



Deltafact Ecologische impact TEO-systemen

Dit Deltafact geeft een overzicht van de stand van zaken van de ecologische gevolgen van warmtewinning uit oppervlaktewater (TEO) waarbij het water afkoelt en in de installatie wordt gefilterd.

1. INLEIDING
2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS
3. STRATEGIE WARMTE UIT WATER
4. SCHEMATISCHE WEERGAVE
5. ECOLOGISCHE IMPACT
6. KOSTEN EN BATEN
7. GOVERNANCE
8. PRAKTIJKERVARING EN LOPEND ONDERZOEK
9. KENNISLEEMTES
10. LITERATUUR/ LINKS
11. COLOFON

1. Inleiding

De overgang van het gebruik van fossiele brandstoffen naar hernieuwbare energie leidt tot reductie van CO₂ emissies. De warmtetransitie levert een bijdrage aan deze overgang. De warmtetransitie vraagt om de inzet van duurzame warmtebronnen voor de verwarming van woningen, kantoren en bedrijven. Aquathermie is zo'n duurzame bron, waarbij warmte aan water onttrokken wordt. Warmte, onttrokken aan het oppervlaktewater, noemen we ook wel Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO¹). Gemeenten, woningbouwcorporaties, kantoren en (energie)bedrijven zetten voor de toekomst in op het gebruik van warmte van het oppervlaktewater als duurzame warmtebron. Het principe is eenvoudig: Het

¹ Bij het gebruik van Afval- of Drinkwater als warmtebron wordt over TEA, respectievelijk TED gesproken.

oppervlaktewater wordt onttrokken en passeert filters en warmtewisselaar, waarna het water koeler wordt terug geloosd op het oppervlaktewater. De filtering, lokale afkoeling van het oppervlaktewater en de introductie van stroming als gevolg van de onttrekking en de lozing kan leiden tot veranderingen in het watersysteem. Om (negatieve) ecologische gevolgen te vermijden en positieve effecten te benutten dient een warmte-onttrekking verantwoord te worden vormgegeven. Regelgeving voor de ecologische beoordeling van de impact van TEO-installaties is in Nederland niet beschikbaar. Uiteraard is de KRW-regelgeving leidend en daarnaast is er een handreiking vergunningverlening beschikbaar [\[13\]](#).

Deze Deltafact geeft een overzicht van de beschikbare kennis van effecten van een TEO-systeem op de ecologische toestand van oppervlaktewater. De Deltafact beperkt zich tot onttrekking van warmte aan zoete watersystemen.

2. Gerelateerde onderwerpen en deltafacts

Er zijn verschillende Deltafacts beschikbaar die een relatie hebben met voorliggende Deltafact. De Deltafact uit 2017 getiteld "Ecologische effecten koudwaterlozingen" wordt met deze update vervangen.

De beschikbare Deltafacts over klimaatverandering ("Effects of climate change on nature") behandelen het effect van klimaatverandering op terrestrische natuur.

Hierbij wordt niet specifiek het effect op het oppervlakte water beschouwd.

Veranderende watertemperatuur heeft invloed op de uitstoot van broeikasgassen ("Broeikasgasemissies uitzoetwater") en het leefklimaat in bebouwde omgeving ("Droogte en hitte in de stad").

Levering van energie uit oppervlaktewater is te beschouwen als een ecosysteemdienst zoals genoemd in de Deltafact "blauwe diensten". Aquathermie wordt vaak gecombineerd met ondergrondse opslag van warmte en koude in de ondergrond ("Effecten van bodemenergiesystemen op de grondwaterkwaliteit"). TEO systemen zijn doordat ze stroming (kunnen) veroorzaken ook te zien als een vorm van beheer van het watersysteem ("Beheer en onderhoud" en "Stroming en waterbeweging").

Er zijn nog enkele Deltafacts die voor de monitoring van de effecten van TEO van waarde zijn ("Monitoren van de ecologie" en "Participatieve monitoring in het waterbeheer" en "Remote sensing waterkwantiteits- en waterkwaliteitsbeheer"). Er is géén relatie met "De effecten van droogte op de ecologie".

3. Strategie warmte uit water

TEO levert warmte voor de verwarming van woningen en gebouwen. Voor deze warmte-onttrekking zijn op hoofdlijnen twee strategieën mogelijk: (1) onttrekken in de zomer en (2) jaarrond onttrekken.

Meest gebruikelijk is om warmte te onttrekken in het zomerseizoen. Deze strategie combineert een hoog rendement van de warmtewinning (hoger bij hogere temperaturen) met de verwachting van beperkte ecologische impact. Naar verwachting een beperkte impact, omdat pas na het voorjaar, waarin ecologie kwetsbaar is, wordt gestart met de warmtewinning. Deze eindigt dan weer in het najaar, als de temperaturen en rendementen lager worden. Omdat de warmte in de zomer wordt gewonnen en pas in de winter nodig is, wordt in deze strategie TEO gecombineerd met seizoensopslag. Bij seizoensonttrekking is dus seizoensopslag nodig. De warmte wordt ondergronds opgeslagen in de warme bron van een WarmteKoude-Opslagsysteem (WKO), ook wel Open BodemEnergiesysteem (OBES) genoemd. In Figuur 1 is schematisch weergegeven hoe 's zomers warmte uit het oppervlaktewater wordt gebruikt om de warme grondwaterbron (18°C) te voeden middels een warmtewisselaar. De zo opgeslagen warmte kan in de winter worden gebruikt voor verwarming van woningen. Om de warmwater- en koudwaterbronnen in balans te houden is de warmte uit het oppervlaktewater een waardevolle aanvulling, omdat de warmtevraag voor woningen de koudevraag overstijgt.



Figuur 1: Principeschets combinatie TEO met seizoensopslag in de bodem

Nu wordt ook de 2e strategie van jaarrond onttrekken vaker verkend. Hierdoor is een systeem voor seizoensopslag niet nodig, wordt een kleinere capaciteit van de TEO gevraagd en, doordat het systeem het hele jaar operationeel is, treden er geen

temperatuurschokken op, waar ecologie gevoelig voor is. Bij jaarrond onttrekken is er wel een ondergrens aan de temperatuur van het oppervlaktewater, waarbij warmte-onttrekking economisch niet meer rendabel is.

De keuze voor een onttrekkingsstrategie bepaalt dus mede de verandering in het watersysteem, beide strategieën hebben vanuit ecologisch oogpunt voors en tegens. Er kan geen uitspraak worden gedaan over welke strategie ecologisch in het algemeen het meest wenselijk is. Dat is locatie- en situatieafhankelijk.

4. Schematische weergave

De TEO-installatie

De warmtevraag bepaalt welke capaciteit je van de TEO-installatie nodig hebt. Een TEO-installatie kan op alle schaalniveaus worden ontworpen, van bedrijfs- of woningniveau tot aan woonwijken van tienduizenden woningen. De capaciteit, die in de praktijk realiseerbaar is, is het product van de (toegestane) afkoeling en het debiet. De maximale capaciteit die realiseerbaar is wordt daarmee door eis aan de afkoeling en de locatie, beschikbaar debiet, bepaald.

Veelal wordt met een vaste afkoeling (ΔT) gewerkt die in praktijk varieert tussen 3 en 6°C en voor grote installaties van 6 tot 10 °C . De temperatuur van het terug geloosde water is dan gelijk aan de inname temperatuur minus deze vaste temperatuurverlaging (ΔT). Hierbij stelt de waterbeheerder vaak een eis aan de minimumtemperatuur waarbij onttrekken is toegestaan (orde 12-15°C).

Afhankelijk van de warmtevraag kan het benodigd debiet worden vastgesteld. Ter indicatie van debieten is Tabel 1 opgenomen, waarbij een warmtepomp met een COP van 4 is aangehouden.

