

Klimaatverandering en waterkwaliteit bij waterschap Hollandse Delta

Een bureaustudie naar de effecten in het
beheersgebied



R.J.W. van de Haterd
R.G.A. Fraaije
H.A. van der Jagt



Bureau Waardenburg
Ecologie & Landschap



Klimaatverandering en waterkwaliteit bij waterschap Hollandse Delta

Een bureaustudie naar de effecten in het beheersgebied

drs. R.J.W. (Rob) van de Haterd, dr. R.G.A. (Rob) Fraaije, dr. H.A. van der Jagt

Status uitgave: eindrapport

Rapportnummer:	20-256
Projectnummer:	19-0934
Datum uitgave:	17-12-2020
Projectleider:	drs. R.J.W. van de Haterd
Tweede lezer:	drs. K. Didderen
Naam en adres opdrachtgever:	Waterschap Hollandse Delta, Handelsweg 100, 2988 DC Ridderkerk
Referentie opdrachtgever:	AK100862
Akkoord voor uitgave:	drs. W.M. Liefveld
Paraaf:	

Graag citeren als: van de Haterd, R.J.W., R.G.A. Fraaije, H.A. van der Jagt, 2020. Klimaatverandering en waterkwaliteit bij waterschap Hollandse Delta – een bureaustudie naar de effecten in het beheersgebied. Rapportnr.20-256. Bureau Waardenburg, Culemborg.

Trefwoorden: klimaatverandering, waterkwaliteit, aquatische ecologie, nutriënten, verzilting, blauwalgen

Bureau Waardenburg bv is niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Bureau Waardenburg bv.

Opdrachtgever hierboven aangegeven vrijwaart Bureau Waardenburg bv voor aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

© Bureau Waardenburg bv / Waterschap Hollandse Delta

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van opdrachtgever en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag worden vervaardigd en/of openbaar gemaakt worden d.m.v. druk, fotokopie, digitale kopie of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de opdrachtgever hierboven aangegeven en Bureau Waardenburg bv, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Lid van de branchevereniging Netwerk Groene Bureaus. Het kwaliteitsmanagementsysteem van Bureau Waardenburg bv is door CERTIKED gecertificeerd overeenkomstig ISO 9001: 2015. Bureau Waardenburg bv hanteert als algemene voorwaarden de DNR 2011, tenzij schriftelijk anders wordt overeengekomen.



Bureau Waardenburg, Varkensmarkt 9 4101 CK Culemborg, 0345 51 27 10, info@buwa.nl, www.buwa.nl



Voorwoord

In het kader van het verbeteren van het watersysteem heeft waterschap Hollandse Delta (WSHD) behoefte aan een overzicht van de effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit, zowel in het algemeen als specifiek voor de wateren in het beheersgebied. Hiermee kan het waterschap anticiperen op deze gevolgen en verschillende functies als stedelijk water, natuur, recreatie, zwemwater zo goed mogelijk blijven bedienen.

WSHD heeft Bureau Waardenburg opdracht verleend voor het onderzoeken van de gevolgen van klimaatverandering voor de waterkwaliteit in het werkgebied van WSHD. De aanpak van het onderzoek bestond uit literatuuronderzoek en data-analyse. Aan de totstandkoming van dit rapport werkten mee:

Drs. R.J.W. van de Haterd – Projectleider aquatische ecologie

Dr. R.G.A. Fraaije – Adviseur aquatische ecologie

Dr. H.A. van der Jagt – Marien en aquatisch ecooloog

Tosca Smit, MSc. – Adviseur aquatische ecologie

De begeleiding vanuit WSHD werd verzorgd door:

Fred Kuipers – Adviseur waterkwaliteit bij Advies en Automatisering

Diana Beltgens – Adviseur waterketen en waterkwaliteit bij Advies en Automatisering

Lisette Louwman – Beleidsadviseur ruimtelijke adaptatie/klimaat bij Beleid en plannen

Mieke van der Laan – Adviseur waterkwaliteit bij Beleid en plannen

Daarnaast leverde Inge Terhaerd gegevens en toetsingen voor de data-analyse.

Wij danken de begeleidingsgroep voor de prettige samenwerking en voor feedback op een eerdere versie van dit rapport.



