



Ecologische impact TEO Merwedekanaalzone

Second opinion en advies

25 januari 2024

Kenmerk R001-1293497SBO-V02-sss-NL

Verantwoording

Titel	Ecologische impact TEO Merwedekanaalzone
Opdrachtgever	Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
Projectleider	Vivian van Leeuwen
Auteur(s)	Susanne Boon
Tweede lezer	Michiel Wilhelm
Kenmerk	R001-1293497SBO-V02-sss-NL
Aantal pagina's	28 (exclusief bijlagen)
Datum	25 januari 2024
Handtekening	Ontbreekt in verband met digitale verwerking. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

Colofon

TAUW bv
Handelskade 37
Postbus 133
7400 AC Deventer
T +31 57 06 99 91 1
E info.deventer@tauw.com

Inhoud

1	Inleiding	4
2	Second opinion.....	4
2.1	Algemene bevindingen.....	4
2.2	Effect koudelozing.....	5
2.3	Effect filtering op organismen.....	7
2.3.1	Praktijkonderzoek.....	7
2.3.2	Modelstudie.....	7
2.3.3	Invloedzone.....	11
2.3.4	Fytoplankton.....	13
2.3.5	Zoöplankton	14
2.3.6	Macrofauna	15
2.3.7	Vissen	15
2.4	Effect combinatie koudelozing en filtering.....	17
3	Conclusie en advies	18
4	Maatregelen.....	18
4.1	Mitigatiemaatregel.....	18
4.2	Compensatiemaatregel	19
4.2.1	Kwantificatie	19
4.2.2	Wijze van compensatie	20
4.2.3	Waar en hoeveel.....	24
	Literatuur.....	28
Bijlage 1	Samenvatting macrofaunaonderzoek Aquon	
Bijlage 2	Instroomsnelheid en invloedzone	

1 Inleiding

In de Merwedekanaalzone in Utrecht wordt een woonwijk ontwikkeld waarvoor een TEO-installatie is gewenst. Het vergunning traject voor deze installatie loopt al enige tijd bij Rijkswaterstaat en HDSR. Een belangrijk punt in de vergunningprocedure is het ecologisch effect van de TEO-installatie op de ecologische waterkwaliteit van het Merwedekanaal. Het oppervlaktewater wordt namelijk voor toepassing in de TEO-installatie gefilterd, waar mogelijk kleine organismen uit het water verwijderd worden. Ook wordt het oppervlaktewater kouder door de uitwisseling. Als er significante effecten worden verwacht, dan moeten op voorhand maatregelen gedefinieerd worden waarmee de effecten vereffend worden.

Witteveen+Bos heeft een onderzoek gedaan naar de mogelijke effecten van de TEO-installatie. Hun conclusie is, samengevat, dat deze effecten verwaarloosbaar klein zijn. Zij hebben geen gebruik gemaakt van het toetsingskader waterkwaliteit van RWS, maar geven aan dat zij op een vergelijkbare manier de beoordeling hebben gedaan.

HDSR heeft TAUW gevraagd een second opinion te doen op de ecologische effecten van de filtering voor de TEO-installatie in een worst case scenario en of deze significant zijn. De second opinion staat in dit rapport beschreven.

2 Second opinion

2.1 Algemene bevindingen

Witteveen+Bos geeft aan dat volgens de beleidsregel Toetsingskader waterkwaliteit van Rijkswaterstaat er *'op waterlichaamniveau geen sprake mag zijn van een verschuiving van een van de relevante stoffen of kwaliteitselementen naar een lagere toestandsklasse, of – in de laagste ecologische toestandsklasse – dat geen sprake mag zijn van een negatieve verandering van de score van de Ecologische Kwaliteits Ratio (EKR)' (zie 2.2 van het toetsingskader).*

Het klopt dat dit staat opgenomen in de beleidsregel, maar dit geldt voor het totale waterlichaam inclusief alle autonome en geplande ontwikkelingen. Rijkswaterstaat hanteert de regel dat elk negatief effect van een ontwikkeling vereffend moet worden.

Ook zegt Witteveen+Bos dat volgens de beleidsregel Toetsingskader *'een activiteit niet beoordeeld hoeft te worden als deze buiten ecologisch relevant areaal plaatsvindt.'*

Dit klopt niet. Alleen activiteiten die in kader 2 zijn opgenomen én buiten ecologisch areaal plaatsvinden hoeven niet verder beoordeeld te worden. Bij activiteiten binnen dit gebied *of met invloed op dit gebied* moet worden onderzocht of de activiteit ecologische effecten heeft. De effecten van de onttrekking hebben mogelijk invloed op ecologisch relevant areaal, dus moeten de effecten volgens het beoordelingskader verder beoordeeld worden.

In enkele tabellen (bijvoorbeeld tabel 3.1) staan verkeerde eenheden genoemd en zijn titels en benamingen niet volledig/onduidelijk. Bijvoorbeeld of het om het debiet van de pomp of van het Merwedekanaal gaat.

2.2 Effect koudelozing

In de beoordeling van Witteveen+Bos mist een goed beeld van de temperatuurverandering door de koudelozing in het Merwedekanaal. Figuur 3.4 geeft alleen de berekende watertemperatuur voor één scenario waarbij het water verticaal goed gemengd is. Hierbij is de volgende kanttekening gemaakt: *'De aanname is dat het water in deze periode gemengd wordt door wind- en stroomsnelheid. Op warme en windstille dagen zonder stroomsnelheid kan het waterlichaam wel slecht gemengd zijn, maar is anders goed gemengd.'* Terwijl Vlijm en Roosjen aangeven dat metingen laten zien dat in een stagnant kanaal met afmetingen zoals het Merwedekanaal vanaf maart tot oktober het merendeel van de tijd natuurlijke stratificatie kan optreden, met name tijdens warme en windstille dagen. De simulaties laten zien dat deze stratificatie invloed heeft op de verspreiding van de lozing.

Enkele conclusies die missen en wel nodig zijn voor de beoordeling van de koudelozing zijn:

- Verder van het lozingspunt af is de gemiddelde temperatuursverandering niet groter dan 4°C voor de gesimuleerde condities en bij een geoptimaliseerd ontwerp is de gemiddelde temperatuurverandering maximaal 1,5 °C. Iets gedetailleerder komt het er op neer dat over een lengte van circa 2 kilometer de gemiddelde temperatuursverandering tussen de 1 en 3 °C is en daarbuiten de temperatuur minder dan 1 °C verandert
- De temperatuurverandering bij het lozingspunt kan beperkt worden door deze zone beter te mengen
- De mengzone (temperatuurverschil meer dan 4 °C) beslaat niet meer dan 50 % van de dwarsdoorsnede van het Merwedekanaal
- Bij volledige verticaal gemengde temperatuur condities in een kanaal geeft een koudelozing een grotere temperatuursverandering bij de bodem ten opzichte van natuurlijk gestratificeerde condities

Volgens Witteveen+Bos (2023) is het effect van de koudepluim op vegetatie te verwaarlozen doordat deze vrijwel ontbreken in het projectgebied en is de sterfte van macrofauna door de temperatuurverlaging onwaarschijnlijk om een drietal redenen:

- Er is een geleidelijke overgang
- Macrofauna in bijna stilstaande wateren is aangepast op temperatuurschommelingen (De Jong & Dionisio, 2022)
- Deze omstandigheden komen grote delen van het jaar ook van nature voor

Ons expert judgement is dat de kans inderdaad onwaarschijnlijk is dat macrofauna direct zal sterven door een 'aantal graden' temperatuurverlaging, maar dat het mogelijk wel effect heeft op de activiteit van macrofauna en dus op langere termijn wel voor verzwakking kan zorgen.

Hetzelfde geldt voor de weinige vegetatie die er is. Met name aan het begin van het seizoen kan een aantal graden temperatuurverschil wel van invloed zijn op de ontwikkeling.

Dit wordt bekrachtigd door de klimaatdoelstellingen waarbij een temperatuurverschil van een paar graden al als schadelijk zijn geoordeeld en de vele studies naar de invloed van temperatuur op de ontwikkeling van macrofauna (Bonancia et al, 2021) en watervegetatie (Dar et al, 2014). Ook Turlincx (2023) bevestigt met zijn modelstudie dat verlaging van de temperatuur voor een shift in het ecosysteem kan zorgen. In de modelstudie gebeurde dat bij temperatuurveranderingen van meer dan 5 °C.

Daarnaast is het argument dat de koudepluim van slechts enkele graden Celsius binnen de jaarlijkse temperatuurfluctuatie valt. Er is inderdaad een jaarlijkse natuurlijke variatie van circa 4 °C, gebaseerd op Rijkswateren tussen 2015 en 2019 (STOWA, 2021 naar Harezlak, 2021). Om deze reden is 4 °C als criterium gebruikt in de handreiking en wordt de zone waar de temperatuursverandering meer dan 4 °C is, de mengzone genoemd. Deze mengzone moet zo klein mogelijk zijn.

In de oude versie van de handreiking voor beoordeling van aanvragen voor TEO-systemen van STOWA (2021) staat het advies om de lozingsperiode te beperken tot perioden waarin de watertemperatuur hoger is dan 10 °C. Hierbij is de volgende toelichting gegeven: 'Om te voorkomen dat de watertemperatuur verder afkoelt dan 10 °C, is de lozingsperiode beperkt tot de periode waarin de watertemperatuur hoger is dan 10 °C. Deze temperatuur komt overeen met de grondwatertemperatuur. In het voorjaar wordt deze temperatuur in veel oppervlaktewateren bereikt in de loop van april, waardoor deze samenvalt met het moment dat veel biologische activiteiten weer op gang komen. Door de grenswaarde van 10 °C te hanteren voor koudelozingen is de kans beperkt dat ecologische schade ontstaat doordat biologische ontwikkelingen in het voorjaar vertraagd worden. In de nieuwe handreiking (Witteveen+Bos, 2023c) is deze algemene vuistregel aangepast en geldt voor kanalen zonder stroming dat in het voorjaar, wanneer de temperatuur ongeveer tussen de 10 °C en 15 °C ligt, het temperatuurverschil van het lozingswater ten opzichte van de achtergrondtemperatuur maximaal 2 °C mag zijn, omdat negatieve effecten op opkomende waterplanten dan vermeden worden. Dit is gebaseerd op een expertoordeel.

Zoals hierboven al is benoemd daalt de watertemperatuur van het water in een zone van circa 2 kilometer tussen de 1 en 3 °C en daarbuiten minder dan 1 °C. Dit valt dus inderdaad binnen de jaarlijkse fluctuatie. Dit neemt niet weg dat in een koud voorjaar, er weldegelijk effect is van de verlaging van de watertemperatuur door de TEO op het op gang komen van de groei van vegetatie, de activiteit van macrofauna en daarmee de ontwikkeling van het ecosysteem.