# woningen	warmtevraag (GJ/jaar)	afkoeling (ΔT in °C)	onttrekkingsdebiet (m ³ /uur)	
			3 maanden	Jaarrond
1	30	3-6	0.15 - 0.30	0.04 - 0.08
100	3.000	3-6	15 - 30	4.0 - 8.0
10.000	30.000	3-6	1500 - 3000	400 - 800

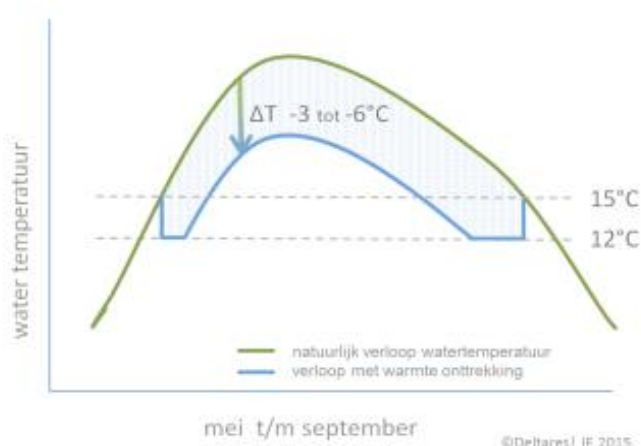
Tabel 1: Relatie warmtevraag, afkoeling en debieten TEO

Temperatuurverandering door TEO

De warmtevraag en daardoor ook de hoeveelheid te winnen warmte varieert over de jaren. In warme winters is de warmtevraag lager. Daarnaast neemt de winbare hoeveelheid warmte juist toe als temperaturen hoger zijn. Dat maakt dat de lozing en onttrekking van een TEO-installatie over de dagen en jaren kan fluctueren. De

warmtevraag resulteert met een TEO-installatie in een zogenaamde koudevracht, gedefinieerd als het debiet x temperatuurverschil. Verschillende combinaties van temperatuurverschil en debiet kunnen leiden tot dezelfde koudevracht.

De koudevracht en het onttrekkingsregime van de TEO-installatie zijn bepalend voor de temperatuurverandering die optreedt in (een deel van) een watersysteem. Als de installatie alleen gedurende de zomermaanden operationeel is, verlaagt de temperatuur in de zomermaanden ten opzichte van de natuurlijke situatie, zie Figuur 3. Bij jaarrond onttrekken en lozen is de watertemperatuur (lokaal) gedurende het hele jaar lager dan zonder de installatie.



Figuur 3: Het effect van het lozen van koude in de zomer op de natuurlijke watertemperatuur (groen). Te zien is dat deze (fictieve) installatie werkt vanaf 15°C en de ΔT op -6°C is begrensd én het geloosde water niet kouder mag zijn dan 12°C (bij inname van 15°C is ΔT b.v. -3 °C).

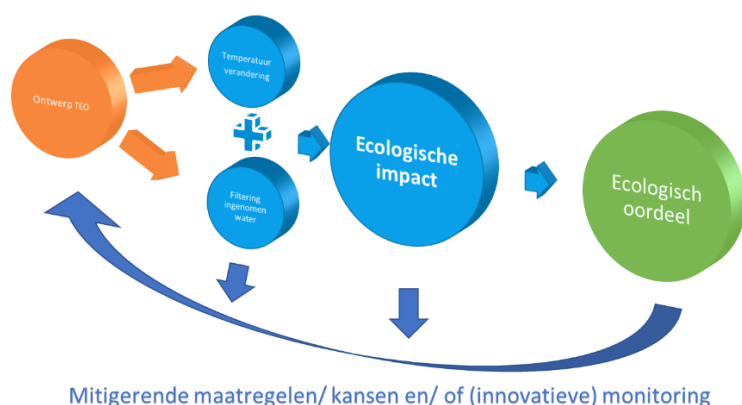
In beginsel zal het geloosde afgekoelde water naar de bodem zakken door de hogere dichtheid, maar voor de verspreiding spelen de weersomstandigheden en eventuele gelaagdheid (stratificatie) in het watersysteem een belangrijke rol. Zie ter illustratie Figuur 2. De gelaagdheid in het watersysteem kan van nature aanwezig zijn, maar ook ontstaan of worden versterkt door de koudelozing. Meer informatie is hierover te vinden in [\[16\]](#) en [\[17\]](#).

Gevolgen van een TEO-installatie

Een TEO-installatie onttrekt oppervlaktewater dat vervolgens filters en warmtewisselaar passeert en terugstroomt naar het oppervlaktewater. Dit beïnvloedt het watersysteem:

- het watersysteem koelt af,
- het watersysteem wordt gefilterd en
- het watersysteem kan gaan stromen van lozings- naar onttrekkingspunt

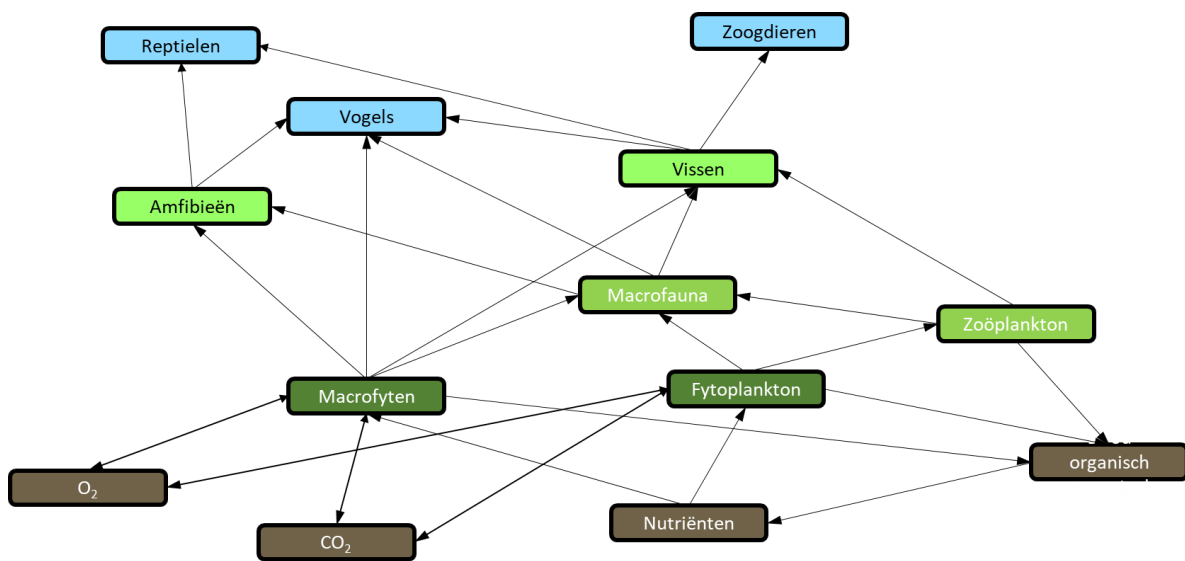
Met een stapsgewijze aanpak, geschetst in Figuur 4, kan een ecologisch oordeel van de effecten worden gevormd. De aanpak start met een goed beeld van de beoogde TEO-installatie. Het ontwerp van de installatie bepaalt de temperatuurverandering, de stroming en de impact van de filters op het ingenomen water. Deze effecten samen vormen de ecologische impact. Het is aan de waterbeheerder om te oordelen in hoeverre de impact wenselijk is. Het ecologisch oordeel kan worden beïnvloed door aanpassing van het ontwerp (zoals maaswijdte filter) of ontwerpkeuzen (zoals toegestane temperatuurverlaging, periode van onttrekking). Het ecologisch oordeel kan ook leiden tot eisen voor monitoring van (de effecten van) de TEO-installatie.



Figuur 4: Van ontwerp tot TEO tot ecologisch oordeel: een stapsgewijze aanpak

5. Ecologische impact

Het ecosysteem is een complex en subtiel samenspel tussen levende organismen (biota) in water en bodem (Figuur 5). Indien één van de factoren in dit samenspel verandert, beïnvloedt dat andere factoren. Dit kan leiden tot een ander ecologisch evenwicht. Er zijn directe en indirecte effecten van een TEO-installatie. Als voorbeeld: temperatuurverlaging verlaagt de groeisnelheid van waterplanten (macrofyten). Dit directe effect verkleint het voedselaanbod voor de vissen (indirect effect). Directe en indirecte effecten van filtering, afkoeling en stroming, als gevolg van een TE dienen in samenhang te worden beschouwd.