Inhoud

Voorwoord	3
Samenvatting	5
1 Inleiding	8
1.1 Aanleiding	8
1.2 Doelstelling	8
1.3 Aanpak	9
1.4 Leeswijzer	9
2 Algemene effecten van klimaatverandering op waterkwaliteit	10
2.1 Klimaatverandering en KNMI'14 scenario's	10
2.2 Directe effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit	11
2.3 Indirecte effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit	13
3 Het werkgebied van Waterschap Hollandse Delta	15
3.1 Beschrijving van het beheersgebied	15
3.2 Kenmerken van het waterbeheer	19
4 Klimaatverandering in de regio van WSHD	21
4.1 Regionale verschillen in het klimaat	21
4.2 Regionale verschillen in verandering van het klimaat	21
4.3 Klimaattrends in WSHD gebied	22
5 Huidige en verwachte effecten op waterkwaliteit in WSHD-gebied	26
5.1 Algemeen	26
5.2 Verzilting	27
5.3 Versterkte eutrofiëring	33
5.4 Toename stratificatie	39
5.5 Toename zuurstofloosheid	41
5.6 Toename microbiële verontreinigingen	42
5.7 Toename overige chemische verontreinigingen	43
5.8 Overige directe temperatureffecten	44
6 Belangrijkste risico's en oplossingsrichtingen	45
6.1 Landelijk gebied	46
6.2 Stedelijk gebied	47
6.3 Grote recreatiewateren	49
6.4 Zwemwateren	49
7 Slotbeschouwing	52
Literatuur	53



Samenvatting

Klimaatverandering heeft grote effecten op mens en natuur. Ook waterkwaliteit kan veranderen onder invloed van klimaatverandering, bijvoorbeeld omdat het water opwarmt en er meer nutriënten in het water terechtkomen door piekbuien. Om te kunnen anticiperen op toekomstige effecten is het belangrijk om goed in kaart te brengen wat er verandert. In deze rapportage is in opdracht van het waterschap Hollandse Delta (WSHD) een overzicht gemaakt van de effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit, zowel in algemene zin als specifiek voor het beheersgebied. Daarnaast is een bondig overzicht gemaakt van mogelijke oplossingsrichtingen om negatieve effecten van klimaatverandering op waterkwaliteit te verminderen.

Het bekendste effect van klimaatverandering is temperatuurstijging. In de afgelopen twintig jaar zijn opvallend veel warme zomers en winters voorgekomen. In het beheersgebied van WSHD is de gemiddelde watertemperatuur sinds 1980 met 2°C gestegen. In landelijke en stedelijke wateren zijn winter- en zomertemperaturen geleidelijk toegenomen, in diepe wateren lijkt de zomertemperatuur na een stijgende trend te stagneren. Naast hogere temperaturen wordt voor Nederland meer neerslag verwacht. Er is inderdaad een toename in de hoeveelheid neerslag waarneembaar in het WSHD-gebied, wat voornamelijk komt doordat het aantal dagen met stevige neerslag is toegenomen. Deze toename in piekbuien gaat gepaard met een grotere kans op overstorten uit het riool.

Overzicht van de relevantie van verwachte klimaateffecten op de waterkwaliteit voor verschillende deelgebieden bij WSHD. '0' = nauwelijks relevantie, '+' = relevant, '++' = hoge relevantie, '+++ = zeer hoge relevantie, '?' = onbekend

Verwacht effect op waterkwaliteit	Landelijk	Stedelijk	Zwemwateren	Diepe wateren
Hogere concentraties diverse stoffen (N, P, chloride)	++	++	+	0
Afname aantal soorten door eutrofiëring	++	++	0/+	0
Afname aantal soorten door verzilting	++	++	+	?
Toename troebele toestand door eutrofiëring en temperatuur	0/+	+?	+	0
Productievere vegetatie in sloten (waaronder kroos)	+++	++	0	0
Toename blauwalgenbloei door eutrofiëring en temperatuur effecten	++ ?	++	++	++
Toename overige microbiële verontreinigingen	++	++	++	+
Toename chemische verontreinigingen	++	+++	+	+
Hogere kans op vissterfte in zomer door stijging temperatuur en zuurstofloosheid	+++	+++	++	0

De verwachte effecten op de waterkwaliteit in het WSHD-gebied zijn verzilting, versterkte eutrofiëring, toenemende stratificatie en zuurstofloosheid en een toename in microbiële en chemische verontreinigingen. Door zeespiegelstijging, bodemdaling en neerslagtekort kunnen waterlopen brakker worden. Grootschalige verzilting wordt bij WSHD niet verwacht omdat er voldoende zoet water beschikbaar is en blijft om door te spoelen. Wel kan in de



haarvaten van Goeree-Overflakkee en Voorne-Putten lokaal verzilting optreden. Hierdoor kan de soortenrijkdom afnemen en neemt het risico op invasieve exoten toe. Mogelijk leidt verzilting ook tot hogere nalevering van fosfor uit de bodem en het verminderen van methaanuitstoot.

