waterflora'. Een koudelozing kan de jaarlijkse temperatuursom voor bepaalde delen van een waterlichaam verlagen, wat het begroeibaar areaal, de soortensamenstelling en het functioneren van deze soorten kan beïnvloeden (zie ook afbeelding 3.9). Dit dient te worden vastgesteld met temperatuurmetingen, zie hiervoor paragraaf 3.3. Als de koudelozing inderdaad dusdanig groot is dat de koudepluim een groot deel van het begroeibaar areaal afkoelt, kan dit ervoor zorgen dat waterplanten later opkomen en daardoor algen dominant worden, waarmee de waterkwaliteit achteruit gaat⁴. Deze effecten zijn te meten door de overige waterflora bij de koudelozing te karteren (bijvoorbeeld met dronebeelden).

4 Bij hoeveel afkoeling dit effect kan optreden verschilt sterk per waterlichaam, en volgt uit de maatwerkbeoordeling.

AFBEELDING 3.9 GRAAD-DAGEN VOOR EEN GEMIDDELD JAAR (GROENE LIJN) EN VOOR EEN GEMIDDELD JAAR INCLUSIEF KOUDE LOZING ($\Delta T = 5^\circ\text{C}$) OP BASIS VAN GEMODELLEERDE WATERTEMPERatuur VOOR HOOG DALEM. DE GROENE VLAKKEN GEVEN DE 4 FENOLOGISCHE FASEN VAN STEKELHARIG KRANSWIER WEER, GEPLOT OP DE HOOGTE VAN DE GRAAD-DAGENEIS VOOR DE BETREFFENDE FASE. OVERGENOMEN VAN BODERIE EN VAN GEEST (2017)



3.4.4 VIS

Een mogelijk effect van de koudelozing is dat deze vismigratie blokkeert. Wij adviseren ten eerste te onderzoeken of het waterlichaam een functie heeft voor vismigratie en wat de habitateisen zijn van deze vissen (dit volgt uit de maatwerkbeoordeling). Als dit effect niet is uit te sluiten, kan worden gemeten of de koudepluim daadwerkelijk meer dan 50 % van de natte doorsnede bedekt, zie hiervoor paragraaf 3.3. Als de koudepluim meer dan 50 % van de doorsnede bedekt, adviseren we te monitoren of vissen hier daadwerkelijk last van hebben.

Voor het monitoren van vis zijn verschillende technieken beschikbaar: visbemonsteringen, SONAR (vast punt of vanaf een boot), gebruik van vissen voorzien van zenders (vis-telemetry) en eDNA. Welke technieken het meest passend zijn verschilt per situatie. In veel gevallen zal monitoring met SONAR volstaan, maar als dit onvoldoende informatie geeft kan de monitoringsinspanning opgeschaald worden. In tabel 3.3 is een stappenplan opgenomen om met verschillende technieken geleidelijk meer inzicht te krijgen in hoe koude vismigratie beïnvloedt. De vraag hoe (niet, negatief of positief) een koudepluim het migratiegedrag van vis beïnvloedt, kan het meest accuraat gemeten worden door het zenderen van individuele vissen. In combinatie met temperatuur- en stromingsmetingen kan op die manier per vissoort vastgesteld worden of en wanneer koude effect heeft op migratiegedrag van vissen binnen een waterlichaam en tussen verschillende waterlichamen.

TABEL 3.3 STAPPEN VOOR MONITORING VOOR VIS

Stap	Wat	Hoe
1	Het vaststellen waar vissen zich in een waterlichaam bevinden (voor en tijdens de inwerkingtreding van de TEO-installatie).	Vissen hebben een dag-nacht- en seizoensritme. Daarom van mei tot en met oktober 1 keer per maand rond de avondschemering een aantal raaien (afhankelijk van het waterlichaam) te varen met SONAR. De SONAR-beelden geven inzicht in de mate van dynamiek ten aanzien van de verspreiding van vissen: homogeen of heterogeen? Veranderen de locaties en de dichtheden over de tijd heen? Mogelijke uitkomsten zijn dat er bijvoorbeeld hotspots zijn met een relatief hoge dichtheid van vissen, of dat er nauwelijks vis zit nabij de geplande TEO-uitlaat, of dat de visbiomassa in het algemeen laag is.
2	Indien verdere kennis nodig is: vaststellen van soorten en het aantal individuen per soort.	Ofwel conform KRW methodiek (handboek hydrobiologie) ofwel gebruik van fuiken die een aantal keer per week geleegd worden.
3	Indien verdere kennis nodig is: vaststellen van honkvastheid van de soorten en individuen.	Zenderen van minimaal 25 individuen per soort (mits voldoende groot). De individuen liefst uit verschillende delen van het waterlichaam. Als receivers kunnen VEMCO receivers worden gebruikt.
4	Indien vissen voldoende honkvast zijn en verdere kennis nodig is.	Opschalen van zendernetwerk.
5	Wanneer onvoldoende honkvast.	Doorgaan met de gezenderde individuen: dit kan alsnog inzicht geven of deze individuen door de koudepluim heen zwemmen.