Figuur 5: Het ecosysteem, een complex samenspel tussen levende organismen in water en bodem

Hieronder wordt de beschikbare kennis over de ecologische impact van TEO-systemen aan de hand van de volgende onderwerpen beschreven.

- A. Temperatuurverlaging
- B. Passage TEO-installatie
- C. Ecologische impact stroming
- D. Gecombineerde impact
- E. Mogelijke maatregelen
- F. Ecologisch oordeel

A. Ecologische impact temperatuurverlaging

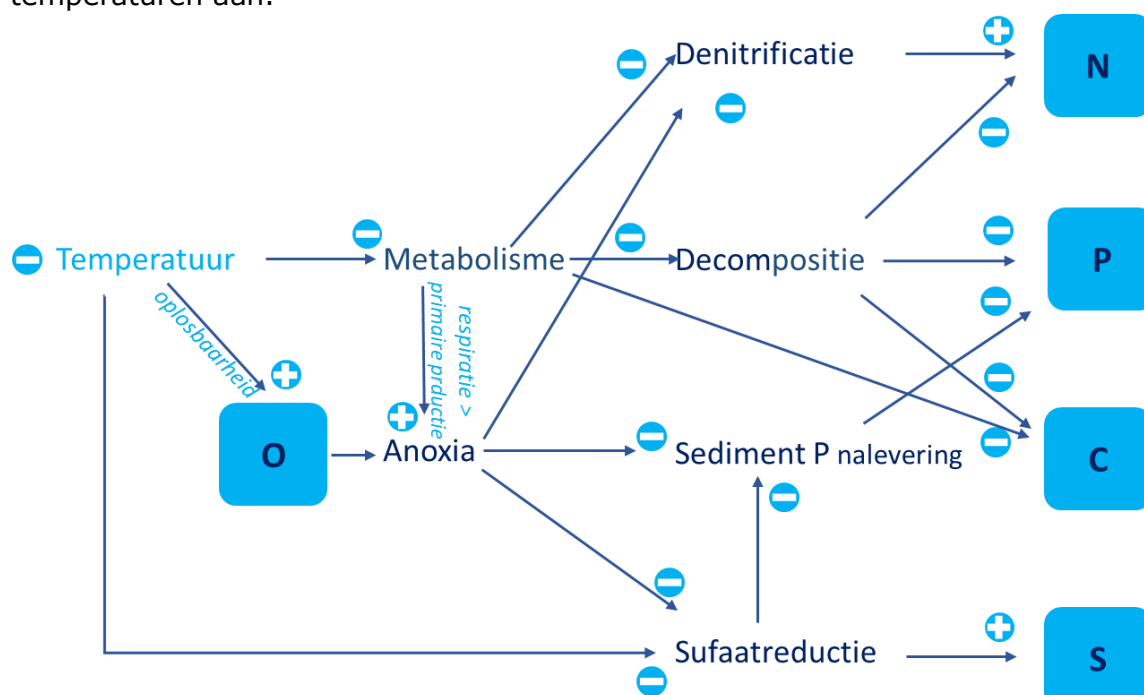
De TEO-installatie zorgt lokaal voor een daling van de watertemperatuur. Dit beïnvloedt zowel de fysisch-chemische processen ("chemie") als de ecologische relaties ("ecologie") in het ontvangende water (Figuur 6). De meeste kennis van temperatureffecten op waterkwaliteit en ecologie is afkomstig van onderzoek naar de invloed van de toename van de (lucht)temperatuur (en andere aspecten van het klimaat). Deze kennis over opwarming is gebruikt om de effecten van afkoeling in beeld te krijgen. Tabel 2 geeft een opsomming van effecten op hoofdlijnen per soortgroep.

Hoe de effecten op soortniveau elkaar en het ecosysteem beïnvloeden is onderzocht met een ecologisch model [3, 4]. Daaruit blijkt dat door verlaging van de snelheid van waterplantengroei fytoplankton het systeem makkelijker kan domineren, en daarmee een verandering van het ecologisch functioneren van het watersysteem in gang zet. Een kanttekening is dat plantensoorten (kunnen) verschillen in temperatuuroptima en grenzen waarbij ze tot ontwikkeling komen. Hierdoor kan een temperatuurverlaging door een koudelozing voor de ene plantensoort leiden tot een latere ontwikkeling en voor een andere plantensoort tot weinig effect [4].

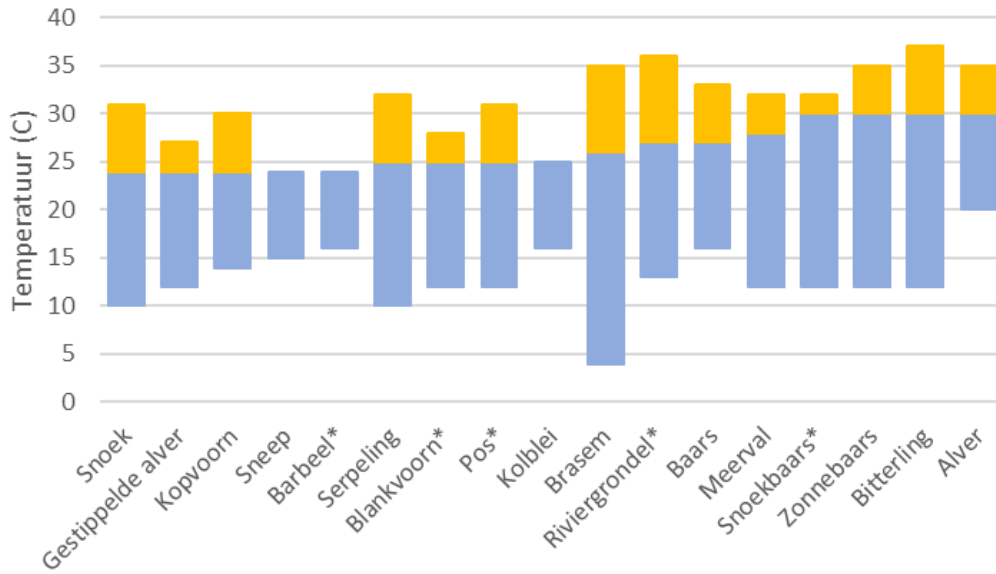
Naast veranderingen in het functioneren van het ecosysteem door verlaging van de natuurlijke temperatuur leidt een verlaging van de natuurlijke temperatuur ook tot:

- het vaker onderschrijden van kritische lage temperaturen en
- het minder vaak overschrijden van kritisch hoge temperaturen

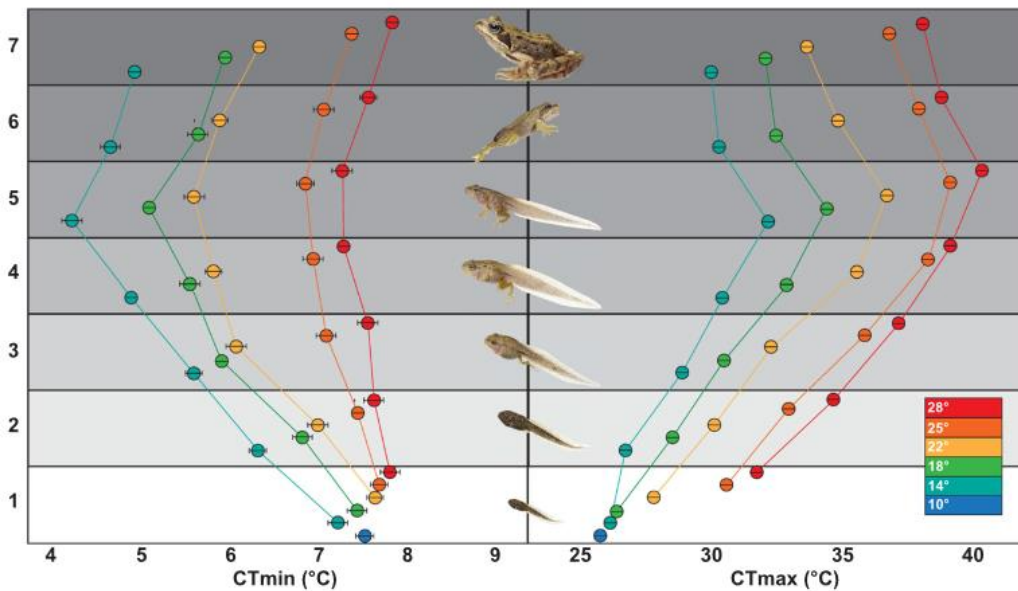
Figuren 7 en 8 geven voor vissen en een amfibie de range van kritische lage en hoge temperaturen aan.