Klimaatverandering leidt tot versterkte eutrofiëring via externe input en via interne nalevering uit de bodem. Door piekbuien neemt afspoeling vanuit landbouwgrond toe, en zullen er vaker riooloverstorten in het stedelijk gebied plaatsvinden. In het WSHD-gebied is nog geen toename van nutriënten waarneembaar: door de verbeterde Rijnwaterkwaliteit (inlaatwater van WSHD) zijn nutriëntenconcentraties juist afgenomen. Wel zijn er door flinke neerslag (na overstorten) vissterftes waargenomen in de zomer. Sinds 2000 stagneert de afname van stikstof echter in het landelijk gebied, en van fosfor in diepe meren. De nutriëntenconcentraties van het beheersgebied zijn echter nog steeds hoog, wat de ecologische kwaliteit niet ten goede komt. Dit kan leiden tot een afname van waterplanten-gedomineerde systemen en een toename van fytoplankton-gedomineerde systemen, waarbij er meer blauwalgen voorkomen. In het WSHD-gebied is er sprake van een afname van groenalgenconcentraties – corresponderend met afname in nutriënten – en een toename van blauwalgen, wat correspondeert met hogere zomertemperaturen.

Stratificatie in diepe wateren kan ontstaan door temperatuur- of saliniteitsverschillen tussen twee verschillende waterlagen, waardoor het oppervlaktewater niet meer mengt met het diepere water. Stratificatie is seizoensgebonden, en kan door klimaatverandering sterker worden of vroeger in het seizoen ontstaan. Hierdoor kan zuurstofloosheid bij de bodem optreden en kunnen nutriënten in de oppervlaktelaag opgebruikt worden. Zuurstofloosheid bij de bodem kan zorgen voor nalevering van fosfaat, maar ook voor vissterfte en een verschuiving naar soorten die enigszins tolerant zijn voor zuurstofarme condities.

Microbiële verontreinigingen kunnen door hogere watertemperaturen toenemen. *Vibrio* (oorontsteking), *Pseudomonas aeruginosa* (oorontsteking) en *Trichobilharzia* (zwemmersjeuk) nemen waarschijnlijk toe. *E. coli* kan afnemen door hogere temperaturen, maar ook toenemen door toename aan overstorten. Door toename aan overstorten kunnen fecale verontreinigingen met name in het stedelijk oppervlaktewater toenemen. Blauwalgen kunnen meer overlast veroorzaken door hogere temperaturen en nutriëntenconcentraties, waardoor ze vaker en intenser kunnen bloeien. Ook botulisme kan toenemen door hogere temperaturen en toename van organisch materiaal (uit lozingen of in sediment). Chemische verontreinigingen kunnen toenemen in het wateroppervlak door een toename in neerslag en afspoeling (b.v. bandengruis en bestrijdingsmiddelen). Ook kunnen materialen als banden en asfalt sneller verweren bij hogere temperaturen.

Om negatieve effecten van klimaatverandering op waterkwaliteit tegen te gaan, kunnen verschillende oplossingsrichtingen worden gekozen. In het landelijk gebied worden voornamelijk effecten van eutrofiëring verwacht en verhoogde waterplantengroei. Maatregelen om negatieve effecten te beperken zijn het verminderen van de nutriëntenbelasting door het verder verminderen van uit- en afspoeling uit landbouwgebieden en verbetering van afvalwaterzuivering. Ook baggeren en maaien met afvoer van maaisel, gericht op het onttrekken van nutriënten, kan hieraan bijdragen. Gericht doorspoelen kan problemen met (blauw)algenbloei verminderen, maar het lost het onderliggende probleem niet op.