Volgens de oude handreiking (STOWA, 2021) geldt voor grote kanalen, zoals het Merwedekanaal, dat de mengzone maximaal 500 meter lang mag zijn. Ook deze vuistregel is aangepast in de nieuwe versie van de handreiking: 'Als de koudepluim minder dan 0,5 % van het begroeibaar areaal raakt is het effect van de koudepluim verwaarloosbaar in vaarten en grote kanalen. Onder deze grens is het risico dat areaal met waterplanten afneemt en het waterlichaam vertroebelt door

vertraagde groei van waterplanten verwaarloosbaar. Dit criterium beschermt ook het leefgebied van bodemleven.'

Uit de simulaties van Vlijm en Roosjen (2023) blijkt dat ook dicht bij het lozingspunt de temperatuur vrijwel niet meer dan 4 °C daalt. Alleen bij lage debieten in combinatie met een slechte menging is de temperatuursverandering dicht bij het lozingspunt (enkele tientallen meters breed) meer dan 4 °C. Dit is het scenario waarbij het water via een pijp aan het oppervlak wordt geloosd, met een lozingsdebiet van 0,08 m³/s in combinatie met een deltaT van 12 °C. Enkele tientallen meters rond het lozingspunt daalt de temperatuur dan met 5,2 °C.

De koudepluim van de TEO-installatie in het Merwedekanaal voldoet dus aan de oude handreiking (STOWA, 2021), aangezien de koudepluim veel minder lang is dan 500 meter. Aangezien in het Merwedekanaal een begroeibaar areaal ontbreekt (het kanaal is vrijwel dieper dan 1 meter), voldoet het nog steeds aan het nieuwe criterium (Witteveen+Bos, 2023c).

2.3 Effect filtering op organismen

Zoals Witteveen+Bos al aangeeft zijn er geen representatieve gegevens bekend over sterfte van organismen door het passeren van een TEO-installatie, noch door botsen, schuren en blijven steken op de aanwezige filters noch door passeren van de temperatuurwisselaar wat samenhangt met drukverschillen en temperatuurwisselingen.

Wij hebben naar dezelfde bronnen gekeken en gezocht naar andere bronnen, maar er zijn tot op heden niet meer specifieke informatie en onderzoeksresultaten bekend. Wel zijn er op dit moment studies, proefopstellingen en monitoring gestart om de effecten van TEO-installaties te onderzoeken.

2.3.1 Praktijkonderzoek

Waterschap Rijnland, Waternet en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier onderzoeken samen de effecten van warmtewinning op het onderwaterleven in verschillende watertypen. De proeven zijn in september 2023 gestart en er zijn dus nog geen resultaten bekend. We hebben gesproken met Jasper Stroom van Waternet die betrokken is bij de TEO-proefopstelling en monitoring bij de Sloterplas. Zijn verwachting is dat het sterftepercentage zeer soortafhankelijk is. Dit baseert hij op een eerdere kleine proef waarbij bij de ene zoöplanktonsoort vrijwel geen sterfte optrad, terwijl bij een andere zoöplanktonsoort vrijwel alle individuen stierven. Het zal daarom lastig zijn om tot een eenduidig sterftepercentage te komen. Dit betekent wel dat de TEO-installatie waarschijnlijk voor een selectie zorgt en dus een verschuiving op soorten kan veroorzaken. Wat dit voor het totale ecosysteem betekent, is op dit moment niet te zeggen.

2.3.2 Modelstudie

Teurlincx (2023) heeft een modelstudie uitgevoerd naar de impact van TEO-installaties op de ecologie van een virtueel ondiep meer. Zijn bevindingen zijn zojuist gepubliceerd in een STOWA-rapport en komen terug in onderstaande paragrafen. Daarnaast hebben wij gesproken met Sven

Teurlincx over zijn bevindingen en zijn advies richting de update van de handreiking voor vergunningverlening van TEO-installaties. Deze geüpdatete handreiking zal binnenkort openbaar gepubliceerd worden. In de eerdere handreiking 1.0 (STOWA, 2021) staan al richtlijnen voor de maximale temperatuurverlaging, maar de effecten van filtering zijn hier nog niet in meegenomen. De nieuwe vuistregel die in de handreiking opgenomen zal worden zal gaan over het maximale debiet van een TEO-installatie en opzichte van het watervolume en verversing van het oppervlaktewater. Dit debiet hangt samen met de filtersnelheid, en dus de sterfte van organismen, en moet voldoende kleiner blijven dan de groeisnelheid van organismen en de hersteltijd van het ecosysteem.

Uit de modelstudie kwamen geen negatieve effecten naar voren van filters waarbij de onttrekking zo groot is dat in 25 dagen het hele volume van het water (meer, kanaal) het filter is gepasseerd. Dit komt overeen met een filterpercentage van 4 % per dag. De hersteltijd van het meer is dus korter dan 25 dagen en hangt samen met de gebruikte sterftepercentages en groeisnelheden van de organismen. Deze waarden en onzekerheden zijn verder toegelicht in onderstaande paragrafen. Omdat er dus onzekerheid bestaat over de gebruikte sterftepercentages, was het advies van Turlincx en zijn medeonderzoekers om in de handreiking veiligheidshalve een vier keer zo streng criterium op te nemen. Het advies voor het criterium was dus dat de TEO-installatie maximaal 1 % per dag mag onttrekken, op het moment dat er geen verversing is. Als er wel instroom is, dan moet het debiet van de TEO gecorrigeerd worden voor het instroomdebiet. De berekening is als volgt:

$$\frac{(Q_{TEO} - Q_{instroom})}{V} \times 100\% < \text{Criterium (1 \% per dag)}$$

Waarbij geldt:

- Q_{TEO} = Debiet van de TEO-installatie (m^3/dag)
- $Q_{instroom}$ = Verversingsdebiet van het oppervlaktewater (m^3/dag)
- V = Volume van het oppervlaktewater (m^3)
- Criterium = Percentage van niet ververst volume oppervlaktewater per dag (%/dag)

Hierbij gelden de volgende aannames:

- Eén TEO-installatie met een debiet waarbij in 25 dagen het volume van een geïsoleerde plas of kanaaldeel wordt onttrokken, heeft geen impact (gebaseerd op modelstudie)
- Eén TEO-installatie op een oppervlaktewater met continue verversing ook geen impact heeft, als die verversing hoger is dan het debiet van de TEO
- Bij meerdere TEO-installaties achter elkaar er geen herstel plaatsvindt tussen de TEO-installaties en het debiet van alle voorgaande installaties van het instroomdebiet afgetrokken moet worden om een cumulatief effect te berekenen

De situatie voor de TEO-installatie bij het Merwedekanaal is in tabel 2.2 weergegeven, voor verschillende debieten. Hierin is te zien dat in de periode van mei tot en met september het gemiddelde verversingsdebiet hoger is dan het debiet van de TEO-installatie en er dus geen

knelpunt is. Maar in maanden met weinig verversing of dagen zonder verversing, komt het filterpercentage in de buurt van de kritische waarde van 1 % filtering per dag. In periodes dat het Merwedekanaal vrijwel stilstaat en er enkel verversing ontstaat door lekverliezen (IV), is een effect op het ecosysteem niet uit te sluiten.

In de beoordeling van Witteveen+Bos (2023) is aangegeven dat in de afgelopen 5 jaar er 248 van de 690 (van mei tot en met september) dagen met minder dan $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ verversing was. Dit is dus ongeveer een derde van de periode dat de TEO-installatie aan staat. De maximale duur met minder dan $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ was 18 dagen achter elkaar. Hierbij geldt de kanttekening dat dit gebaseerd op metingen die onder de $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ minder nauwkeurig zijn.

Tabel 2.1 Duiding situaties met verschillende verversingsdebieten

Situatie	m ³ /s	Toelichting verversingsdebiet	Bron
I	0.42	Gemiddelde debiet van mei tot en met september 2016 – 2020.	Witteveen+Bos (2023)
II	0.11	Gemiddelde van juli 2019, wat de maand is met de laagste gemiddelde stroomsnelheid als alle metingen met een negatief debiet buiten de berekening worden gelaten.	Witteveen+Bos (2023)
III	0.1	Gemiddelde van augustus 2020, de maand met het laagste gemiddelde debiet in de afgelopen 5 jaar bij de aanname dat alle metingen met een negatief debiet eigenlijk een debiet van 0 m ³ /s hebben.	Witteveen+Bos (2023)
IV	0.05	Hypothetische worst case, waarbij de doorstroming 5 keer minder is dan het extreem van augustus 2020.	Witteveen+Bos (2023)
V	0.01	Hypothetische worst case, waarbij de doorstroming 10 keer minder is dan het extreem van augustus 2020.	Witteveen+Bos (2023)
VI	0.1	Standaard lekverliezen van de Muntsluis (0,05 m ³ /s) en de uitlaat Oog in Al (0,05 m ³ /s) = 0,1 m ³ /s	Metingen HDSR inclusief mondelinge toelichting (19 december 2023). Het huidige lekverlies van uitlaat Oog in al is 0,22 m ³ /s. Maar de verwachting is dat na renovatie (nog niet gepland) het lekverlies circa 0,05 m ³ /s zal zijn.

Tabel 2.2 Filterpercentages per dag bij verschillende verversingsdebieten en een debiet van de TEO van 0,156 m³/s

Situatie (zie Tabel 2.1)	Verversingsdebiet	Filterpercentage ¹	
	m ³ /s	%/dag	%/maand
I	0.42	Q _{TEO} < Q _{instroom}	
II	0.11	0.8	24.8%
III	0.1	1.0	30.1%
IV	0.05	1.9	57.0%
V	0.01	2.6	78.6%
VI	0.1	1.0	30.1%

¹Met een watervolume van 481.602 m³. Dit is herberekend op basis van een wateroppervlak van 192.641 m² gebaseerd op BRTtop10nl – Watervlak, Merwedekanaal tussen de Noordersluis en de Muntsluis, zonder de Vaartsche Rijn en een diepte van gemiddeld 2,5 meter (inschatting op basis van Vlijm en Roosjen, 2023)

De vuistregel van 1 % is niet letterlijk in de nieuwe handreiking opgenomen. In de handreiking (Witteveen+Bos, 2023c) wordt een criterium voor het filterpercentage gebruikt van maximaal 10 % van het waterlichaamvolume per maand (NB: In de ontvangen (concept) versie staat geen tijdseenheid aangegeven. Dat het om 10 % per maand gaat is een aanname) voor stilstaande