Figuur 6: Vereenvoudigd schema van een temperatuurdaling op de toename (+) of afname (-) van concentraties zuurstof (O), stikstof (N), fosfor (P), koolstof (C) en zwavel (S) in oppervlaktewater. Overgenomen en aangepast uit [22].



Figuur 7: Absolute temperatuur grenzen (minimum-maximum) voor het volwassen stadium voor verschillende vissoorten. In blauw het temperatuur bereik van minimum naar optimale temperatuur en in oranje het temperatuur bereik van optimale naar dodelijke temperatuur. Een ontbrekend oranje balkje bij een soort wijst op ontbrekende data. Data overgenomen uit [21] en *deels uit [20].



Figuur 8: Verschillende ontwikkelingsstadia (verticale as) voor bruine kikker waarin het bereik van de kritieke minimum temperatuur (CTmin) en kritieke maximum temperatuur (CTmax) op veranderen. De kleuren representeren de verschillende acclimatisatie 'start' temperaturen. Overgenomen van [23].

Fysisch chemisch		
O ₂ , CO ₂	De relatie tussen temperatuur en O ₂ - en CO ₂ -gehalte is bekend. Deze gassen zijn beter oplosbaar bij lagere temperatuur.	[1]
	De aanwezigheid van primaire producenten (fytoplankton en macrofyten) heeft een directe link met het O ₂ - en CO ₂ -gehalte (Figuur 6)	[1]
organisch materiaal	De omzetting van organisch naar anorganisch materiaal vertraagt bij lagere temperaturen.	[1]
fosfaat, stikstof	de omzetting van organisch naar anorganisch materiaal vertraagt bij lagere temperaturen, waardoor de toevoer van anorganisch materiaal trager verloopt (Figuur 6).	[1]
Fytoplankton		
fotosynthese	Lagere temperatuur leidt tot een tragere fotosynthese en daarmee tot verlaagde productiviteit, lagere nutriëntopname, minder dood organisch materiaal en daardoor beter doorzicht.	[1] [1]
	De fotosyntheseactiviteit neemt voor de meeste soorten met een factor 2 af bij een temperatuurverlaging van 10 °C. Echter, in een natuurlijke situatie is de fotosynthese vaak minder sterk aan temperatuur gekoppeld doordat de beschikbaarheid van licht en nutriënten bepalender zijn.	[1] [1]
groeisnelheid	De meeste soorten hebben een breed temperatuur bereik waarin ze kunnen groeien, 10 - 25 °C.	[1]
	De graasdruk van zoöplankton op fytoplankton wordt gestuurd door zowel temperatuur als nutriëntenbelasting. Het daadwerkelijke effect lijkt sterk systeem specifiek te zijn.	[4]
soortensamenstelling	Lagere temperatuur kan leiden tot andere samenstelling fytoplankton (vertraging groei cyanobacteriën) Met fytoplanktonmodellen kan groei en competitie fytoplankton worden voorspeld.	
	Over het algemeen domineren blauwalgen bij hogere T (> 20 °C), gevolgd door groenalgen, en diatomeeën bij lagere T (< 14 °C). Beschikbaarheid van licht en nutriënten is hierbij ook bepalend, als mede de troebelheid van het water.	[1] [1]
	Fytoplankton kan direct concurreren met macrofyten voor nutriënten. Een verandering door temperatuur kan een effect hebben op dit evenwicht.	[1]
Macrofyten		
fotosynthese	De fotosynthesesnelheid neemt bij een lagere temperatuur lineair af, mits licht en nutriënten voldoende beschikbaar zijn.	[1]
	Een lagere temperatuur kan in eerste instantie leiden tot verlaging van respiratie ten opzichte van productie, maar dit effect is kortstondig.	[1]
groeisnelheid	De groeisnelheid van macrofyten kan zich aanpassen aan structurele temperatuurverlaging. Kennis ontbreekt over de effecten van wisselende temperaturen.	[1] [1]
		[1]
fenologie	Voor meerjarige macrofyten, kan een lagere temperatuur leiden tot een beperktere opbouw van reserves	[1]

	Een lagere temperatuur beïnvloedt zo de fenologie: latere kieming bijv. (Hopkins bioclimatic law)	
soortensamenstelling	De start van het groeiseizoen in het voorjaar wordt voor sommige soorten primair gestuurd door water temperatuur, en voor andere soorten door daglengte. Een verlaging in temperatuur zal voor de eerste groep een vertragend effect hebben op de start van het groeiseizoen. Dit zal effect hebben op de competitie tussen verschillende soorten en mogelijk ook tussen de competitie tussen waterplanten en fytoplankton.	[1]
	Macrofyten kunnen direct concurreren met fytoplankton voor nutriënten. Een verandering door temperatuur kan een effect hebben op dit evenwicht.	[1]
Macrofauna		
groeisnelheid	Koude schokken zijn onwenselijk	[2]
	Macrofauna in stromend water is kwetsbaarder voor veranderingen in temperatuur dan in stilstaand water	[2]
	Macrofauna is gevoelig voor zuurstofconcentraties (die worden beïnvloed door temperatuur)	[2]
fenologie	Temperatuurverandering leidt in stilstaand water met name tot verandering in fenologie, zo is er bijvoorbeeld een relatie tussen temperatuur en uitkruipen	[2]
soortensamenstelling	temperatuurverandering geeft in stromend water mogelijk verandering in soortensamenstelling: - inheemse soorten hebben baat bij lagere temperaturen - exoten profiteren van hogere temperaturen	[2]
Macrofauna groei en ontwikkeling	Fysiologische processen zijn temperatuur afhankelijk. In het algemeen is groeisnelheid bij lagere temperatuur lager, en zijn er minder generaties per jaar. De meeste soorten kunnen zich aanpassen aan een andere temperatuur, de mate waarin verschilt per soort.	
	Van alle omgevingsfactoren correleert watertemperatuur het best met abundantie macrofauna.	
	Optimum Temperatuur van veel macrofauna soorten ligt tussen 10 en 23 °C.	
Macrofauna levenscyclus	De temperatuur beïnvloedt de levenscyclus van insecten; in het voorjaar komt de temperatuur boven een drempelwaarde waarboven groei en ontwikkeling kan plaatsvinden. Binnen het groeiseizoen ligt een tweede drempelwaarde waarboven ontwikkeling tot adult plaatsvindt. Bepaalde insecten overbruggen een periode met lage temperatuur d.m.v. een diapauze (periode van inactiviteit).	
Vissen		
groei en ontwikkeling	Lagere temp leidt tot tragere groei en ontwikkeling, hogere temperatuur vraagt meer energie voor metabolisme en beperkt energie voor groei en reproductie. In het optimum verloopt het fysiologisch optimaal.	[1] [1]
	Vissen variëren sterk in optimum voor temperatuur, daarbij varieert het optimum per soort ook door de tijd (Figuur 8)	[2]
	Voor specifieke soorten inzicht in acceptabele temperatuur-range, vissen zijn adaptief:	[1] [2]

	- bandbreedte adulte vissen 14 graden (Figuur 7) - bandbreedte vislarven 11 graden	
	Er is per soort een temperatuur ondergrens voor paaien, voor eieren/larven	[2]
	Koude schokken onwenselijk	[1]
	Vissen migreren naar optimale temp via 'geleidelijke' overgangen"	[2]
	Er is weinig bekend over de invloed van temperatuurverandering op de fenologie	[1]
Amfibieën		
	amfibieën zijn adaptief en mobiel (bv. Figuur 8 bruine kikker)	[2]
Voedselweb		
	Temperatuurgradiënt maakt ecosysteem robuuster	[2]
	Temperatuurschokken ongewenst	[1]

Tabel 2 Samenvatting effecten temperatuurverandering voor verschillende aspecten van het watersysteem en soortgroepen daarin (gebaseerd op literatuurstudies [1] en [2]).