In stedelijk gebied worden voornamelijk hogere temperaturen en hogere nutriëntenconcentraties verwacht. Ook zal de toename van piekbuien zorgen voor het vaker



voorkomen van riooloverstorten. Om het effect van piekbuien te verminderen, kunnen inwoners gemotiveerd worden om hun regenpijp af te koppelen, hun tuin groener te maken en waterberging te creëren met bijvoorbeeld groene daken en een regenton. Gemeentes kunnen waterbuffers creëren, de gemeentelijke ruimte verder vergroenen en groenstroken klimaatstrategisch inrichten; een maatregel die ook de temperatuur dempt. Ook kunnen gemeenten en waterschap (verbeterd) gescheiden rioolstelsels aanleggen. De voordelen hiervan zijn dat er bij piekbuien minder riooloverstorten plaatsvinden en de zuiveringsefficiëntie van een rwzi niet afneemt bij grote hoeveelheden regenwater. Nadelen zijn dat met regenwater ook veel vuil en nutriënten in het oppervlaktewater stroomt, wat normaal gesproken door de rwzi uit het water wordt gefilterd. Ook kunnen foutaansluitingen ontstaan, bijvoorbeeld een huishouden op een regenwaterriool. Het waterschap kan ook aan (tijdelijke) waterberging bijdragen door grotere fluctuaties in het oppervlaktewaterpeil toe te staan.

In de diepe meren van WSHD gaat het relatief goed, maar is het belangrijk om nu en in de toekomst nutriënteninvoer zoveel mogelijk te beperken. De grote meren kunnen gebruikt worden als waterbuffers voor het omliggende gebied, mits het regenwater dat wordt opgevangen van voldoende kwaliteit is. In zwemwateren wordt meer blauwalgenoverlast verwacht. Ook hier is het belangrijk om te werken aan nutriëntenreductie. Daarnaast is goede voorlichting van en communicatie met gebruikers essentieel. Met goede monitoring en heldere communicatie op locaties met veel recreatie (niet alleen zwemwateren) kan het waterschap gevaarlijke situaties voorkomen.

Niet alle negatieve effecten van klimaatverandering kunnen ondervangen worden, zo is het bijvoorbeeld lastig om opwarming van water af te remmen. Wel zal het inzetten op vermindering van eutrofiëring helpen om de meeste negatieve effecten af te remmen.



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie is afgesproken dat heel Nederland in 2050 waterrobuust en klimaatbestendig ingericht moet zijn (Ministerie van Infrastructuur en Milieu and Ministerie van Economische Zaken, 2017). Het Deltaplan gebruikt hiervoor zeven ambities waarvan 'kwetsbaarheden in beeld brengen' er één is. Om die kwetsbaarheden in beeld te krijgen dienden alle overheden uiterlijk 2019 een stresstest te hebben uitgevoerd voor de vier klimaatthema's wateroverlast, hitte, droogte en overstroming. Waterkwaliteit is een van de aspecten die onder deze kwetsbaarheden valt.

Ook in de Nationale adaptatiestrategie, die samen met het Deltaprogramma de Nederlandse opgave voor klimaatadaptatie completeert, wordt waterkwaliteit aangemerkt als urgent aan te pakken klimaateffect (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2016). Waar klimaatbeleid in het verleden sterker was toegespitst op waterkwantiteit is de aandacht voor waterkwaliteitsaspecten in de afgelopen jaren toegenomen. De effecten van klimaatverandering op waterkwaliteit beslaan echter een breed scala aan mogelijke effecten, grote onzekerheden over de mate waarin die effecten (regionaal en temporeel) zullen optreden en een complexe technische achtergrond van die onzekerheden en effecten.

In het kader van het verbeteren van het watersysteem heeft waterschap Hollandse Delta (WSHD) behoefte aan een overzicht van de effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit, zowel in het algemeen als specifiek voor de wateren in het beheersgebied. Hiermee kan het waterschap anticiperen op deze gevolgen en verschillende functies als stedelijk water, natuur, recreatie, zwemwater zo goed mogelijk blijven bedienen. Daarnaast heeft het waterschap behoefte aan een beschrijving van mogelijke oplossingsrichtingen om negatieve effecten van klimaatverandering op waterkwaliteit te verminderen.

Met behulp van dit overzicht kan het waterschap partners, zoals gemeenten, beter adviseren op het gebied van klimaatverandering en gerelateerde onderwerpen in verschillende gremia agenderen. Daarnaast kan het waterschap hiermee proactief handelen en het bestuur informeren ten aanzien van de verwachte effecten op het watersysteem.