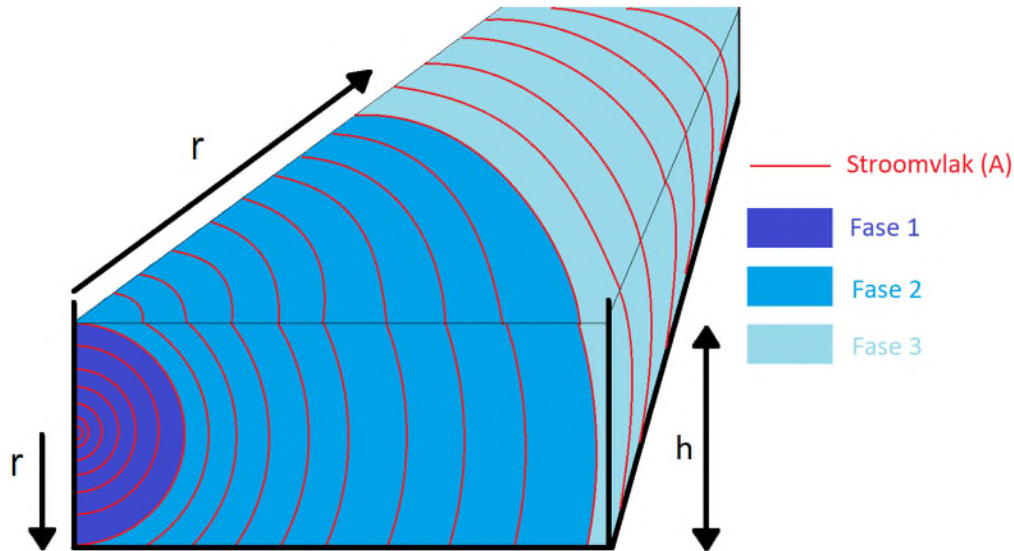
kanalen en maximaal 10 % van de maatgevende afvoer van kanalen met stroming. Om deze reden is ook het filterpercentage per maand weergegeven in tabel 2.2.

Dit criterium is circa drie keer strenger dan het criterium van 1 % per dag en geldt voor het totale waterlichaam (NB: Wat wordt bedoeld met totale waterlichaam is niet gespecificeerd). Maar omdat de tijdseenheid groter is, staat dit criterium wel meer variatie toe dan het criterium van 1 % per dag. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat het verversingsdebiet gedurende meerdere weken 0 m³/s is en in de andere helft van de maand een flinke verversing plaatsvindt. Gemiddeld kan het filterpercentage onder de 10 % per maand komen. Onze inschatting is dat dit alsnog een risico vormt voor het ecosysteem, aangezien de regeneratietijd van zoöplankton enkele weken is. Het worst case scenario waarbij 18 dagen achterelkaar de verversing *minder* dan 0,1 m³/s is, zal in die periode *meer* dan 18 % van het volume gefilterd zijn. Effecten op zoöplanktonsoorten met een hoog sterftepercentage bij dit filterpercentage, zijn niet uit te sluiten (zie paragraaf 2.3.4).

Er geldt wel een belangrijke kanttekening. De berekende filterpercentages zijn zeer afhankelijk van het gebruikte volume. Op het moment dat de Vaartsche Rijn wel mee wordt gerekend en/of de gemiddelde diepte circa een halve meter dieper wordt gerekend, dan ligt het filterpercentage ook met een lager debiet onder de 1 % per dag. De berekende filterpercentages geven dus de worst-case weer.

2.3.3 Invloedzone

Het innamepunt van de TEO-installatie zorgt met een debiet van 0,156 m³/s voor een instroomsnelheid van 0,3 meter per seconde. Deze stroomsnelheid neemt af naarmate de afstand van het innamepunt toeneemt. Om een inschatting te geven van hoe snel dit gebeurt en tot welke afstand de stroomsnelheid minder wordt dan de stroomsnelheid van het Merwedekanaal zelf, is uit gegaan van een innamepunt in de oever van het kanaal halverwege de waterkolom (figuur 2.1).

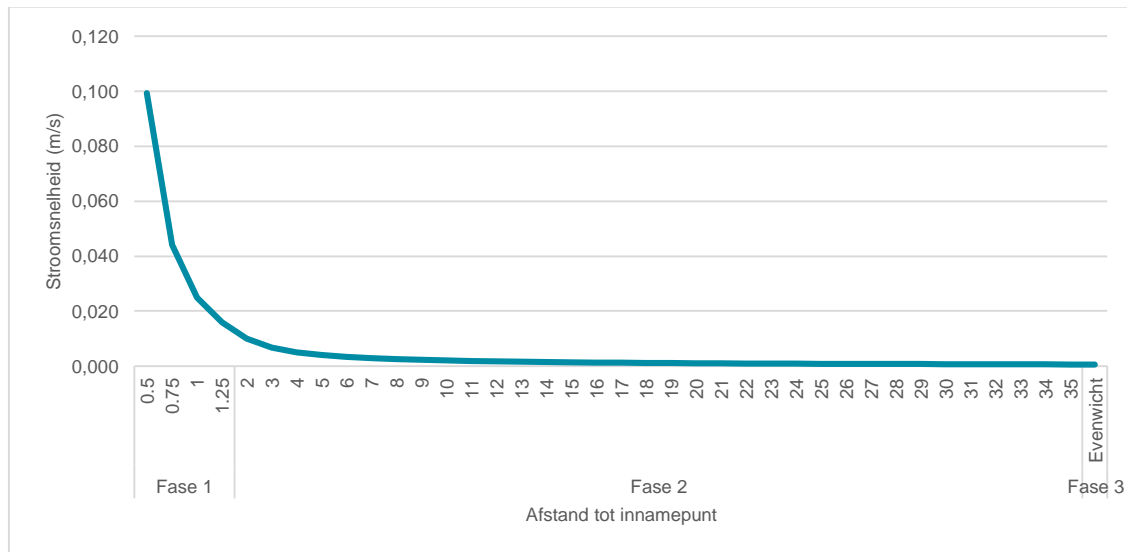


Figuur 2-1 Schematische dwarsdoorsnede uitgangspunt invloedzone

De stroomsnelheid (v) is berekend aan de hand van de oppervlakte van een halve bol, het stroomvlak (A). Het inname-debiet (Q , $0,156 \text{ m}^3/\text{s}$), gedeeld door het stroomvlak (A), geeft de stroomsnelheid op een specifieke afstand vanaf het innamepunt (r). Samengevat: $v = Q/A$. De berekening van het stroomvlak (A) is opgedeeld in drie fasen, zoals gevisualiseerd is in Figuur 2.1:

1. **Fase 1: $0 < r < 1,25 \text{ m}$.** Gegeven een totale diepte van het kanaal van 2,5 meter, neemt het stroomvlak van de halve bol toe tot $r=1,25$ meter (halve waterkolom). De formule voor het oppervlak van een hele bol is: $A = 4\pi r^2$, dus voor een halve bol is de volgende formule gebruikt: $A = 2\pi r^2$. Op 1,25 meter vanaf het instroompunt 'stoot' de halve bol tegen de bodem en het wateroppervlak
2. **Fase 2: $1,25 < r < 35 \text{ m}$.** Vervolgens is de toename van het oppervlak benaderd met de volgende aanname: het stroomvlak neemt tot de overzijde van het Merwedekanaal ($r=35 \text{ m}$) toe volgens het oppervlak van een cilindermantel, met de formule $A = \pi r \times h$, waarbij h de hoogte van de waterkolom is (2,5 m)
3. **Fase 3: $r > 35 \text{ m}$.** Vanaf dan neemt het oppervlak van het stroomvlak niet meer toe, omdat zowel de breedte en de diepte van het kanaal min of meer constant blijven. De stroomsnelheid als gevolg van de inname blijft daarmee ook constant ($0,00057 \text{ m/s}$)

In figuur 2.2 is het verloop van de stroomsnelheid weergegeven.



Figuur 2-2 Stroomsnelheid in relatie tot de afstand tot het innamepunt van de TEO-installatie

2.3.4 Fytoplankton

De beoordeling van Witteveen+Bos (2023) gaat uit van 20 % sterfte van fytoplankton na inzuiging in de TEO-installatie. Ook de modelstudie van Teurlincx (2023) maakt gebruik van een sterfte van 21 % van fytoplankton. Beiden baseren dit op de literatuurstudie van De Jong & Dionisio (2022).

De Jong en Dionisio (2022) halen op hun beurt een studie aan van Lie et al (2018) aan. Lie et al (2018) bestudeerden de effecten van doorlating van fytoplankton bij verschillende diversion-type waterkrachtcentrales in China. In het artikel is geen informatie gedeeld over debiet, stroomsnelheid en gebruikte filters. Diversion-type waterkrachtcentrales liggen in een omleiding van een rivier waarbij het natuurlijke verval van de rivierbedding wordt benut om energie op te wekken. Deze waterkrachtcentrales maken geen gebruik van temperatuurverhoging en chemische toevoegingen. Zij vonden een afname in biomassa tussen de 8 – 43 % (gemiddeld 21 %) van het fytoplankton na het doorlopen van een installatie op basis van chlorofyl-a, celmorfologie en fysiologische en biochemische parameters. Dit is volgens de onderzoekers waarschijnlijk het resultaat van drukverval, trek- en schuifkrachten en verhoging van de waterstroom in de installatie.

Het is dus lastig om te concluderen dat 20 % sterfte van fytoplankton een realistische inschatting is, maar op dit moment wel de enige en beste inschatting die er is. (De kanttekening van Witteveen+Bos (2023) dat 20 % een hoge inschatting is, is niet terecht. De kanttekening dat de waarde gebaseerd is op koelinstallaties die gebruik maken van chlorering en hogere temperaturen, waardoor de omstandigheden dodelijker zijn dan in Nederlandse TEO-installaties, geldt voor de studies over de sterfte van zoöplankton en niet die van fytoplankton. Ook Teurlincx (2023) maakt gebruik van een sterftepercentage van 21 % voor fytoplankton, gebaseerd op De Jong & Dionisio (2022).

Het laagste verversingsdebiet was in augustus 2020 met 0,1 m³/s. In deze maand werd 30,1 % van het water in de Merwedekanaalzone gefilterd en dus 1% per dag (zie Tabel 2.2). Met een sterfte van 21 % fytoplankton in het gefiltreerde water, sterft per dag in een maand zonder doorstroming (0,1 m³/s), 0,21% van de fytoplankton in het projectgebied. Het is afhankelijk van de temperatuur en de hoeveelheid licht hoe snel de fytoplankton herstelt (Heyman and Lundgren, 1988), maar gemiddeld gezien is de maximale groeisnelheid van groenalg 0,93 per dag en van blauwalg 0,65 per dag (Lurling et al, 2013). De groeisnelheid van groenalg is dus ruim 450 keer sneller dan de vermeende sterfte. Zelfs als het sterftepercentage hoger ligt, bijvoorbeeld bij 80 % fytoplankton in het gefilterde water, dan is nog steeds de groeisnelheid 120 keer hoger dan de sterfte. Het effect op fytoplankton is dus zeer beperkt.