B. Ecologische impact passage TEO installatie

De TEO-installatie bestaat uit diverse onderdelen die schade aan organismen kunnen veroorzaken, namelijk de filters, de pomp en de warmtewisselaar ([9] [10],[11]).

Van bestaande TEO-installaties is niet veel informatie over (ontwerp)kenmerken beschikbaar [3], zoals grootte van debieten en maaswijdten van filters. Kennis over mogelijke schade is beperkt omdat monitoring daarvan tot nu toe ontbreekt en literatuuronderzoek [3] niet erg veel concreets oplevert.

Echter, koelwaterinstallaties (zoals bij energiecentrales) bevatten veelal vergelijkbare onderdelen en hiervan is meer informatie over specificaties en schade beschikbaar. Hoewel deze installaties aanzienlijk grotere debieten verwerken zijn instroomsnelheden en drukverschil over de filters en in leidingen vergelijkbaar met condities in TEO installaties. De kennis over schade door de TEO installatie in deze Deltafact is dan ook afkomstig van deze typen installaties [3]. NB bij energiecentrales gaat het om opwarming, bij TEO-installaties om afkoeling.

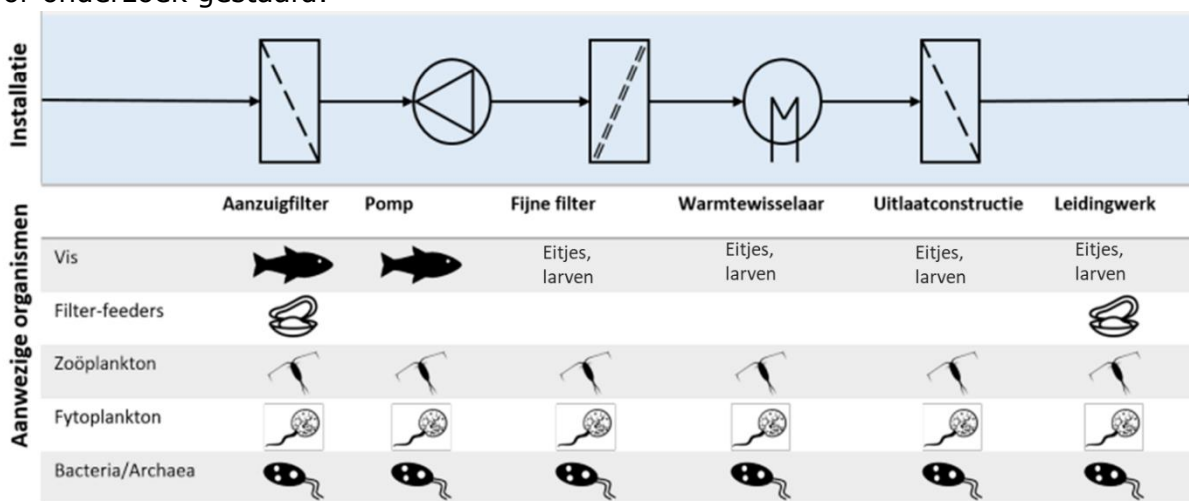
mechanisme van schade

De schade als gevolg van de passage door de TEO-installatie kan ontstaan door 1) plotselinge krachten op de organismen en 2) plotselinge temperatuurverandering. De verandering van druk en stroomsnelheid in de componenten van de installatie en botsingen tegen de componenten leiden tot krachten op de organismen. Hierdoor wordt een deel van de organismen beschadigd en/of, afhankelijk van maaswijdtes, tegengehouden door de filters. De range van maaswijdtes van gebruikelijke fijne filters varieert van 20-500 micrometer (typisch 50-100 micrometer) [10]. De

maaswijdte van warmtewisselaars is meestal groter in de orde van 1mm (1000 μ m). De reiniging van filters kan milieuvriendelijk worden uitgevoerd door gebruik te maken van thermische en mechanische reiniging. Daarnaast kan het terugvoeren van residu op de filters naar het watersysteem schade reduceren. Mechanisch reinigen van warmtewisselaars van gesloten systemen [11] is lastig en wordt daarom of thermisch (verhitten) of chemisch (chloor, peroxide) gedaan. Een plotse temperatuurdaling in de warmtewisselaar (orde 3-7 °C) kan ook leiden tot schade aan organismen. Naar verwachting is deze afkoeling minder snel lethaal dan een temperatuurverhoging in een koelwater-installatie omdat dan eerder een kritische maximum temperatuur bereikt wordt (zie figuur 9, kritische temperaturen al vanaf 25°C) terwijl een TEO installatie die in het zomerhalfjaar werkt geen kritische minimum temperatuur bereikt (zie figuur 9, kritische lage temperaturen pas onder 8°C).

beïnvloede soortgroepen uit het voedselweb

Afhankelijk van hun grootte, kunnen organismen voorkomen in de hydraulische componenten van een TEO-installatie (Figuur 9). Aanzuigkorven beschermen organismen groter dan 1,2-2,5mm tegen inzuiging. Consensus is dat met name fytoplankton (<2-200 micrometer) en zoöplankton (20-200 micrometer) het meest beïnvloed worden, maar ook mossel en vislarven ondervinden effecten. Bacteriën zijn zo klein dat ze waarschijnlijk ongeschonden filters passeren maar dat is niet door onderzoek gestaafd.



Figuur 9 Te verwachten organismen in verschillende componenten van een TEO-installatie [3]

Voor fytoplankton is de gerapporteerde sterfte in installaties voor koelwaterlozingen maximaal 80%. Het grotere deel van de populatie dat het fijne filter niet passeert blijft daarop achter en het schoonmaakproces bepaalt vervolgens óf en in welke

toestand ze terug worden gespoeld in het water. Over de sterftetekans van deze route is geen informatie beschikbaar. Sterfte moet voor een belangrijk deel door temperatuurschok (energiecentrales tot +10°C) worden veroorzaakt want in waterkracht installaties (die geen temperatuurverandering kennen) is sterfte (van fytoplankton) beduidend lager (8-43%, gemiddeld 20%). Voor TEO installaties bestaat de temperatuurschok uit een temperatuurdaling en dat is waarschijnlijk minder snel lethaal dan een temperatuurverhoging zoals hierboven betoogd. Op basis van bovenstaande is een sterftetekans voor fytoplankton in TEO-installaties tussen de 40% en 80% ingeschat.