4

MITIGERENDE EN COMPENSERENDE MAATREGELEN

4.1 INLEIDING

Wanneer negatieve effecten op basis van de maatwerkbeoordeling niet zijn uit te sluiten, zijn mitigerende en/of compenserende maatregelen nodig. Met mitigerende maatregelen worden de negatieve effecten van de koudelozing geminimaliseerd. Als na mitigatie negatieve effecten resteren kunnen deze worden gecompenseerd door het nemen van maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit.

4.2 MITIGERENDE MAATREGELEN

Mitigerende maatregelen voor koudelozingen zijn:

- grootte van de koudepluim beperken door gebruik van diffusers als uit modelering blijkt dat de koudepluim te groot is. Diffusers zijn aanpassingen van het lozingspunt, zoals roosters en/of gesplitste uitlaten die zorgen voor betere menging van het koude water. Door het koude water beter te mengen zal de grootte van de koudepluim (waar de temperatuur meer dan 4 °C kouder is) kleiner zijn;
- stratificatie (gelaagdheid) beïnvloeden door menging te verbeteren (bijv. met diffusers, zie hierboven) of het direct toevoegen van zuurstof in de koudepluim (bijv. door een luchtpomp te plaatsen);
- stroming beïnvloeden met ontwerp en locatie van lozingspunt en het innamepunt om kortsluiting te voorkomen. Bijvoorbeeld door het inname en lozingspunt verder uit elkaar te leggen;
- variëren met het temperatuurverschil en lozingsdebiet, bijvoorbeeld door met een lager debiet en een hoger temperatuur verschil te werken, zodat de koudepluim een beperkt oppervlak heeft;
- koudelozing aanpassen aan levensstadia van organismen, bijvoorbeeld niet koude te lozen of met een debiet tijdens paai van waardevolle vissoorten;
- TEO-installatie later aanzetten, bijvoorbeeld pas eind juni, als waterplanten zijn opgekomen, zodat deze niet de concurrentie met algen verliezen en het water troebel wordt;
- aanpassen van de installatie zelf. Bijvoorbeeld door het gebruik van een platen- in plaats van buizenwisselaar (een platenwisselaar is efficiënter qua warmteoverdracht, waardoor er voor hetzelfde vermogen minder debiet en temperatuurverschil nodig is).

Nadat de mitigerende maatregelen zijn verwerkt in het ontwerp, moet opnieuw in de maatwerkbeoordeling worden getoetst of effecten nu wel zijn uit te sluiten (zie ook Handreiking TEO 2.0, hoofdstuk 6.6).

COMBINATIE VAN MONITORING EN MITIGATIE

De ecologische monitoring kan worden benut om mitigatiemaatregelen heel gericht in te zetten. Een voorbeeld is de koudelozing aanpassen aan weersituatie, dus bij een koud voorjaar minder hard draaien, maar juist harder draaien in een warme zomer. Hiervoor kunnen de gegevens van de temperatuurmeting bij de inlaat worden gebruikt.

4.3 COMPENSERENDE MAATREGELEN

Als ook na toepassing van mitigerende maatregelen negatieve effecten niet zijn uit te sluiten, kunnen deze potentieel negatieve effecten worden gecompenseerd met maatregelen die de waterkwaliteit verbeteren. Tabel 4.1 toont een overzicht van potentieel negatieve effecten en de betrokken parameters. Om effectieve maatregelen te kiezen en deze juist te dimensioneren is een systeemanalyse nodig, bijvoorbeeld aan de hand van de ecologische sleutelfactoren (Stowa, 2018). Hiervoor kan de analyse in de maatwerkbeoordeling volstaan. Zonder systeembegrip is er een risico dat ineffectieve maatregelen worden genomen. Zo kan een natuurvriendelijke oever (NVO) bij een te hoge nutriëntenbelasting en onvoldoende licht niet goed tot ontwikkeling komen en daardoor geen effect hebben op de waterkwaliteit (Witteveen+Bos, 2019) of onvoldoende groot zijn om het volledige effect van de TEO-installatie te compenseren. Voor KRW-lichamen is het belangrijk te controleren hoe de compenserende maatregelen zich verhouden tot al geplande maatregelen, zodat deze hierbij aansluiten.