2.3.5 Zoöplankton

Zoöplankton is de verzameling van zwevende of drijvende heterotrofe organismen en komen vaak voor in de plantenrijke zones van het oppervlaktewater (De Jong en Diomiso, 2022). De grootte van zoöplankton varieert sterk met een gemiddelde lengte van minder dan 0,2 millimeter en groter dan 3 millimeter (tabel 2.2). Een groot deel van het zoöplankton gaat dus door het groffilter (2,5 millimeter) en micro-zoöplankton zal ook door de mazen van het fijnfilter (0,2 millimeter) heen kunnen.

Tabel 2.3 Praktische indeling van zoöplankton in grootteklassen (bron: Handboek Hydrobiologie, STOWA)

GROOTTEKLASSE	GROOTTE (MM)	TAXONOMISCHE GROEPEN	VOORBEELDEN
Micro-zoöplankton	< 0,2	Protozoa kleine Rotatoria naupliuslarven van Copepoda	<i>Arcella</i> , <i>Difflugia</i> , <i>Tintinnidium</i> <i>Colurella</i> , <i>Pompholyx</i>
Meso-zoöplankton	0,2 - 3,0	grote Rotatoria Cladocera volwassen Copepoda en copepodieten	<i>Asplanchna</i> , <i>Brachionus</i> <i>Bosmina</i> , <i>Daphnia</i> <i>Acanthocyclops</i> , <i>Cyclops</i> , <i>Diaptoma</i> , <i>Eurytemora</i> ,
Macro-zoöplankton	> 3,0	Mysidae (aasgarnalen e.a.) Grote (roof)cladoceren Larven van Diptera	<i>Hemimysis</i> , <i>Neomysis</i> <i>Leptodora</i> , <i>Bythotrephes</i> <i>Chaoborus</i>

Zoals Witteveen+Bos (2023) al aangeven, bestaat er voor zoöplankton geen aparte maatlat in het beoordelingskader van de KRW. Maar zoöplankton is wel belangrijk in de voedselketen en vaak medebepalend voor de helderheid van het systeem. Ook stellen De Jong en Dionisio (2022) dat volgens de literatuur, installaties de grootste schade aanbrengen aan zoöplankton, naast fytoplankton. Uit de eDNA-studie van Witteveen+Bos (2023b) in het Merwedekanaal komt naar voren dat het relatieve aandeel van zoöplankton in mei het hoogst is.

Wat het sterftepercentage is van zoöplankton door passeren van filters en installaties, komt niet direct naar voren in de literatuurstudie van De Jong en Dionisio (2022). De genoemde studies komen uit op brede ranges van sterftepercentages (Evans et al 1986 (3 %); Melton and Serviss, 2000 (13 – 32 %)) of noemen geen concreet sterftepercentage, maar geven aan dat het sterftepercentage hoog is (Heinle, 1969; Gentile et al, 1976; Kartasheva et al, 2008; Davies and Jensen, 1974). De meerderheid van de studies geeft aan dat er sterfte plaatsvindt. Hierbij geldt de kanttekening dat de genoemde onderzoeken voornamelijk zijn verricht in installaties die gebruik maken van chlorering en het voornamelijk om koelwaterinstallaties gaat, wat vergelijking met een TEO-installatie moeilijk maakt. Teurlincx (2023) gebruikt in zijn modelstudie een sterftepercentage van 15 %. Dit valt binnen de concreet genoemde ranges van de hierboven genoemde studies, maar lijkt ons, ondanks de kanttekening, toch aan de lage kant. De meest recente handreiking (Witteveen+Bos, 2023c) houdt een sterftepercentage van 30 % aan.

De groeisnelheid van zoöplankton is afhankelijk van de soort en veel verschillende factoren, zoals de watertemperatuur en voedselbeschikbaarheid. Onder optimale condities ligt de maximale groeiratio over het algemeen tussen de 0,3 (30 %) en 0,5 (50 %) per dag (Gerber, 2018). Bij een sterftepercentage van 30 % (Witteveen+Bos, 2023c) door het filter en een filterpercentage van circa 1 % per dag, sterft circa 0,3 %. De groeisnelheid is dan circa 100 keer hoger dan de sterfte. Dit effect lijkt dus beperkt te zijn. Voor soorten waarvan na filtering 100 % sterft, is de groeisnelheid maar drie keer sneller dan het sterftepercentage. De groei is nog steeds hoger dan de sterfte door filtering, maar dat effect is niet te negeren. In de worst-case situatie met weinig doorstroming is er dus een effect op specifieke zoöplanktonsoorten die filtering niet overleven.

2.3.6 Macrofauna

De Jong en Dionisio (2022) geven aan dat er geen relevante informatie beschikbaar is over de effecten van filtering voor macrofauna. In bijlage 1 is een samenvatting gegeven van de macrofaunamonitoring in het Merwedekanaal. Witteveen+Bos (2023) beschrijft het effect van de TEO-installatie op basis van de zwemsnelheden van de verschillende macrofaunagroepen ten opzichte van de aanzuigsnelheid bij het groffilter ($< 0,3$ m/s).

Ons expert oordeel is dat de genoemde zwemsnelheden wel ongeveer kloppen, en dat macrofauna in de buurt van het aanzuigfilter, naar binnen worden gezogen en mogelijk schade ondervinden of sterven. De meeste macrofauna beweegt zich niet graag door een open waterkolom zonder planten of andere structuren. In een kanaal zit het gros van de beesten tegen de damwanden of leeft in de bodem en wordt minder snel aangezogen. Verder blijft het niet mogelijk om in te schatten hoe groot het effect op macrofauna is en of de regeneratie voldoende is voor de gewenste soorten. Vooralsnog gaan we uit van een beperkte invloed op de macrofauna.

2.3.7 Vissen

De conclusie van Witteveen+Bos (2023) is dat het effect op vis verwaarloosbaar zou zijn omdat de meeste vissen weg zouden kunnen zwemmen. Dit is naar ons idee wat kort door de bocht, of in ieder geval niet zichtbaar onderbouwd. Onze conclusie is overigens overeenkomstig.

In tabel 2.3 zijn de eigenschappen van zoetwatervissen en de verschillende levenstadia (ei, larve, postlarve en volwassen vis) weergegeven in combinatie met de eigenschappen van de TEO-installatie. Hierin is te zien dat vrijwel alleen eitjes en larven door het groffilter heen passen, maar deze blijven hangen op het fijnfilter. Eitjes zweven over het algemeen niet rond en zullen niet snel aangezogen worden. Daarnaast is de TEO-installatie alleen actief vanaf mei en is de verwachting dat er op dat moment de meeste eitjes zijn uitgekomen, dus het effect op eitjes is waarschijnlijk te verwaarlozen.

Voor vislarven die niet actief kunnen zwemmen geldt hetzelfde filterpercentage als voor zoöplankton, ook hiervoor is het sterftepercentage niet bekend. Met de worst-case dat 100% van de gefilterde larven sterft, sterft met een filterpercentage van 1%, 1% van de vislarven in het gebied. Dit effect is niet te verwaarlozen.

Wat betreft de aanzuigsnelheid ten opzichte van de kritische zwemsnelheid van juveniele en volwassen vis is te zien dat een groot deel van de range overlapt met de aanzuigsnelheid. Dit geldt ook voor larven. Ook De Jong en Dionisio (2022) halen studies aan die er op wijzen dat het aannemelijk is dat een deel van de vissen niet opgewassen is tegen de aanzuigsnelheid van 0,3 m/s en tegen het filter aan gezogen zal worden. Het zal met name gaan om juveniele vissen en kleine soorten. Ook de studie van Teurlincx (2023) geeft aan dat planktivore vis (predator van zoöplankton) mogelijk schade ondervindt door passage van de TEO-installatie en dit effect niet verwaarloosbaar is bij hogere debieten. De regeneratie van kleine planktivore vis is niet toereikend om de populatie op niveau te houden.

De aanzuigsnelheid van 0,3 m/s geldt maar voor een beperkte zone rond het aanzuigfilter (zie paragraaf 2.3.3). Op circa 0,5 meter afstand van het aanzuigfilter is de stroomsnelheid al gedaald tot 0,1 m/s en op 1,5 meter afstand tot 0,01 m/s. Met de zwemsnelheden van baars (tabel 2.5), kan deze soort tot maximaal een halve meter vanaf het aanzuigfilter niet wegzwemmen bij een watertemperatuur van 10 °C. De invloedzone voor vis is dus zeer beperkt.

De soorten die voornamelijk voorkomen in het Merwedekanaal voorkomen zijn aal (5 %) en brasem (22 %). De overige soorten (karper, snoek, winde, kleine modderkruiper, bittervoorn) komen in zeer lage hoeveelheden (0-1 %) voor.

Tabel 2.4 Eigenschappen van zoetwatervissen in verschillende stadia ten opzichte van de eigenschappen van de TEO-installatie inclusief filters

Stadia van zoetwatervissen	Grootte (mm) (De Jong en Dionisio, 2022)	Kritische zwemsnelheid (m/s) (Bruijs, 2007)	Groffilter 2,5 mm	0,3 m/s	Fijnfilter 0,2 mm	<0,5 m/s
Eieren	0,5 – 3,5	0	Gaan grotendeels door filter	Substraat buiten bereik aanzuiging	Blijven hangen	
Larven	2 - 12	~ 0	Klein deel gaat door filter		Blijven hangen	
Postlarven	5 - 70		Blijven hangen		n.v.t.	n.v.t.
Vissen	> 5	0,15 – 0,84 m/s				

Tabel 2.5 Maximum aanstroomsnelheden (CSS) waarbij een aantal zoetwatervissen kunnen ontsnappen bij verschillende watertemperaturen (Beamish, 1978)

vissoort	lengte (cm)	CSS (cm/s)	watertemperatuur (°C)
snoek (<i>Esox lucius</i>)	12 – 62	19 – 47	12
baars (<i>Perca flavescens</i>)	9.5	16 – 21	10
	9.5	25 – 33	20
snoekbaars (<i>Stizostedion vitreum vitreum</i>)	8 – 38	38 – 84	19

2.4 Effect combinatie koudelozing en filtering

Teurlincx (2023) onderzocht in zijn modelstudie ook de gecombineerde effecten van temperatuurdaling en van filtering. Alleen bij zeer hoge debieten (> 150 m³/uur) en een groot temperatuurverschil (10 °C) treedt een gecombineerd effect op. Hij zag in zijn studie dat bij een lage nutriëntenbelasting de temperatuur sterk bepalend is voor het uiteindelijke effect van de TEO op de ecologie. Bij hogere nutriëntenbelastingen is het effect van enkel de passage van de TEO-installatie bepalend.