Van het zoöplankton dat het fijne filter passeert sterft een belangrijk deel. Op basis van 9 studies varieert het sterftepercentage van 20% tot "beperkte overleving" (hier geïnterpreteerd als 80-90% sterfte). Vissen zijn te groot voor de TEO filters maar viseitjes en -larven worden wel ingezogen. Een deel van viseitjes en -larven passeert de aanzuigkorf maar overleeft vervolgens een gang door de koelinstallatie. Hierdoor lijkt het effect op vissen beperkt.

doorwerking op systeemniveau

Het effect van schade aan organismen door filters op het ecologisch functioneren is afhankelijk van de verhouding van het watervolume van het watersysteem en ingenomen debiet, en de karakteristieken van het watersysteem. Wanneer er ten opzichte van het watervolume van het watersysteem een groot debiet wordt ingenomen, dan wordt daarmee ook een groter deel van de in het watersysteem aanwezige organismen ingenomen dan wanneer het ingenomen debiet klein is ten opzichte van het watervolume van het waterlichaam. Logischerwijs is het percentage van organismen dat schade kan oplopen in het laatste geval lager en heeft daardoor minder effect op het ecosysteem functioneren. Het is onbekend, en hoogstwaarschijnlijk systeemafhankelijk, wat de ratio tussen het watervolume van het watersysteem en ingenomen kan zijn, zonder duidelijke effecten van de filters van een TEO-installatie waar te nemen.

Uit ref [5] blijkt dat een belangrijke stuurfactor voor de effecten van filters, de nutriëntenbelasting is. Een hoge nutriëntenbelasting leidt tot een fytoplanktongemeenschap die qua groei gelimiteerd wordt als gevolg van de inherente groeisnelheid en/of lichtbeschikbaarheid (door zelfbeschaduwning). Lage nutriëntenbelasting leidt tot een fytoplanktongemeenschap die qua groei gelimiteerd wordt door nutriëntenbeschikbaarheid. Wanneer de nutriëntenbelasting hoger is,

ondervindt een groter deel van de ecosysteemproductie effect van de filters ten opzichte van vegetatie, die niet direct door filters beïnvloed wordt, dan bij een lagere nutriëntenbelasting [4]. Daarnaast kunnen filters, bij lagere nutriëntenbelasting en een nutriënten gelimiteerde fytoplanktongemeenschap, de recycling van nutriënten verhogen, doordat de sterfte van fytoplankton toeneemt en daarmee nutriënten eerder vrij komen. Dit kan leiden tot hogere productiviteit. Op ecosysteemniveau kan door filtering van water de fytoplanktongsamenstelling veranderen en daarmee de voedselkwaliteit van vissen. Een daardoor veranderde visbiomassa kan weer gevolgen hebben voor de samenstelling van vissoorten en/of de populatiesamenstelling van vissen.

C. Ecologische impact stroming

Pompdebieten van TEO-installaties zijn relatief klein (orde m³/uur) en veroorzaken alleen stroming in het oppervlaktewater van het lozings naar het innamepunt. Het effect op stroming is daarmee in het algemeen klein en beperkt van omvang. De ecologische effecten van stroming zijn potentieel alleen relevant voor kleine of van nature niet stromende wateren. In essentie is het effect van stroming op ecologie gericht op snellere verdwijning van stratificatie, makkelijkere opname van zuurstof uit de lucht, en geeft een geringere bijdrage aan de bodem als zuurstofverbruiker. Dit alles leidt tot minder intens en minder frequent zuurstofloze condities bij de bodem. De effecten op de ecologie van stroming kunnen ook direct zijn: in het slootsysteem van Hoog Dalem [24] ontstaat door de TEO-installatie (150 m³/h) een geringe waterstroming (1-3 cm/s), maar dit heeft wel geleid tot een macrofauna-samenstelling met meer stroming minnende soorten [18].

NB stroming moet niet verward worden met verversing. Stroming als gevolg van een TEO is het rondpompen van hetzelfde (m.u.v. temperatuur) water en in essentie dus anders dan het inlaten van water (bv in grachten) ter verbetering van de waterkwaliteit.

Mogelijk nemen pompdebieten in de toekomst (bij gelijkblijvende koudevracht) af vanuit de wens om op pompkosten te besparen en de efficiëntie van warmte uitwisseling te vergroten (grotere dT). Dat geeft dan lagere stroomsnelheden en het aandeel water dat de installatie passeert neemt af. Dit heeft ook invloed op de koudepluim, die wordt kleiner en kouder en daardoor stabiel en blijft daardoor mogelijk langer aan de bodem waardoor temperatuureffecten veranderen, terwijl door een lager pompdebiet de invloed van de filters kleiner wordt.

D. Optelsom effecten

Er is heel beperkt praktijkkennis beschikbaar over hoe koudevrachten, stroming en filtering de ecologische situatie in een watersysteem beïnvloeden. Slechts op enkele locaties waar een TEO-installatie aanwezig is, is ook de (ecologische) situatie (meerjarig) gemonitord. Analyses van de data [18] tonen aan dat monitoring van de effecten van TEO-installaties goed doordacht moet zijn, doordat een watersysteem vaak beïnvloed wordt door meerdere stressoren. De langjarige fysisch-chemische monitoring in Hoog Dalem [24] laat bijvoorbeeld een duidelijke afkoeling zien ten opzichte van omliggende wateren, maar inzicht in de ecologische impact van de koudelozing ontbreekt vooralsnog [18].

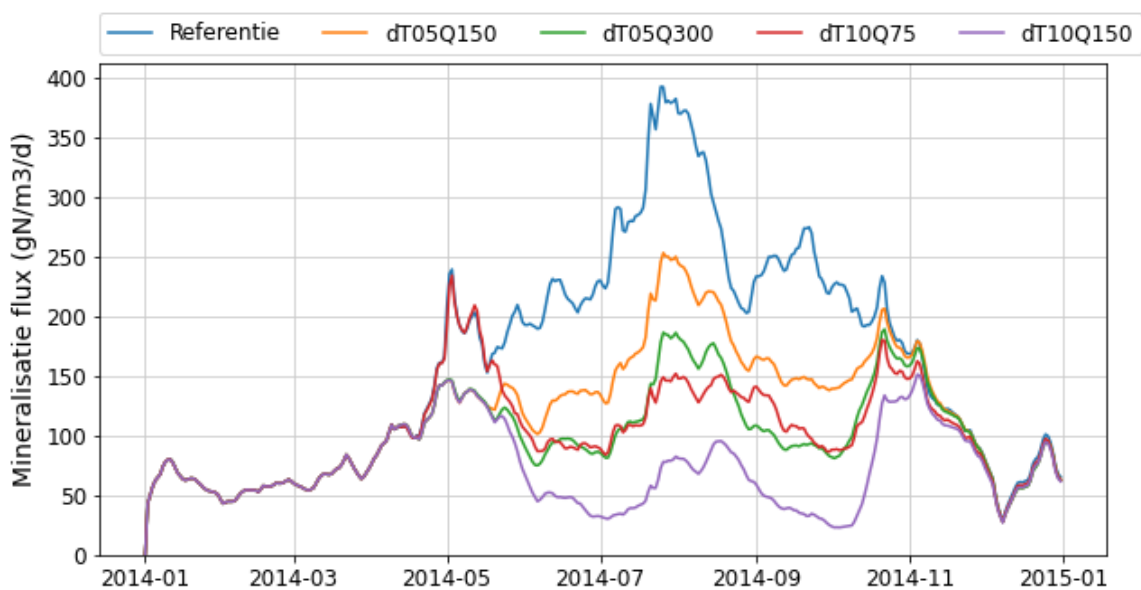
Ecologische modellering kan helpen om vooraf te bepalen welke ecologische effecten onder welke omstandigheden van belang zijn en kan daarmee richting geven aan welke (of) indicatoren belangrijk zijn om te monitoren. In [4] wordt beschreven op welke manier ecologische modellering kan worden opgezet. Hierbij wordt een koppeling gemaakt tussen hydrologische en ecologische modellen.

In een verkennende ecologische modelstudie naar de effecten van mogelijke sterfte (als gevolg van passage van een TEO-installatie) én temperatuurverlaging door TEO-installaties, uitgevoerd op een klein, ondiep geïsoleerd fictief watersysteem, is gevonden dat jaarlijkse klimatologische wisselingen (weerjaar) en nutriëntbelastingen belangrijk zijn voor de effecten van een TEO-installatie op het ecologische functioneren van een waterlichaam [3,4]. Het weerjaar is bepalend voor de instraling en de omgevingstemperatuur. Deze twee variabelen zijn sturend voor de competitie tussen vegetatie en fytoplankton en daarmee, kort door de bocht, voor de gevoeligheid van een waterlichaam om zich in een heldere, door waterplanten gedomineerde staat te bevinden of in een troebele, door fytoplankton gedomineerde staat. Doordat waterplanten bijdragen aan een helder watersysteem, verhoogt een vertraagde groei door een kouder voorjaar de kans om in een door fytoplankton gedomineerd, troebele staat terecht te komen. Een belangrijke factor bij deze kans is de mate van nutriëntbelasting: hogere nutriëntbelastingen verhogen de kans op de troebele staat.