1.2 Doelstelling

De doelstellingen van deze studie zijn:

- Overzicht creëren van de effecten van klimaatverandering op waterkwaliteit in het algemeen en voor het beheersgebied van WSHD;
- Inzicht geven in reeds waarneembare klimaatgedreven effecten op waterkwaliteit in het beheersgebied van WSHD;
- Opstellen oplossingsrichtingen om negatieve effecten op waterkwaliteit te verminderen.



1.3 Aanpak

Voor deze studie is literatuuronderzoek uitgevoerd en zijn data van het KNMI en van WSHD geanalyseerd. In werksessies met het waterschap is nadere informatie opgehaald over de reeds optredende en te verwachten effecten op de waterkwaliteit. Met name voor de effecten van verzilting is afgestemd met een gelijktijdig lopende studie uitgevoerd door Hydrologic.

1.4 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de gevolgen van klimaatverandering voor de waterkwaliteit in het werkgebied van WSHD. Daarbij we onderscheid tussen directe en indirecte effecten (indirect zijn aanpassingen aan klimaatverandering, zoals een andere gewassen of meer drinkwatergebruik). Een aantal parameters worden daarnaast beïnvloed door actief beleid, bijvoorbeeld nutriënten (stikstof) en bestrijdingsmiddelen. In dit rapport wordt dit actieve beleid genoemd, maar de omvang van de effecten van dit beleid wordt niet afgezet tegen die van klimaatverandering. De effecten van actief beleid valt buiten de scope van deze bureaustudie en omvat diverse onzekerheden.

Het rapport is als volgt opgebouwd:

- In hoofdstuk 2 beschrijven we de verwachte klimaatverandering en de verwachte effecten daarvan op de waterkwaliteit met een focus op Nederland;
- In hoofdstuk 3 zoomen we in op het werkgebied van Waterschap Hollandse Delta en beschrijven de specifieke kenmerken van dit werkgebied;
- In hoofdstuk 4 zoomen we in op de verwachte klimaatverandering in het gebied van WSHD en de verschillen met de landelijke verwachting;
- In hoofdstuk 5 beschrijven we de verwachte effecten op waterkwaliteit in meer detail en toetsen of, en zo ja waar, deze van toepassing zijn voor WSHD;
- In hoofdstuk 6 vatten we de belangrijkste risico's en mogelijk oplossingsrichtingen samen en werken deze risico's uit naar een vijftal deelgebieden;
- In hoofdstuk 7 beschrijven we de kennisleemten;



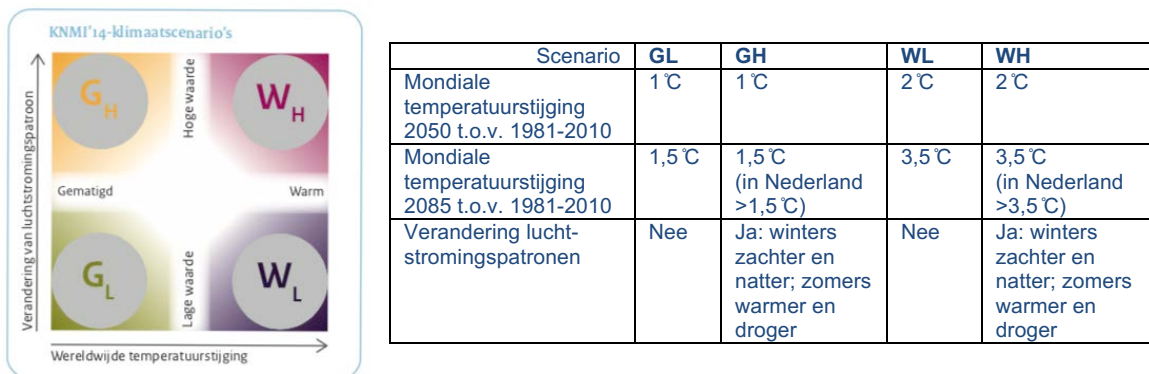
2 Algemene effecten van klimaatverandering op waterkwaliteit

2.1 Klimaatverandering en KNMI'14 scenario's

Als gevolg van wereldwijde klimaatverandering is in de afgelopen eeuw in Nederland de gemiddelde luchttemperatuur gestegen, de hoeveelheid en intensiteit van neerslag toegenomen en het aantal extreem hete dagen frequenter geworden (van Minnen et al., 2013). De verwachting is dat deze patronen zich in de komende decennia voortzetten. De mate waarin deze veranderingen optreden is echter onduidelijk en hangt af van de wereldwijde temperatuurstijging en de veranderingen in luchtstromingspatronen in West-Europa.