De nutriëntbelasting op het Merwedekanaal is niet bekend. De nutriëntconcentraties zijn in de KRW-factsheet als goed beoordeeld, maar als we de gemeten concentratie van 0,3 mg/l totaal-fosfor langs de KRW-maatlat van M7 leggen, dan is dit ontoereikend. Het is aannemelijk dat de nutriëntbelasting op het Merwedekanaal hoog is en dat de filtering van de TEO-installatie bepalend is, ten opzichte van het effect van de temperatuurdaling.

3 Conclusie en advies

Witteveen+Bos heeft de mogelijke effecten van de TEO-installatie in het Merwedekanaal beoordeeld. In onderliggend rapport zijn de effecten van de TEO-installatie op het ecosysteem opnieuw beoordeeld. De algemene conclusie is dat de beoordeling van Witteveen+Bos uitgebreid is, maar op een aantal punten niet voldoende onderbouwd is.

Het effect van de temperatuurdaling is zeer beperkt. De watertemperatuur daalt in een zone van circa 2 kilometer tussen de 1 en 3 °C en daarbuiten minder dan 1 °C. Dit valt binnen de jaarlijkse fluctuatie. De mengzone waarin de temperatuur meer dan 4 °C daalt, is beperkt. De mengzone beslaat minder dan de helft van de kanaalbreedte en is enkele tientallen meters lang. Dit neemt niet weg dat in een koud voorjaar, er weldegelijk effect kan zijn van de verlaging van de watertemperatuur door de TEO-installatie op het op gang komen van de groei van vegetatie, de activiteit van macrofauna en daarmee de ontwikkeling van het ecosysteem in het projectgebied.

Maar uit een modelstudie blijkt dat in een systeem met een hoge belasting de filtering van een TEO-installatie bepalend is voor het ecosysteem, en niet de temperatuurdaling. Effecten op zoöplankton, vislarven, planktivore en juveniele vis zijn niet uit te sluiten. Het directe effect op vis is wel zeer beperkt tot een zone van enkele meters rond het aanzuigfilter. Het effect op zoöplankton en vislarven geldt met name tijdens perioden dat er geen tot weinig (<0,1 m³/s) doorstroming is. In deze situatie filtert de TEO-installatie namelijk meer dan 1 % van het watervolume per dag. Omdat de sterftepercentages door filtering van een TEO-installatie nog niet bekend zijn, is dit als veilig criterium genomen, waarbij fyto- en zoöplankton voldoende kan herstellen. Door de lekverliezen (zie scenario VI in paragraaf 2.3.2) komt het in de praktijk niet voor dat de verversing minder dan 0,1 m³/s is en meer dan 1% van het watervolume per dag wordt gefilterd.

Volgens het toetsingskader zullen deze effecten gemitigeerd of gecompenseerd moeten worden. Ons advies is om beide type maatregelen te nemen. In hoofdstuk 4 is een aantal suggesties gedaan voor maatregelen.

4 Maatregelen

4.1 Mitigatiemaatregel

Mitigatiemaatregelen zorgen er voor dat het effect verkleind wordt. Een mitigatiemaatregel is om er voor te zorgen dat er voldoende verversing blijft in het Merwedekanaal. Het advies is om een middenweg van beide criteria voor de filterpercentages aan te houden. Een filterpercentage van minder dan 10 % van het watervolume per maand geeft een risico voor weken waarin er weinig verversing is en het filterpercentage omhoog gaat. Een filterpercentage van minder dan 1 % per dag is streng en laat niet toe dat er af en toe wat minder verversing plaatsvindt.

Gezien de regeneratietijd van zoöplankton van enkele weken is ons advies om er voor te zorgen dat het verversingsdebiet niet langer dan 1 week aansluitend onder de 0,1 m³/s komt.

Twee soorten maatregelen kunnen in deze situatie toegepast worden:

- Het verversingsdebiet van het Merwedekanaal verhogen
- TEO-installatie uitschakelen of het debiet verlagen

Een voorstel voor het eerste type maatregel is om het verversingsdebiet te verhogen in perioden van droogte, door 1,5 uur per dag 1 kubieke meter per seconde extra het gebied in te laten. Dit komt neer op 0,063 kubieke meter per seconde gemiddeld over een dag. Met enkel dit debiet zal het filterpercentage 1,7 % per dag zijn en 50 % per maand. Dit verversingsdebiet op zichzelf is niet voldoende om onder het criterium van 1 % per dag of 10 % per maand te komen.

Als dit debiet van 0,063 m³/s bovenop het lekverlies van 0,1 m³/s komt, dan is het totaaldebiet 0,163 m³/s. Hiermee ligt het verversingsdebiet boven het debiet van de TEO-installatie (0,153 m³/s) en is er geen knelpunt.

4.2 Compensatiemaatregel

Een compensatiemaatregel is het creëren van geschikt habitat. Door de ontwikkeling van waterplanten te stimuleren, ontstaat er ook meer habitat voor zoöplankton, de gewenste macrofauna en vissoorten. Meer natuurvriendelijke oevers of een bufferzone van drijvend groen, creëren schuilmogelijkheden en voedselvoorziening. Dit zorgt er voor dat het watersysteem robuuster wordt: zoöplankton, macrofauna en vis zullen makkelijker herstellen, waardoor het effect van de TEO-installatie gecompenseerd wordt.

4.2.1 Kwantificatie

Als stelregel passen we toe dat de invloedzone van het innamepunt van de TEO-installatie één-op-één gecompenseerd wordt. De invloedzone is op verschillende manieren te bepalen. Hier gaan we uit van zwem- en stroomsnelheden.

De zwemsnelheid van zoöplankton varieert per soort en de aanwezige condities. De zwemsnelheid van *Daphnia* varieert bijvoorbeeld tussen de 4,39 en 17,99 mm/s (Dodson et al, 1997). Van eencellige amoebae (protozoa) is de zwemsnelheid 0,5 tot 4,5 µm/s (Schmidt, n.d.). In de praktijk komt dat er op neer dat micro-zoöplankton met de stroom wordt meegevoerd. Met de aanname dat (een deel van) de zoöplankton met de stroom wordt meegevoerd, is de invloedzone van de TEO op de zoöplankton de zone waar de stroming van de TEO, hoger is dan de aanwezige stroomsnelheid van het Merwedekanaal. Bij het laagste gemiddelde debiet (situatie III; 0,1 m³/s) is de stroomsnelheid van het Merwedekanaal minder dan 3 millimeter per seconde (0,0029 m/s). De afstand waarop deze stroomsnelheid nog aanwezig is van het innamepunt, is rond de 7 meter. Hiermee beslaat de invloedzone van de TEO-installatie op zoöplankton in de worst case een oppervlak van circa 75 m² rond het innamepunt (zie bijlage 2, tabel B2.2). Het doel is dus om 75 m² aan geschikt habitat te creëren.

Op het moment dat ter mitigatie extra doorstroming wordt gerealiseerd tijdens droge perioden boven op het lekverlies, dan in het verversingsdebiet 0,163 m³/s. Dit komt overeen met een stroomsnelheid van 4,6 mm/s.

De afstand tot waar de TEO-installatie deze stroomsnelheid veroorzaakt is 4,3 meter. Daarmee is de invloedzone in deze situatie circa 30 m vierkante meter (zie bijlage 2, tabel B2.2).

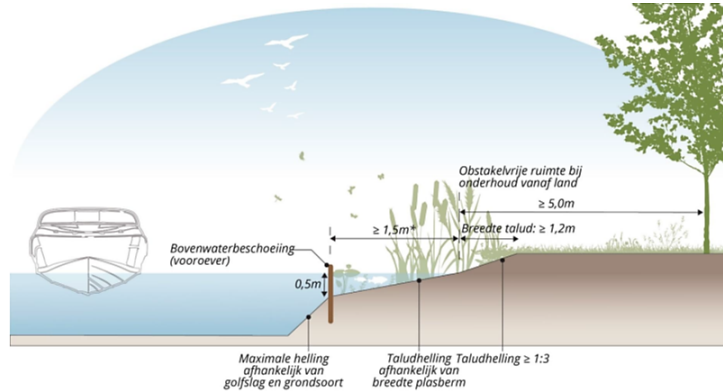
4.2.2 Wijze van compensatie

Zoöplankton, organisme bestaande uit protozoa en kleine diertjes, leeft voornamelijk zwevend in de waterkolom. Afhankelijk van de soort zijn ze in staat zich actief te verplaatsen en meer of minder afhankelijk van de heersende stroming om zich te verplaatsen. Naast organismen die zich tijdens het hele leven in het plankton bevinden, zijn van veel organismen alleen de larvale stadia in het zoöplankton aanwezig. Tijdens de overgang naar het volwassen dier verschuilen de larven zich in holtes tussen waterplanten en/of het sediment, zoals bijvoorbeeld het geval is bij weekdieren, stekelhuidigen, hogere kreeftachtigen en vissen. Wanneer er wordt gezocht naar maatregelen die een positief effect uitoefenen op de leefgemeenschap van zoöplankton (zowel op abundantie als diversiteit), kan dit voornamelijk bewerkstelligd worden middels de volgende bouwstenen:

- Natuurvriendelijke oevers met de varianten:
 - Plasberm
 - Onderwaterbanket
- Verrijken van de leefomgeving/habitat met:
 - Visbossen
 - Dood hout
 - Schanskorven
 - Ecobeton

Natuurvriendelijke oevers

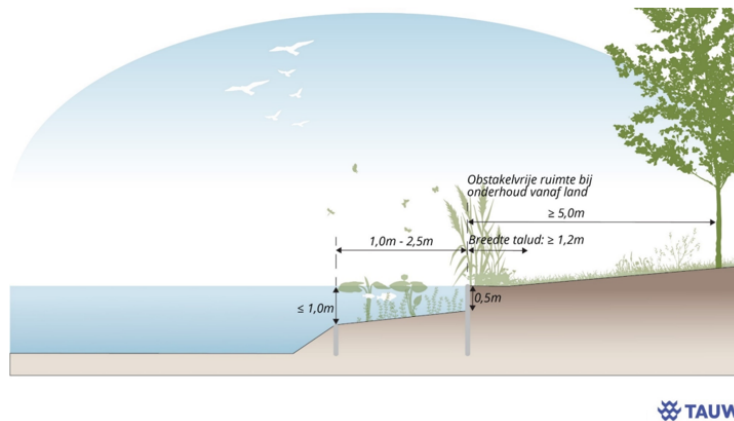
Zoöplankton is voor een groot deel afhankelijk van fytoplankton als voedselbron. Wanneer er meer fytoplankton beschikbaar komt, zal zoöplankton hier direct van profiteren. Fytoplankton is voor de groei afhankelijk van licht en voedingsstoffen zoals stikstof, fosfor en kiezelzuur. Bouwstenen die (lokaal) leiden tot een beter lichtklimaat (heldere waterkolom) hebben dus een positief effect op zowel fyto- als zoöplankton. De meest efficiënte maatregel hiervoor zijn natuurvriendelijke oevers (NVO's), met name NVO's die begroeibaar areaal bieden voor emerse en ondergedoken waterplanten in de amfibische- en aquatische zone van de oever zijn effectief. Bij kanalen met vaarbewegingen, waarvan de oevers in de beschoeiing staan, wordt er vaak gekozen voor een plasberm (zie figuur 4.1) variërend met een onderwaterbanket (zie figuur 4.2). Een vooroeververdediging in de vorm van een damwand is nodig om voldoende luwe omstandigheden voor de NVO te realiseren. Dit geldt voor zowel de plasberm als voor het onderwaterbanket. Openingen in de damwand zijn nodig voor waterverversing en migratie van organismen.