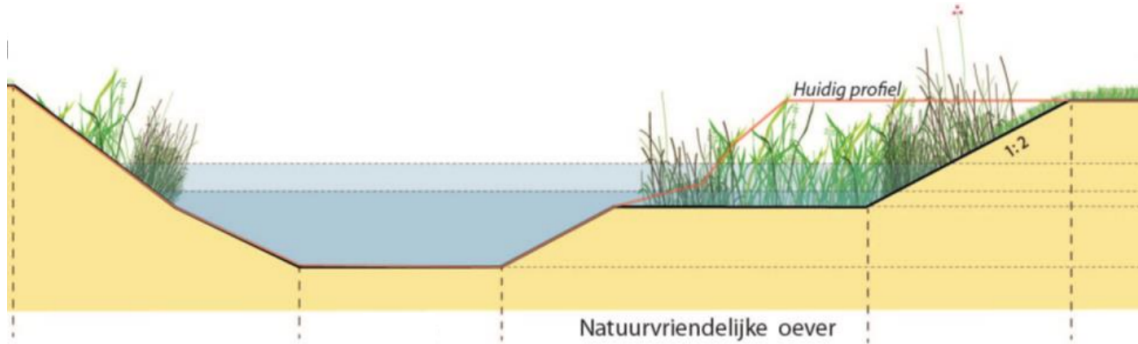
We adviseren de compenserende maatregelen in gang te zetten voordat de TEO-installatie gaat draaien, aangezien een tijdelijke achteruit van de waterkwaliteit niet is toegestaan (Expertisecentrum Europees Recht, 2022), en maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit vaak pas enige tijd na implementatie effectief zijn. Zo is een natuurvriendelijke oever niet gelijk begroeid. Bij TEO in combinatie met een warmte-koudeopslag (WKO) duurt het soms enkele jaren voordat de TEO nodig is om warmte in de ondergrondse bronnen aan te vullen. Dit biedt tijd om de compenserende maatregelen te treffen. In dit geval kan de vergunningverlener er ook voor kiezen om een proef te draaien met de TEO-installatie en aan de hand van monitoring de dimensionering van compenserende maatregelen bij te stellen. Als de grootte van de koudepluim op basis van de proef kleiner is dan verwacht, kan er voor een kleinere natuurvriendelijke oever worden gekozen, en andersom.

Compenserende maatregelen voor negatieve effecten op ecologie zijn:

- stikstof- en/of fosforverwijdering. In sommige gevallen kan dit worden gecombineerd met een TEO-installatie, aangezien voor zowel (open) TEO als fosforverwijdering waterinname nodig is;
- herkolonisatie van soorten, waarop TEO een negatief effect heeft, uit de omgeving faciliteren door habitat voor deze soorten op orde te brengen, bijvoorbeeld in de vorm van drijvend groen of een natuurvriendelijke oever (zie afbeelding 4.1);
- zones voor waterplanten (begroeibaar areaal) elders in het waterlichaam aanleggen;
- compenseren van leefgebied als deze minder ecologisch geschikt wordt. Hiervoor zijn meerdere opties, bijvoorbeeld:
 - bij verminderd ecologisch functioneren van een rietkraag door een TEO-installatie kan deze rietkraag elders worden aangelegd;
 - aanleg van natuurvriendelijke oevers, zie afbeelding 4.1;
 - verrijken van de leefomgeving of habitat met: visbossen, doodhout (afbeelding 4.2), aanbrengen van reliëf (bijvoorbeeld met schanskorven en/of ecobeton);
- vispasseerbaarheid verbeteren (bij blokkade migratie) door de aanleg van vispassages.

Voor het dimensioneren van deze compenserende maatregelen is expertoordeel nodig om te bepalen of deze voldoende het effect van de TEO-installatie compenseren.