De KNMI'14-scenario's beschrijven de hoekpunten waarbinnen de klimaatverandering in Nederland zich waarschijnlijk zal voltrekken (van den Hurk et al., 2014). Het zijn vier combinaties van twee uiteenlopende waarden voor de wereldwijde temperatuurstijging (G = 'Gematigd' en W = 'Warm') en twee mogelijke veranderingen van het luchtstromingspatroon (L = 'Lage waarde' en H = 'Hoge waarde'). De trend van de klimaatverandering is: een stijging van de zeespiegel, vaker zachte en gemiddeld nattere winters, extremere piekbuien jaarrond en warme, (bij de H-scenario's) gemiddeld drogere zomers (Tank et al., 2015).

Het KNMI werkt aan nieuwe klimaatscenario's. In 2021 wordt het Klimaatsignaal'21 (een eerste duiding van het zesde assessmentrapport van het IPCC voor Nederland) verwacht en in 2023 volgen de KNMI'23-klimaatscenario's die zich richten op de allerlaatste mondiale klimaatinzichten (bron: helpdeskwater.nl).



Figuur 2.1 De vier KNMI'14-scenario's voor het Nederlandse klimaat in 2050 en 2085 ten opzichte van 1981-2010 (ten Brinke, 2014; van den Hurk et al., 2014; Tank et al., 2015). Tabel aangepast van Ten Brinke (2014.)



2.2 Directe effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit

In STOWA-rapport 2011-20 (Kosten, 2011) staat een uitgebreid overzicht van de algemene effecten van klimaatverandering op waterkwaliteit. In deze paragraaf hebben wij een selectie van teksten uit het betreffende rapport geciteerd en met name informatie aangevuld over gezondheidsaspecten en overige verontreinigingen. Een literatuurstudie naar de belangrijkste effecten voor het beheersgebied van WSHD volgt in hoofdstuk 3.

Klimaatverandering beïnvloedt zowel de fysische, de biogeochemische als de biologische toestand van zoete aquatische systemen. De invloed van klimaatverandering is het duidelijkst waarneembaar en voorspelbaar voor de fysische toestand van zoete wateren: minder ijsbedekking, stijging van de watertemperatuur en een sterkere en langere temperatuurstratificatie. Ook de invloed op de biogeochemie van het water (aanwezigheid van, en interactie tussen de elementen zuurstof, fosfor, stikstof, zwavel, koolstof en chloride) is duidelijk aanwezig. De biologische effecten zijn het lastigst te voorspellen door de complexe interacties binnen aquatische ecosystemen.

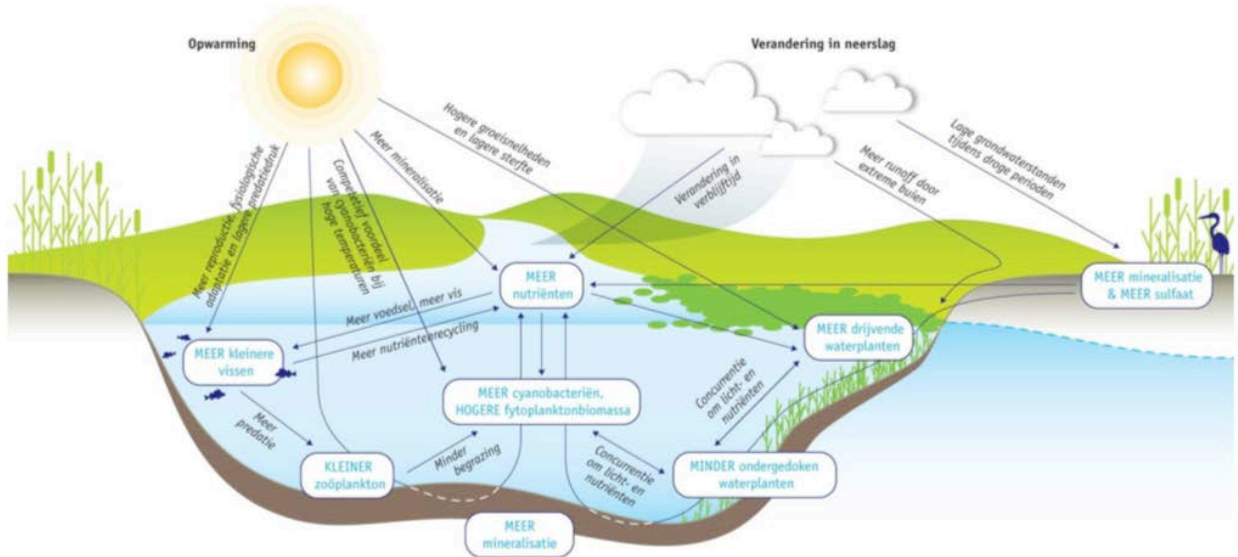
De schaal, zowel in tijd als in de ruimte, waarop klimaateffecten zich manifesteren in aquatische ecosystemen varieert sterk. Lokale effecten, zoals zuurstofloosheid, kunnen zich vaak binnen een dag manifesteren, terwijl grote nationale en zelfs mondiale effecten zoals de areaalverschuiving van soorten zich in tijdsbestekken van decennia afspelen.