*Maximaal 2,0m indien varend onderhoud vanaf waterzijde
 Maximaal 6,0m indien rijdend onderhoud vanaf landzijde



Figuur 4-1 Dwarsdoorsnede van een plasberm als natuurvriendelijke oever (Bron: TAUW)



Figuur 4-2 Dwarsdoorsnede van een onderwaterbanket als natuurvriendelijke oever (Bron: TAUW)

Verrijken van de leefomgeving/habitat

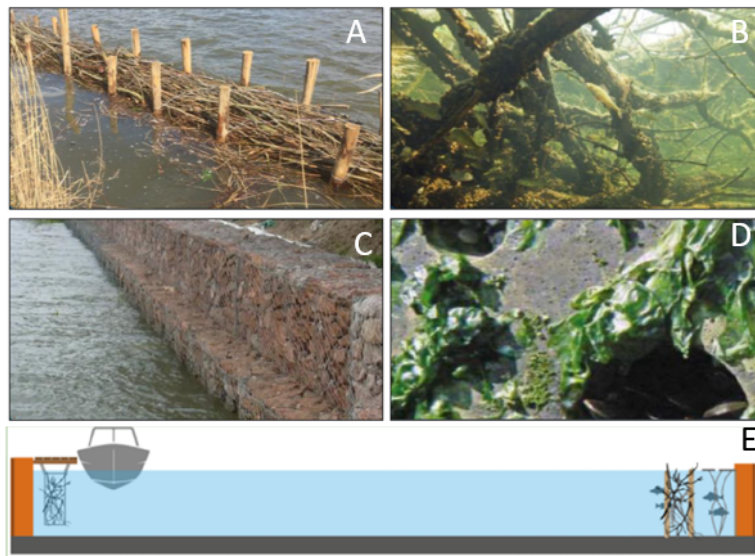
Het Merwedekanaal is grotendeels een 'lege bak', een leefomgeving die niet optimaal is voor waterdieren, waaronder ook zoöplankton en macrofauna. Er is een aantal bouwstenen die effectief zijn in het verrijken van de leefomgeving voor zoöplankton in dit type kanaal. De mate van effectiviteit hangt voornamelijk af van drie factoren: substraat (oppervlakte om aan te hechten en op te leven), structuur (holtes, gleufjes, wortels en stengels) en diversiteit (variatie in materiaal, morfologie en dieptes). Bouwstenen die hier specifiek op inspelen en vaak gemakkelijker te realiseren zijn dan natuurvriendelijke oevers, zijn **visbossen** (figuur 4.3 A, meestal geplaatst tussen paaltjes), **dood hout** (figuur 4.3 B), **schanskorven** (figuur 4.3 C, vaak met verschillende vullingen van gesteente en/of hout) en **ecobeton** (figuur 4.3 D, specifiek vormgegeven met gleuven en gaten). Vaak worden bouwstenen ook in combinatie ingezet, zie figuur 4.3 E. Belangrijk is ook om het effect van golven mee te nemen bij de bouwstenen. Bij natuurvriendelijke

oevers is al aangegeven dat een vooroever noodzakelijk is als deze langs het Merwedekanaal worden aangebracht.

Een vissenbos op enkele meters uit de oever functioneert zelf als een soort vooroever en biedt aan de landzijde een luwe plek voor zoöplankton. Hetzelfde geldt voor schanskorven die op enkele meters buiten de oever worden geplaatst. Dood hout en ecobeton vragen enige luwte om hun functie voor zoöplankton te vervullen.

In Tabel 4.1 staan richtlijnen van de minimale afmeting (breedte en lengte) van bouwstenen die worden aangeraden bij de inzet in kanalen. Daarnaast wordt er een indicatie van de aanlegkosten weergegeven. De richtlijnen voor de afmetingen zijn door middel van expert judgement vastgesteld en gebaseerd op een combinatie van factoren:

1. Minimale oppervlakte om ecologisch te kunnen functioneren (met name NVO's)
2. Minimale oppervlakte om het effect op het systeem meetbaar te kunnen maken (A t/m D)
3. Minimale constructiematen (met name breedte C & D)
4. Kosten (kleiner = duurder)
5. Beheer (met name NVO's), kleine postzegels beheren blijkt in de praktijk lastig



Figuur 4-3 Bouwstenen om de leefomgeving in de waterkolom van kanalen te verrijken: visbossen (A), dood hout (B), schanskorven (C), ecobeton (D) en in combinatie (E) (Bron: TAUW)

Tabel 4.1 Richtlijnen voor de minimale afmetingen (breedte en lengte) en de aanlegkosten van een bouwsteen en in kanalen. r (Bron: TAUW)

	Bouwsteen	Minimale breedte (m)	Minimale lengte (m)	Aanlegkosten per strekkende meter *
	NVO-plasberm	2,7 (plasberm: 1,5 + breedte naastgelegen talud: 1,2)	25	150, incl. bovenwaterbeschoeiing. Berekend met resultaatsverplichting van 1000 meter. <small>(Bron: Programma van eisen NVO's – Gemeente Amsterdam, 2023, TAUW)</small>
	NVO-onderwaterbanket	1,5 (in combinatie met beschoeiing)	25	320, incl. verdediging en bovenwaterbeschoeiing. Berekend met resultaatsverplichting van 1000 meter. <small>(Bron: Programma van eisen NVO's -Gemeente Amsterdam, 2023, TAUW)</small>
A	Visbossen (van de oever af geplaatst, gespannen tussen paaltjes)	2 (afstand uit oever: 1,0 + breedte visbos: 1,0)	25	350, incl. paaltjes. <small>(Bron: Feitenvellen van bouwstenen voor onderwaternatuur in de grachten en singels in de stad Utrecht, 2022, TAUW)</small>
B	Dood hout (losse takken of dode boom)	1,5 (Afhankelijk van type hout en boom)	25	150. Berekend met dode boom van 3 meter, verankerd aan de bodem. <small>(Bron: Feitenvellen van bouwstenen voor onderwaternatuur in de grachten en singels in de stad Utrecht, 2022, TAUW)</small>
C	Schanskorven (incl. bevestiging)	0,5	25	350. Berekend met vulling van stenen en met resultaatsverplichting van 10 meter. <small>(Bron: Feitenvellen van bouwstenen voor onderwaternatuur in de grachten en singels in de stad Utrecht, 2022, TAUW)</small>
D	Ecobeton (incl. bevestiging)	0,06 (plaat met ruw oppervlak) 0,3 (plaat met holtes en gleuven)	25	225. Berekend op plaat met ruw oppervlak met resultaatsverplichting van 1 meter. <small>(Bron: Feitenvellen van bouwstenen voor onderwaternatuur in de grachten en singels in de stad Utrecht, 2022, TAUW)</small>

* Let op: De kosten zijn niet de kosten die een aannemer in rekening brengt. Dan moet er nog circa 25 % bovenop voor: eenmalige kosten (5 %), uitvoeringskosten (6 %), algemene kosten (9 %) en winst & risico (5 %). Om een slag om de arm te houden is het verstandig om ook nog een risicoreservering voor het werk op te nemen van 10 % (gerekend over de som van de bouwkosten opgehoogd met de aannemerspercentages)

4.2.3 Waar en hoeveel

Als richtlijn wordt aangeraden de invloedzone van het innamepunt van de TEO-installatie één-op-één te compenseren. Dit betekent dat de vereffening in omvang minimaal 75 vierkante meter moet zijn met één of meerder bouwstenen beschreven tabel 4.1. Omdat er op het Merwedekanaal veel functies samenvallen (watersporten, woonboten, recreatievaart en scheepsvaart, KRW), kunnen bouwstenen niet zomaar op iedere plek worden aangelegd. Door efficiënt gebruik te maken van de indeling worden functies niet belemmerd en kunnen bouwstenen zelfs versterkend werken. Aangezien de TEO-installatie een fractie van de zoöplanktongemeenschap weg filtert, is het logisch om de leefomgeving in het Merwedekanaal buiten de directe invloedzone van het innamepunt van de TEO te verrijken. Op het moment dat binnen de invloedzone de leefomgeving wordt verrijkt, neemt de hoeveelheid zoöplankton, macrofauna en vissenlarven toe, waarmee ook de kans bestaat dat in absolute zin méér organismen sterven.

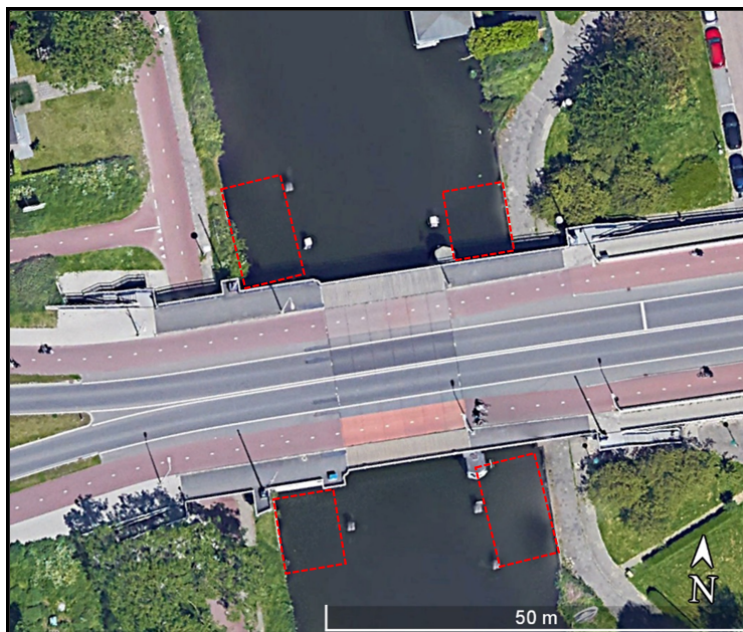
Door in de buurt van het uitlaatpunt van de TEO de leefomgeving te verrijken, krijgen de organismen die de TEO-installatie overleefd hebben de kans om te herstellen. Maar ook in de overige zones is het waardevol om de leefomgeving te verrijken, zodat de totale leefgemeenschap in het Merwedekanaal ondersteund en bevordert wordt.