Ook blijkt voor dit kleine ondiep geïsoleerde watersysteem dat bij lage nutriëntenbelasting de koudevracht sterk bepalend is voor het uiteindelijke effect van de TEO op de ecologie. Bij hogere nutriëntenbelastingen wordt het effect met name door filtering gestuurd. Belangrijk voor de inschatting van de ecologisch effecten is daarnaast de tijdschaal: het effect van een TEO-installatie kan de eerste

jaren groot zijn, maar kan af nemen over de tijd, of vice versa. Dit tijdsaspect is zeer waarschijnlijk systeem afhankelijk [04].

Naast de randvoorwaarden van een watersysteem (weerjaar en nutriëntenbelasting) is de totstandkoming van de koudevracht cruciaal voor eventuele effecten en het type effecten. Voor eenzelfde koudevracht kunnen een lager debiet en een grotere ΔT bijvoorbeeld bijdragen aan meer stratificatie terwijl een hoger debiet en een kleinere ΔT dit niet doen. Dit beïnvloedt de mate van stroming en de resulterende ΔT van het waterlichaam, wat weer invloed heeft op het ecologisch systeem, zie het voorbeeld in onderstaande figuur (10).



Figuur 10: De gesimuleerde mineralisatieflux in klein stilstaand water bij twee verschillende warmtevragen te weten 1.8MW ($dT10Q150^2$ en $dT05Q300$) en 0,9MW ($dT10Q75$ en $dT05Q150$). Blauw is de referentiesituatie zonder TEO installatie. Te zien is dat het effect op de mineralisatie het gecombineerde effect van koude én debiet (door effect op filtratie) is. Het kleinste effect heeft de kleinste warmteonttrekking met het laagste debiet ($dT05Q150$).

E. Mogelijkheden voor mitigatie

Mitigatie effect temperatuur:

- Gelaagdheid beïnvloeden door menging en vormgeving uitlaat
- Stroming beïnvloeden met ontwerp
- Variëren met temperatuur en lozingsdebiet
- Koudelozing aanpassen aan weersituatie
- Koudelozing aanpassen aan levensstadia organismen (figuur 11)

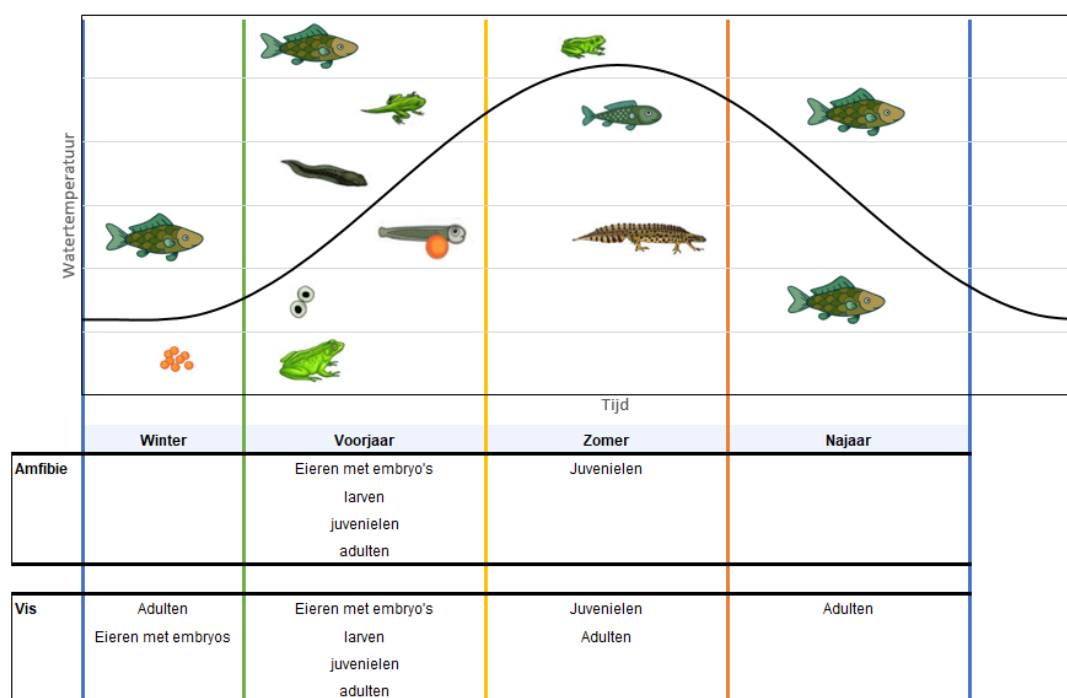
² dT is de temperatuurverlaging, hier 10°C en Q het debiet, hier $150\text{m}^3/\text{uur}$. Dit komt overeen met een warmteonttrekking van $10 \times 150 = 1500 \text{ m}^3 \cdot \text{graad}/\text{uur}$ (= 1.8 MW).

Mitigatie effect filtering

- Ander type filter en/of schoonmaakmechanisme
- Maaswijdtes
- Ander type warmtewisselaar

Mitigatie effect ecologie

- Stikstofverwijdering
- (totaal) Fosfaatverwijdering



Figuur 11 Schematische weergave van de verdeling van verschillende door watertemperatuur beïnvloede levensstadia van vissen en amfibieën over vier fenologisch relevante perioden: winter (rechts van blauw), voorjaar (rechts van groen), zomer (rechts van geel), najaar (rechts van oranje).

F. Ecologisch oordeel

Landelijke regelgeving en ecologische effectbeoordeling voor TEO-installaties ontbreekt, maar STOWA en Rijkswaterstaat hebben een beoordelingskader vergunningverlening opgesteld die als toetsingskader kan worden gebruikt [13]. Een landelijke richtlijn is in wording. Daarnaast zijn er waterbeheerders die eigen beleid rond TEO-installaties hebben opgesteld of hiermee bezig zijn.

6. Kosten en baten

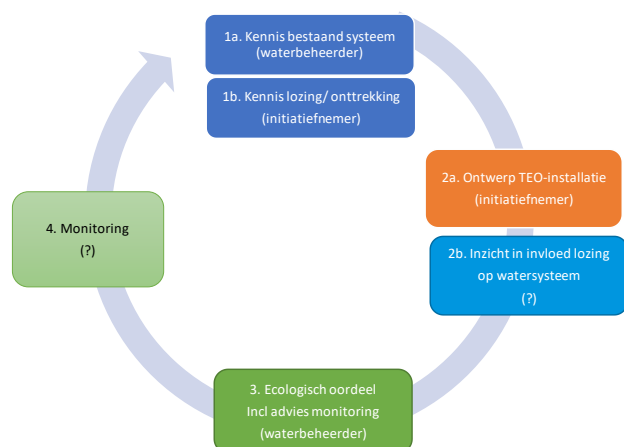
Aquathermie is een kansrijke en duurzame energiebron waarmee CO2 uitstoot kan worden beperkt. Met ref [19] kan een realistische inschatting gemaakt worden van de kosten per geleverde GJ-warmte.

Er zijn geen bronnen gevonden die de ecologische voor- of nadelen van TEO in kosten en baten uitdrukken.

De kosten van ecologische monitoring van de effecten van een TEO-installatie variëren van 10-100k afhankelijk van de omvang van het programma. Aan grotere installaties zullen waterbeheerders strengere eisen aan monitoring stellen ([6] [7] [8]).