Figuur 2.2 Voorbeeld van de manifestatie van klimaatgebonden fenomenen over verschillende schalen van ruimte en tijd (Kosten, 2011; Loeve et al., 2006).

Belangrijkste veranderingen waterkwaliteit

Met inachtneming van onzekerheden in de klimaatscenario's en lokale verschillen in het optreden van effecten, kan met voldoende zekerheid een centrale conclusie worden getrokken: klimaatverandering versterkt de eutrofiëring van oppervlaktewateren. Door klimaatverandering wordt de kans groter dat een systeem zich in de troebele toestand bevindt. De symptomen van eutrofiëring variëren. Er kan sprake zijn van een toename van algen, van - soms toxische - drijflagen van cyanobacteriën ('blauwalgen') of drijvende planten, maar ook van verlies van ondergedoken waterplanten, zuurstofloosheid en veranderingen in de visgemeenschap.



Figuur 2.3 Conceptuele weergave van de belangrijkste effecten van klimaatverandering op eutrofiëring en eutrofiëringseffecten (Kosten, 2011; Moss et al., 2011).

De verwachte veranderingen voor de fysische, biogeochemische en biologische aspecten van de waterkwaliteit als gevolg van klimaatverandering worden hieronder puntsgewijs toegelicht:

Fysisch – hogere temperatuur, stratificatie, veranderingen in inlaat, uitlaat en runoff

- hogere watertemperatuur en minder ijsbedekking;
- langere stratificatieperiode (eerdere start en latere menging) in diepe systemen;
- ondiepere spronglaag in diepe systemen;
- tijdelijke stratificatie in ondiepe systemen;
- toename runoff;
- toename piekafvoeren en erosie;
- peilverlaging/droogval of grotere behoefte aan inlaatwater.

Biogeochemisch – eutrofiëring, zuurstofloosheid, verzilting

- hogere temperaturen - eventueel in combinatie met een lagere afvoer - leiden tot grotere dag- nachtfluctuaties in zuurstofconcentraties;
- kans op perioden met een zeer lage zuurstofconcentratie neemt toe;
- hogere interne fosfor- en stikstofbelastingen als gevolg van door opwarming verhoogde nalevering vanuit het sediment;
- hogere externe fosfor- en stikstofbelasting door veranderingen in het neerslagregime en de hiermee samenhangende hoeveelheden runoff, inlaat en uitlaat;
- versnelde denitrificatie als gevolg van hogere temperaturen;



- verhoogde zwavelbelasting door hoge grondwaterstanden in zwavelhoudende bodems in natte winters en door een toename in brakke of zoute kwel;
- toename CO₂-concentraties in het water (kleine invloed vanwege sterke CO₂ oververzadiging in veruit de meeste wateren);
- mogelijk toename broeikasgasemissie vanuit het water;
- stijging chlorideconcentratie door verdamping, brakke kwel en de inlaat van chloriderijk water tijdens droogte.
- Een toename van microverontreinigingen zoals PAK's, PCB's, zware metalen en bestrijdingsmiddelen.