Vanuit een overzichtsperspectief komt een aantal geschikte locaties naar boven waar bouwstenen kunnen worden toegepast zie figuur 4.4. Hierbij was ruimte in de buurt van het uitlaatpunt een belangrijke factor. Voor het goed functioneren van natuurvriendelijke oevers gelden daarnaast dat deze bij voorkeur op de zonoever wordt aangelegd, er weinig bladnval is en weinig golfslag. Ook is voor onderhoud de bereikbaarheid een factor waar rekening mee gehouden dient te worden. Daarnaast is het niet gewenst als bouwstenen in conflict komen met overige functies van het Merwedekanaal, zoals bootvaart en roeien.

Voor vissenbossen, ecobeton en schanskorven liggen er mogelijk kansen op de plekken voor en achter de bruggen die over het Merwedekanaal zijn gelegen. Op deze plaatsen staan vaak palen om de vaarwegzone te begrenzen, zie Figuur 4-5. De zones achter deze palen zijn vaak minder bereikbaar voor (roei)boten.



Figuur 4-4. Locaties en aftakkingen van het Merwedekanaal die in eerste opzicht geschikt lijken om bouwstenen toe te passen om de leefomgeving voor zoöplankton en macrofauna te verrijken



Figuur 4-5 Kansrijke zones achter de palen als begrenzing van de vaarwegzone voor en achter de Balijebrug in het Merwedekanaal

Mogelijk ligt er nog een koppelkans met het stedenbouwkundigplan voor de Merwedekanaalzone (figuur 4.5): “Halverwege Merwede vormt een diagonaal kanaal de drager voor het water. Het water en de brede ecologische zones aan de oevers worden op een slimme manier met het grotere geheel verbonden en vormen zo een schakel tussen het Merwedekanaal en de vijvers in Park Transwijk. Langs het diagonale kanaal worden de oevers ingericht als een ecologische verbindingzone. De noordzijde krijgt een brede groene oever. De zuidzijde krijgt een steile oever en een breder dwaalspoor. De ecologische zone (inclusief het water) heeft een totale breedte van circa 20 meter, zodat hier meerdere leefgebieden naast elkaar passen.”

Deze diagonaal richt zich in het stedenbouwkundigplan vooral op groenstructuren en de overgang tussen nat en droog. Door de natte zone optimaal in te richten voor de ontwikkeling van waterplanten, is een deel van de compensatie mogelijk in te passen in het diagonaal.



Legenda

- Stadslanen
- Merwedepark
- Park Transwijk
- Oost-westverbindingen
- Diagonaal (ecologische verbinding)

Figuur 4-6 Groenstructuren – uit stedenbouwkundigplan Merwedekanaalzone

Literatuur

- Acevedo-Trejos, E., Brandt, G., Bruggeman, J., en Merico, A. (2015). Mechanisms shaping size structure and functional diversity of phytoplankton communities in the ocean. *Scientific Reports*, 5:8918.
- Beamish, F.W.H., 1978. Swimming capacity. In: W.S. Hoar & D.J. Randall (eds.), *Fish Physiology*, Vol. VII, Locomotion:101-187. Academic Press, New York.
- Blue Energy). NIOZ Report 2020-04. NIOZ Royal Netherlands Institute for Sea Research: Texel. 56 pp. <https://doi.org/10.25850/nioz/7b.b.2>.
- Bonacina, L., Fasano, F., Mezzanotte, V., & Fornaroli, R. (2023). Effects of water temperature on freshwater macroinvertebrates: a systematic review. *Biological Reviews*, 98(1), 191-221.
- Bruijns ,M.C.M., 2007. Bureaustudie naar technische en operationele maatregelen bij koelwaterinlaten om de effecten van visinzuiging te reduceren. KEMA Technical & Operational Services, Rijkswaterstaat.
- Dar, N. A., Pandit, A. K., & Ganai, B. A. (2014). Factors affecting the distribution patterns of aquatic macrophytes. *Limnological Review*, 14(2), 75-81.
- Davies, R.M., and Jensen L.D (1974) Effects of entrainment of zooplankton at three mid-atlantic power plants. Electric Power research institute; Cooling water discharge research project (RP-49). Report no 10.
- Dodson, S. I., Ryan, S., Tollrian, R., & Lampert, W. (1997). Individual swimming behavior of *Daphnia*: effects of food, light and container size in four clones. *Journal of Plankton Research*, 19(10), 1537-1552.
- Evans, M. S., Warren, G. J., & Page, D. I. (1986). The effects of power plant passage on zooplankton mortalities: Eight years of study at the Donald C. Cook nuclear plant. *Water Research*, 20(6), 725–734. doi:10.1016/0043- 1354(86)90096-5.
- Gentile, J. H., Cardin, J., Johnson, M. & Sosnowski, S. (1976). Power plants, chlorine and estuaries.- U.S. Environmental Protection Agency, Ecological Research, Washington, D.C., Rept. No. 600/3-76-055, 28 pp.
- Gerber, N., Kokko, H., Ebert, D., & Booksmythe, I. (2018). *Daphnia* invest in sexual reproduction when its relative costs are reduced. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1871), 20172176.
- Heinle, D. R. (1969). Temperature and zooplankton. *Ches. Sci.* 10, 186-209.
- Helpdesk water, 2023. Handleiding ecologisch herstel ondiepe meren – Chlorofyl-a. Geraadpleegd op 26 oktober 2023. <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/water-ruimte/ecologie/meren/handleiding/verwijzingen-vanuit/chlorofyl/>.
- Helpdesk Water, 2023. Onderzoek naar effect aquathermie op onderwaterleven. Gepubliceerd 27 september 2023. [Onderzoek naar effect aquathermie op onderwaterleven - Helpdesk water](#).
- Heyman, U., Lundgren, A. (1988). Phytoplankton Biomass and Production in Relation to Phosphorus. In: Persson, G., Jansson, M. (eds) *Phosphorus in Freshwater Ecosystems. Developments in Hydrobiology*, vol 48. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-3109-1_13.

- Jager, Z., en van Walraven, L. (2020). Review of the possible interactions between Blue Energy and aquatic organisms. Deliverables 1.2 & 1.3 of project OOB (Onderzoek Omgevingseffecten).
- Jong, Anniek de, Dionisio, Pires, Miguel, 2022. Effecten van filters en waterwisselaars op het aquatische ecosysteem. Deltares, STOWA-rapport 2022 – 38.
- Kartasheva, N. V., Fomin, D. V., Popov, A. V., Kuchkina, M. A., & Minin, D. V. (2008). Impact assessment of nuclear and thermal power plants on zooplankton in cooling ponds. *Moscow University Biological Sciences Bulletin*, 63(3), 118–122.
doi:10.3103/s009639250803005x.
- Lei, C. H., & Armitage, K. B. (1980). Growth, development and body size of field and laboratory populations of *Daphnia ambigua*. *Oikos*, 31-48.
- Lüring, M., Eshetu, F., Faassen, E. J., Kosten, S., & Huszar, V. L. (2013). Comparison of cyanobacterial and green algal growth rates at different temperatures. *Freshwater Biology*, 58(3), 552-559.
- Metlon, B.R., and Serviss, G.M. (2000). Florida Power Corporation–Anclote Power Plant Entrainment Survival of Zooplankton. *Environmental Science & Policy*, 3 (1):233-248, [https://doi.org/10.1016/S1462-9011\(00\)00062-9](https://doi.org/10.1016/S1462-9011(00)00062-9).
- Portielje, R., & Van der Molen, D. T. (1998). *Relaties tussen eutrofiëringsvariabelen en systeemkenmerken van de Nederlandse meren en plassen: deelrapport II voor de Vierde Eutrofiëringsenquête*. RIZA.
- Schmidt, M. C. S. Locomotion pattern and pace of free-living amoebae—a microscopic study. STOWA (2021). 'Kader voor vergunningverlening koudelozingen 1.0 – handreiking voor beoordeling van aanvragen voor TEO-systemen. STOWA-rapport 2021-30.
- STOWA (2014). Handboek Hydrobiologie. 16-09-2010, herzien in januari 2019.
- Teurlincx (2023). Modelleren van de impact van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) op ecologie – Verkenning van de effecten van een TEO-installatie in een virtuele case van een ondiep meer. STOWA 2023 – 29.
- Witteveen+Bos (2023). Ecologische advisering TEO Merwedekanaal. Referentie: 137614/23-014.201, 4 september 2023.
- Witteveen+Bos (2023b). eDNA voedselwebanalyse 2022 – Factsheet Merwedekanaal. Referentie: 130528_23-015.427, 29 september 2023.
- Witteveen+Bos (2023c). Handreiking voor beoordeling van ecologische effecten van TEO-systemen. 136187/23-016.409, 17 oktober 2023.
- Xie, P., Iwakuma, T., & Fujii, K. (2000). Effect of available food and temperature on the growth and reproduction of *Daphnia rosea*. *Journal of Freshwater Ecology*, 15(3), 379-388.

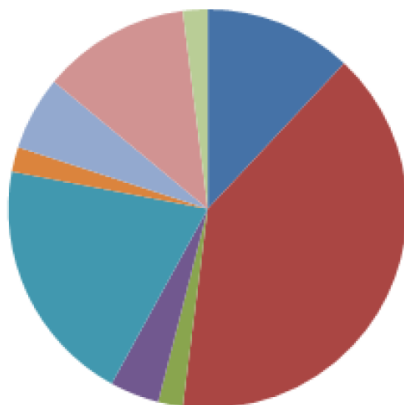
Bijlage 1 **Samenvatting macrofaunaonderzoek Aquon**

Aquon heeft onderzoek gedaan naar de macrofauna in het Merwedekanaal in 2022. Op locatie 07 (KRW-meetpunt Nelson Mandelabrug) beslaan kreeftachtigen een derde van het monster, dansmuggen een ruime kwart en borstelwormen nog eens een kwart van het monster. Er ontbreken geen groepen, maar op de mijten na zijn de overige groepen schaars.

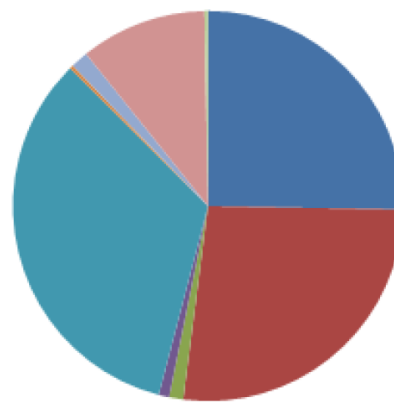
- Kreeftachtigen
- Dansmuggen
- Borstelwormen
- Spinnen en mijten

Meer naar het zuiden komen naast deze groepen meer tweekleppigen voor.