AFBEELDING 4.1 DWARSPROFIEL VAN EEN NATUURVRIENDELIJKE OEVER, MET IN ORANJE DE LIJN MET HET HUIDIGE PROFIEL. HET STROOMVOERENDE GEDEELTE BLIJFT GELIJK, MAAR DE BERGENDE BREEDTE WORDT VERGROOT, MET RUIMTE VOOR WATER- EN OEVERPLANTEN (WITTEVEEN+BOS, 2019)



AFBEELDING 4.2 TAKKENBOSSEN MET DOOD HOUT BIEDEN HABITAT VOOR MACROFAUNA EN VIS (BRON: RIJKSWATERSTAAT)



TABEL 4.1 OVERZICHT VAN POTENTIEEL NEGATIEVE EFFECTEN, RELEVANTE PARAMETERS EN DE BIJBEHORENDE MITIGERENDE MAATREGELEN

Mogelijk negatief effect op:	Relevante parameters	Handelingsperspectief	Hypothese
Door koudelozing:			
O2-verzadigingsgraad (afname)	Temperatuur Zuurstof	Verkleinen van koudepluim door verbeteren van menging	Een koudelozing kan zorgen voor stratificatie, waardoor de O2-verzadigingsgraad kan dalen. Het oplossen van stratificatie gebeurt door een verhoging van turbulentie. Dit kan gedaan worden nabij en verder van de uitlaat vandaan. Nabij de uitlaat kan de turbulentie verhoogd worden, dit kan onder andere door: - verandering van de inbrenghoek van de lozing - het uitlaatontwerp zelf - de hoogte van de lozing - diffusors toepassen Verder van de uitlaat vandaan, kan gedacht worden aan: - het verhogen van het langsstroomdebiet (waterverdeling); - het ingenomen debiet afstemmen op het langsstroomdebiet (lager bij een lager langsstroomdebiet en hoger bij een hoger langsstroomdebiet) en/of het type weer (hogere windsterkte en regen zorgen voor meer turbulentie en lagere temperaturen en dat verkleint de kans op stratificatie).
Fytoplankton (toename abundantie, afname kwaliteit)	Temperatuur Fytoplankton-abundantie Fytoplankton-samenstelling		Door stratificatie en temperatuurverlaging kan de fytoplanktensamenstelling en abundantie veranderen. Voor het oplossen van stratificatie zie het handelingsperspectief van O2-verzadigingsgraad. Een temperatuurverlaging in de zomer leidt vermoedelijk niet tot een negatieve verandering in soortensamenstelling, maar mogelijk tot een positieve. De abundantie zal vermoedelijk afnemen in troebele wateren, maar kan toenemen bij een grote TEO-installatie in een helder water, doordat waterplanten in koeler water de competitie met algen verliezen (zie overige waterflora).
Overige waterflora (afname abundantie en kwaliteit)	Temperatuur Abundantie (bedekkingsgraad) Soortensamenstelling		Door temperatuurverlaging vertraagt de groei van waterplanten, waardoor deze mogelijk de competitie van algen verliezen en een helder water naar troebel kan omslaan. Daardoor neemt mogelijk de bedekking van waterplanten af en verandert de soortensamenstelling.
Macrofauna (afname abundantie en kwaliteit)	Temperatuur Macrofauna abundantie Macrofauna soortensamenstelling		Door stratificatie kunnen negatieve effecten optreden (zie handelingsperspectief voor O2-verzadigingsgraad).
Vis (afname migrerende vis)	Ruimtegebruik vis (migratie barrière)		De koudepluim kan mogelijk leiden tot een barrière voor vismigratie. Wanneer dit het geval is, biedt het beter mengen van de koudepluim een uitweg. Geadviseerd wordt om, in het geval van barrière-werking van de pluim ook op hoger schaalniveau te kijken naar het ruimtegebruik van vis: mogelijk dat de vis een andere migratieroute kan kiezen.
Door stroming			
Doorzicht (afname)	Doorzicht Zwevend stof	Verlagen van debiet en verhogen temperatuurverschil in TEO-installatie. Dit geeft minder stroming bij hetzelfde vermogen	Negatieve effecten van stroming of doorzicht/zwevend stof kunnen verminderd worden door het gebruik van een lager debiet.
Fytoplankton (afname abundantie en kwaliteit)	Fytoplankton-abundantie Fytoplankton-samenstelling		Negatieve effecten van stroming op fytoplanktensamenstelling kunnen verminderd worden door het gebruik van een lager debiet.