7. Governance

De waterbeheerder is verantwoordelijk voor de waterkwaliteit van zijn watersysteem en de bevoegde instantie voor vergunningen voor TEO-installaties. De initiatiefnemer van een installatie moet derhalve met de waterbeheerder in gesprek. In figuur 12 is aangegeven hoe dit proces doorlopen kan worden. In de 1e stap wordt de waterbeheerder op de hoogte gebracht van het voornemen van een TEO-installatie. Met de kennis over het watersysteem kan de waterbeheerder de aandachtspunten en/ of randvoorwaarden voor de installatie meegeven. In de volgende stap werkt de initiatiefnemer het ontwerp uit en bepaalt (in overleg met de waterbeheerder) de verwachte gevolgen voor het watersysteem. Mede op basis hiervan vormt de waterbeheerder (in stap 3) een oordeel over de vergunbaarheid van de installatie. Daarbij worden mogelijk eisen aan monitoring gesteld. De gegevens van de monitoring dragen bij aan de kennis over het watersysteem en zo kan een volgende aanvraag in gang worden gezet. Meer over de governance van TEO-installatie in de handreiking aquathermie [12]. De waterbeheerder kan voor het ecologische oordeel gebruik maken van diverse documenten. Zie hiervoor ecologisch oordeel.



8. Praktijkervaring en lopend onderzoek

In Nederland zijn inmiddels circa 100 TEO-installaties in bedrijf. Een overzicht is te vinden op: Aquathermie projectenkaart | Netwerk Aquathermie. Op deze site is ook een beknopte beschrijving van de initiatieven te vinden. In hoeverre deze locaties ook temperatuurverandering en/ of ecologische verandering in beeld brengen is niet bekend. Wel zijn er enkele projecten bekend die een bijdrage leveren aan de opbouw van kennis over impact van TEO-installaties.

In Hoog Dalem is al vele jaren een TEO-installatie actief, waarbij effecten gemonitord worden. Momenteel wordt de opzet van de monitoring tegen het licht gehouden om ecologisch impact eenvoudiger te kunnen destilleren.

In 2023 heeft Waterschap Amstel Gooi en Vecht een proefinstallatie voor Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO) aan de Sloterplas [14] gerealiseerd. Om deze warmte te onttrekken wordt het water door filters en warmtewisselaars gepompt. De effecten daarvan op de waterkwaliteit en de ecologie worden onderzocht. De TEO-installatie bestaat uit drie parallel geplaatste onderzoeksstraten met daarin verschillende filters en warmtewisselaars. Eén straat heeft een standaard TEO-opstelling. De andere twee zijn varianten, zodat de impact is van andere installatiekeuzes te zien is. De installatie zal drie jaar draaien, waarbij zowel de warmteopbrengst als de effecten van de warmteonttrekking op de ecologie in beeld worden gebracht.

Bij twee bestaande TEO-installaties in het gebied van Hoogheemraadschap van Rijnland en het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier worden de effecten op de ecologie ook gemonitord. Hier betreft het andere watertypen. De onderzoeksresultaten van de verschillende projecten zullen gezamenlijk worden geanalyseerd en gerapporteerd [15].

9. Kennisleemtes

- Sterfte onder verschillende soort(groep)en door passage filters en warmtewisselaars bij verschillende maaswijdten filters, aanzuignelheden etc.
- Totale ecologische impact van directe en indirecte effecten van afkoeling, filtering en introductie stroming: hoe tel je de effecten op?.
- Oordeel over veranderingen in watersysteem
 - Welke verandering over welk gebied wordt als positief/negatief wordt bestempeld

- Hoe verhoudt deze ontwikkeling zich tot andere ontwikkelingen/stressoren?
- Wat zijn de cumulatieve effecten bij meerdere onttrekkingen / lozingen op één watersysteem?
- Hoe kan de waarde van (ecologische) monitoring worden vergroot?

10. Literatuur/ links

- [1] [Harezlak, V., Effecten van koudelozingen op het ecologisch functioneren van oppervlaktewatersystemen; literatuurstudie, WarmingUP, 2021](#)
- [2] [Harezlak, V. en Kelderman, S. Koudelozingen, vis en amfibieën; een literatuurstudie, Deltares, 2022](#)
- [3] [De Jong, A. en M. Dionisio, Pires, 2022. Effecten van filters en warmtewisselaars op het aquatische ecosysteem; Een literatuurstudie. STOWA 2022-38 ISBN 978.90.5773.995.8.](#)
- [4] [Van der Linden, A. en Harezlak, V., Ecologische modellering effecten koudelozingen door TEO-installaties, Deltares, 2023](#)
- [5] [Teurlincx, S., Modelling van de impact van TEO op ecologie, NIOO, 2023](#)
- [6] [Wortelboer, R. en Harezlak, V., Monitoringsplan ecologische effecten TEO, Deltares, 2020](#)
- [7] [Harezlak, V. e.a. ,Opzet landelijk monitoringsprogramma; ecologische effecten TEO, Deltares, 2021](#)
- [8] [Harezlak, V., Monitoringsplan Merwedekanaal; effecten van koudelozingen op waterkwaliteit en biologische elementen, Deltares, 2022](#)
- [9] https://www.warmingup.info/documenten/2022_ontwerphandreiking-aquathermie-teo.pdf
- [10] <https://www.warmingup.info/documenten/aquathermie-configuraties.pdf>
- [11] https://www.warmingup.info/documenten/2022_warmtewisselaars-voor-aquathermie---warmteoverdracht-en-benodigde-filtering.pdf
- [12] [Handreiking aquathermie Rebel Group, 2023](#)
- [13] [Kruitwagen, G. e.a., Kader vergunningverlening koudelozingen 1.0; handreiking voor beoordeling van TEO-systemen, STOWA 2021-30 ISBN 978.90.5773.946.0](#)
- [14] [Boderie, P. en Troost, T., Aquathermie als maatregel voor verbetering waterkwaliteit in de Sloterplas, Deltares, 2020](#)
- [15] [Onderzoek & Innovatie; Voortgangsrapportage 2022, Waternet, 2023](#)
- [16] [Boderie, P. en Groot-Wallast, I. de, Modelinstrumentarium voor de verspreiding van koudelozingen, WarmingUp, 2021](#)
- [17] [Groot-Wallast, I. de, Boderie en Vlijm, R. Modelleren van verspreiding van koude in oppervlaktewater door TEO-installaties; een aanbeveling, WarmingUP, 2022](#)
- [18] [Evaluatie monitoring TEO Hoogdalem, persoonlijke communicatie, 2023](#)
- [19] <https://www.warmingup.info/actueel/93/wat-kost-een-aquathermiesysteem>
- [20] [Van de Grinten, E., Van Herpen, F.C.J., Van Wijnen, H.J., Evers, C.H.M., Wuijts, S. en Verweij, W., 2007. Afleiding maximumtemperatuurnorm goede ecologische toestand \(GET\) voor Nederlandse grote rivieren. RIVM rapport 607800003/2007](#)
- [21] [Souchon, Y., & Tissot, L. \(2012\). Synthesis of thermal tolerances of the common freshwater fish species in large Western Europe rivers. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, \(405\), 03.](#)
- [22] [Kosten, S. 2011a. Een frisse blik op warmer water? STOWA -rapportnummer 2011-20.](#)
- [23] [Ruthsatz, K., Dausmann, K. H., Peck, M. A., & Glos, J. \(2022\). Thermal tolerance and acclimation capacity in the European common frog \(Rana temporaria\) change throughout ontogeny. Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology, 337\(5\), 477-490.](#)
- [24] [Boderie, P., Van Geest, G., 2017. Effecten koud water lozing slootsysteem Hoog Dalem – Onderzoeksverslag. Deltares rapport 1205909.](#)

11. Colofon

*Dit Deltafact is geschreven na afronding van het onderzoeksprogramma WarmingUP.
auteurs: Ida de Groot-Wallast, Valesca Harezlack en Pascal Boderie (Deltares)*



versie: 25 oktober 2023