NL14_07_07, totaal aantal soorten
n=40



NL14_07_07, totaal aantal individuen
n=344



- Borstelwormen
- Kevers en wantsen
- Slakken
- Dansmuggen en andere tweevleugeligen
- Kreeftachtigen
- Spinnen en mijten
- Haften, libellen en kokerjuffers
- Overig
- Tweekleppigen

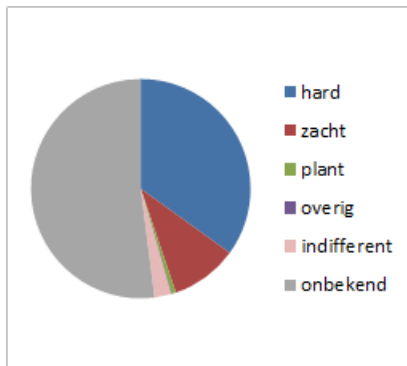
Figuur B1.0-1 Taartdiagrammen van monsterlocatie 7 (KRW-meetpunten Nelson Mandelabrug) Verdeling van het aantal soorten (links) en het aantal individuen (rechts) over de verschillende macrofaunagroepen

TABEL 39. ONTWIKKELING SOORTENAANTAL (GEMIDDELD PER LOCATIE) IN DIT WATERLICHAAM OVER 10 JAAR

Code	Waterlichaam	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Gemiddelde
NL14_07	Merwedekanaal	50			13			53			37	38

Het expertoordeel over het gehele waterlichaam luidt 'ontoereikend' (andere maatlaten dan de KRW-maatlat). Het aantal gevonden soorten is te laag (slecht). Het aantal individuen is matig. De groepenverdeling is uit balans en er ontbreken groepen. De verhouding positief/negatief is matig. Er zijn 27 stroomminnende soorten gevonden die samen meer dan een derde van de individuen beslaan. Van de stroomminnende soorten zijn er 17 positief voor watertype M7b. Het aandeel exoten is bijna 70 %. De kunstmatige traditionele inrichting van dit waterlichaam is zichtbaar

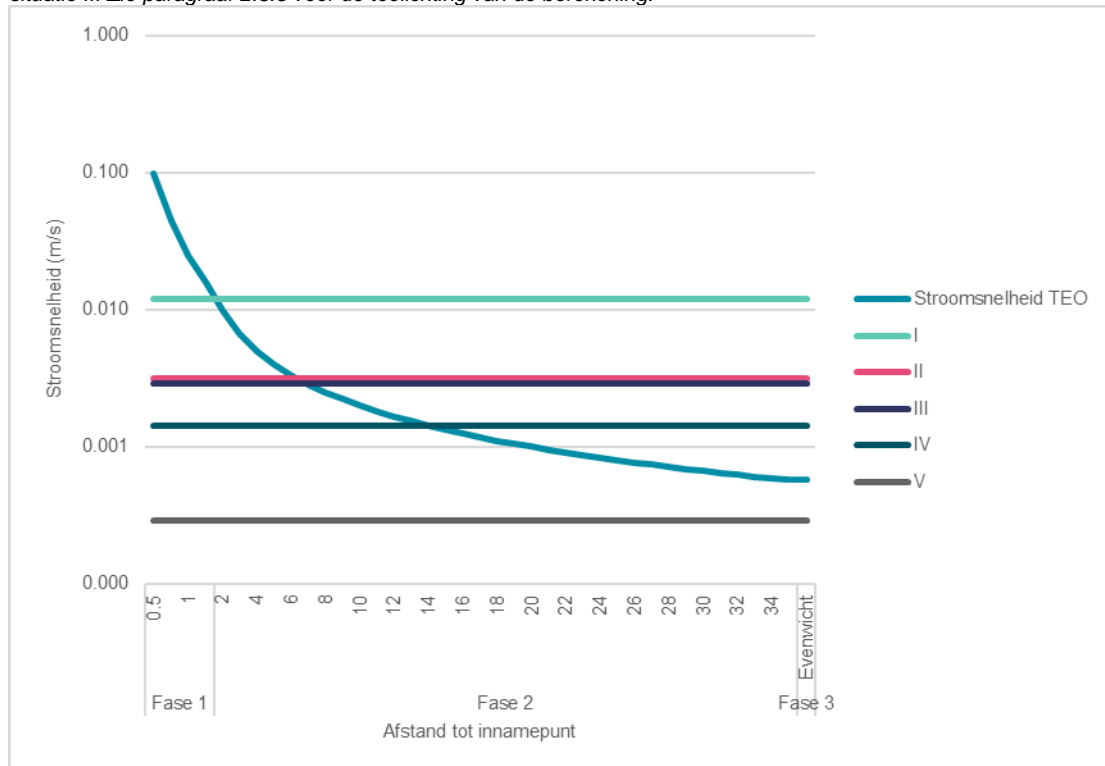
minder geschikt voor de inheemse fauna. De mossel *Dreissena bugensis* draagt dubbel aan de exoten bij, doordat de soort een hard substraat vormt en zo een exotisch leefgebied voor macrofauna creëert. Overigens komt deze soort relatief weinig voor in het projectgebied. De slijkgarnaaltjes van het geslacht *Chelicorophium* doen het prima tussen de mossels. Typische soorten van schoon water zijn de mijten *Lebertia inaequalis* en *Hygrobates nigromaculatus*. Daarnaast zijn vier zeldzame soorten gevonden, waaronder de eeltslak *Lithoglyphus naticoides*. De soortensamenstelling wijst op matig voedselrijk licht stromend water met nauwelijks organische belasting. Bij de substraatvoorkeur van de gevonden dieren is hard substraat (kade, stenen, mossels) duidelijk aanwezig.



Figuur B1.0-2 Substraatvoorkeur van macrofauna in het Merwedekanaal

Bijlage 2 Instroomsnelheid en invloedzone

Figuur B2.1 Instroomsnelheid (log-schaal) naar afstand innamepunt in vergelijking met de stroomsnelheden behorende bij de verversingsgebieden van het Merwedekanaal situatie I tot en met V. Het lekverlies komt overeen met situatie III Zie paragraaf 2.3.3 voor de toelichting van de berekening.



Tabel B2.1 Overzichtstabel met stroomsnelheden en invloedzone TEO-innamepunt Zie paragraaf 2.3.3 voor de toelichting van de berekening.

	Afstand tot innamepunt	Innamedebiet TEO	Stroomsnelheid veroorzaakt door TEO	Stroom-Oppervlak*	Oppervlak zone (halve cirkel)	Percentage projectgebied**
	r (m)	Q (m3/s)	v (m/s)	A (m2)	(m2)	%
Fase 1	0.5	0.156	0.099	1.6	0	
	0.75	0.156	0.044	3.5	1	
	1	0.156	0.025	6.3	2	
	1.25	0.156	0.016	9.8	2	
Fase 2	2	0.156	0.00993	15.7	6	0.004%
	3	0.156	0.00662	23.6	14	0.008%
	4	0.156	0.00497	31.4	25	0.014%
	5	0.156	0.00397	39.3	39	0.022%
	6	0.156	0.00331	47.1	57	0.032%
	7	0.156	0.00284	55.0	77	0.044%
	8	0.156	0.00248	62.8	101	0.057%

	Afstand tot innamepunt	Innamedebiet TEO	Stroomsnelheid veroorzaakt door TEO	Stroom-Oppervlak*	Oppervlak zone (halve cirkel)	Percentage projectgebied**
	9	0.156	0.00221	70.7	127	0.073%
	10	0.156	0.00199	78.5	157	0.090%
	11	0.156	0.00181	86.4	190	0.109%
	12	0.156	0.00166	94.2	226	0.129%
	13	0.156	0.00153	102.1	265	0.152%
	14	0.156	0.00142	110.0	308	0.176%
	15	0.156	0.00132	117.8	353	0.202%
	16	0.156	0.00124	125.7	402	0.230%
	17	0.156	0.00117	133.5	454	0.259%
	18	0.156	0.00110	141.4	509	0.291%
	19	0.156	0.00105	149.2	567	0.324%
	20	0.156	0.00099	157.1	628	0.359%
	21	0.156	0.00095	164.9	693	0.396%
	22	0.156	0.00090	172.8	760	0.434%
	23	0.156	0.00086	180.6	831	0.475%
	24	0.156	0.00083	188.5	905	0.517%
	25	0.156	0.00079	196.3	982	0.561%
	26	0.156	0.00076	204.2	1062	0.607%
	27	0.156	0.00074	212.1	1145	0.654%
	28	0.156	0.00071	219.9	1232	0.704%
	29	0.156	0.00068	227.8	1321	0.755%
	30	0.156	0.00066	235.6	1414	0.808%
	31	0.156	0.00064	243.5	1510	0.863%
	32	0.156	0.00062	251.3	1608	0.919%
	33	0.156	0.00060	259.2	1711	0.977%
	34	0.156	0.00058	267.0	1816	1.038%
	35	0.156	0.00057	274.9	1924	1.100%
Fase 3	Evenwicht	0.156	0.00057	274.9		

* Het stroomoppervlak is berekend aan de hand van de drie fasen, toegelicht in paragraaf 2.3.3.

** Gebaseerd op het totale oppervlak van het projectgebied (175000 m²)

Tabel B2.2 Overzicht van afstanden vanaf innamepunt waarop een specifieke stroomsnelheid plaatsvindt veroorzaakt door de TEO. $A = Q/v$. $r =$ afhankelijk van de fase, toegelicht in paragraaf 2.3.3. Oppervlakte zone = $\pi r^2 / 2$. Percentage projectgebied = Oppervlaktezone / 175000 m²

Situatie	Stroomsnelheid	Stroom-oppervlak	Afstand tot innamepunt	Oppervlak zone (halve cirkel)	Percentage projectgebied	Gebruikte formule voor r (zie par. 2.3.3)
	v (m/s)	A (m ²)	r (m)	(m ²)	%	
Innamepunt	0.3000	0.52	0.288	0		Fase 1
Zwemsnelheid Baars	0.1600	0.975	0.394	0		Fase 1
I (0,42 m³/s)	0.0119	13.1	1.67	4	0.003%	Fase 2
II (0,11 m³/s)	0.00314	49.6	6.32	63	0.036%	Fase 2
III (0,1 m³/s)	0.00286	54.6	6.95	76	0.043%	Fase 2
IV (0,05 m³/s)	0.00143	109.2	13.90	304	0.174%	Fase 2
V (0,01 m³/s)	0.00029	546.0	> 35	-	-	Fase 3
VI (0,1 m³/s) (lekverliezen)	0.00286	54.6	6.95	76	0.043%	Fase 2
VII (0,0625 m³/s) (extra doorstroming)	0.00179	87.4	11.12	194	0.111%	Fase 2
VI+VII (0,163 m³/s) (Lekverliezen + extra doorstroming)	0.0046	33.6	4.28	29	0.016%	Fase 2