5

DISCUSSIE EN CONCLUSIE

Dit monitoringsadvies biedt handvatten voor het stellen van monitoringseisen in vergunningen voor TEO-installaties, passend bij de *Handreiking voor beoordeling van ecologische effecten van TEO-systemen 2.0*. (Witteveen+Bos en FLO Legal, 2023). De monitoringseisen voor een standaardvergunning zijn vereenvoudigd ten opzichte van het eerdere monitoringsplan (Wortelboer et al., 2020), met minder te meten parameters (met name voor fysische chemie), een lagere meetdichtheid en frequentie en een helderder onderscheid tussen monitoringsniveaus. Daarnaast is het monitoringsadvies verduidelijkt (uitgebreide toelichting en onderbouwing) ten opzichte van de eerdere handreiking.

De monitoring bij een maatwerkvergunning hangt af van de uitkomst van de maatwerkbeoordeling. We bieden een breed scala aan opties om de koudepluim en het effect op de biologische waterkwaliteit goed in kaart te brengen. De uitkomsten worden getoetst aan de waterkwaliteitseisen zoals gesteld in de KRW of andere lokaal geldende waterkwaliteitsdoelen; de kwaliteit mag immers niet achteruit gaan. Vanwege grote onzekerheden bij het meten van de biologische waterkwaliteit is een uitgebreide monitoring noodzakelijk om tot betrouwbare conclusies te komen. Hoewel dit kostbaar kan zijn en daarom niet altijd haalbaar, is dergelijke uitgebreide monitoring zeer waardevol om meer te leren over de ecologische effecten van TEO en om in de toekomst beoordelingscriteria te kunnen aanscherpen. Daarom willen we waterbeheerders aansporen om uitgebreid te monitoren en deze gegevens te delen met STOWA.

Dit monitoringsadvies biedt ook een overzicht van mitigerende en compenserende maatregelen om mogelijke negatieve effecten van een TEO-installatie te mitigeren. Aan de basis van effectieve en passend gedimensioneerde maatregelen staat een systeemanalyse, waarbij de maatwerkbeoordeling als input dient. Vanwege beperkte kennis over TEO-installaties speelt expertoordeel een belangrijke rol bij het bepalen van passende maatregelen.

Dit rapport richt zich uitsluitend op monitoring en maatregelen voor de effecten van koude-losing door TEO-installaties. Aangezien er weinig kennis is over de effecten van filtering, vormt dit vaak een knelpunt bij het vergunnen van TEO-installaties. Denk hierbij in geval van een maatwerkvergunning aan monitoring van de sterfte van aquatisch leven dat wordt ingenomen door de TEO-installatie, en aan mitigerende maatregelen zoals grotere maaswijdte van filters, lagere instroomsnelheden en het ontwerp van de inlaat⁵. Effecten door inname (filtering) kullen in toekomstige monitoringsadviezen worden toegevoegd.

5 Voorbeelden van nieuwe technieken voor mitigatie van de effecten van filtering zijn 'modified traveling screens', 'Ristroph-style collection buckets' en 'centre-flow travelling band sceens'.

6

REFERENTIES

Boderie, P., Van Geest, G., 2017. Effecten koud waterlozing slootsysteem Hoog Dalem – Onderzoeksverslag. Deltares rapport 1205909-000-ZWS-0020.

Expertisecentrum Europees Recht (2022, 6 mei). EU-Hof: kortdurende tijdelijke effecten zonder gevolgen op lange termijn mogen in principe bij verenigbaarheidstoets waterkwaliteit niet buiten beschouwing worden gelaten. Geraadpleegd op 30 juli 2024, van <https://ecer.minbuza.nl/-/eu-hof-kortdurende-tijdelijke-effecten-zonder-gevolgen-op-lange-termijn-mogen-in-principe-bij-verenigbaarheidstoets-waterkwaliteit-niet-buiten-beschouwing-worden-gelaten>

Rijkswaterstaat (2020). Protocol monitoring en toestandsbeoordeling oppervlaktewaterlichamen KRW.

Stowa (2014). Handboek Hydrobiologie. 16-09-2010, herzien in januari 2019.

Stowa (2018). Ecosysteemtoestanden voor stilstaande wateren. 2018-23 versie 2 web.pdf (stowa.nl).

Witteveen+Bos (2019). Evaluatie Effectiviteit Natuurvriendelijke Oevers in Delfland.

Witteveen+Bos en FLO Legal (2023). Handreiking voor beoordeling van ecologische effecten van TEO-systemen, versie 2.0. 136187/23-016.409, 17 oktober 2023. STOWA, Amersfoort.

Wortelboer, R., Harezlak, V., 2020. Monitoringsplan Ecologische Effecten Thermische Energie Oppervlaktewater. Rapport Deltares, uitgevoerd onder WarmingUP.