Biologisch – meer biomassa, blauwalgen, exoten, andere soortensamenstelling

- door toename nutriëntenbelasting hogere fytoplanktonbiomassa's;
- langer groeiseizoen van fytoplankton, hierdoor in voor- en najaar hogere fytoplanktonbiomassa's;
- bij gelijkblijvende nutriëntenbelasting geen eenduidige toename in maximale zomerbiomassa van fytoplankton;
- aandeel aan cyanobacteriën in totale fytoplankton-biovolume neemt toe;
- afmeting en biomassa van zoöplankton nemen af waardoor de graasdruk op fytoplankton afneemt;
- soortensamenstelling van waterplanten verandert door zachtere winters (met minder ijs);
- in kleine wateren vergrote kans op dominantie door drijvende planten;
- bij opwarming kleinere kans op hoge bedekkingen met ondergedoken waterplanten;
- door opwarming verandert visgemeenschap: minder koudminnende soorten en mogelijk meer bodemgebonden soorten;
- langere paaitijd van vissen, waardoor er gedurende een langere periode kleine zoöplankton-etende vis aanwezig is;
- klimaatverandering is vaak niet de belangrijkste factor bij de verspreiding en immigratie van nieuwe soorten. Wel kan klimaatverandering voor sommige soorten de vestiging faciliteren en kan het de abundantie van exoten sterk beïnvloeden, waarbij zachtere winters tot hogere abundanties leiden.
- verschuivingen in de ziekteverwekkers in het water; een toename van *Vibrio spp* (oorontsteking, wondinfecties), *Pseudomonas aeruginosa* (oorontsteking), Botulisme en *Trichobilharzia* (zwemmersjeuk), maar een afname van temperatuuren uv-gevoelige soorten zoals *Campylobacter*, norovirussen en *Cryptosporidium*, die gastro-enteritisklachten geven.

2.3 Indirecte effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit

Effecten van veranderende menselijke activiteiten op de waterkwaliteit

De waterkwaliteit wordt niet alleen direct beïnvloed door een warmer klimaat en ander neerslagpatroon. Dat de mens zich aanpast aan het klimaat heeft ook indirecte effecten op de waterkwaliteit. Zo kan klimaatverandering leiden tot een andere gewaskeuze of een ander bemestingspatroon, wat de nutriëntenafstroming naar het oppervlaktewater beïnvloedt (Kosten, 2011). Ook neemt het waterverbruik in droge perioden toe, wat kan



leiden tot een hogere bijdrage van water met drinkwaterkwaliteit (met zepen/wasmiddelen) aan de toevoer naar RWZI's en overstorten (van Nieuwkerk et al., 2010). Als gevolg van de hogere temperatuur zouden plagen (zoals muggen) frequenter kunnen worden en moeilijker te bestrijden, waardoor meer of andere bestrijdingsmiddelen worden gebruikt die in het oppervlaktewater terecht kunnen komen (Budd et al., 2007; Hintzen et al., 2009). De toename in waterrecreatie als gevolg van hogere temperaturen kan de waterkwaliteit verslechteren door een toename in nutriënten maar ook van zogenaamde PPCP's (pharmaceuticals & personale care products) waaronder antizonnebrand middelen (Eriksson et al., 2008).

Effecten van klimaatadaptatiemaatregelen op de waterkwaliteit

De Nederlandse overheid heeft een aantal ambities geformuleerd om de toename van wateroverlast, hitte, droogte en overstroming als gevolg van klimaatverandering zoveel mogelijk te beperken. De nationale klimaatadaptatiestrategie en het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie vormen hiervoor de basis (Ministerie van Infrastructuur en Milieu and Ministerie van Economische Zaken, 2017; Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2016). Er worden door overheden allerlei maatregelen genomen of voorbereid om de effecten van klimaatverandering in te perken. Zo moet vergroening van de openbare ruimte en stedelijke herinrichting de hittestress verminderen, is er meer behoefte aan zwembadwater en verkoeling in stedelijke gebieden (waterspeelplaatsen) en zijn waterbeheerders al geruime tijd bezig met het klimaatbestendiger maken van hun watersystemen (Gloudemans and Booltink, 2008). Maatregelen als vergroening, vasthouden en bergen van water voor tijden van droogte, meer oppervlaktewater in de stad, afkoppeling regenwaterafvoer, maar ook veranderd onderhoud van watergangen werken door op verschillende aspecten van de waterkwaliteit. Het is belangrijk om veranderingen als gevolg van klimaatverandering zowel direct als indirect via adaptatiemaatregelen als geheel te beschouwen om de effecten op waterkwaliteit goed in beeld te krijgen.

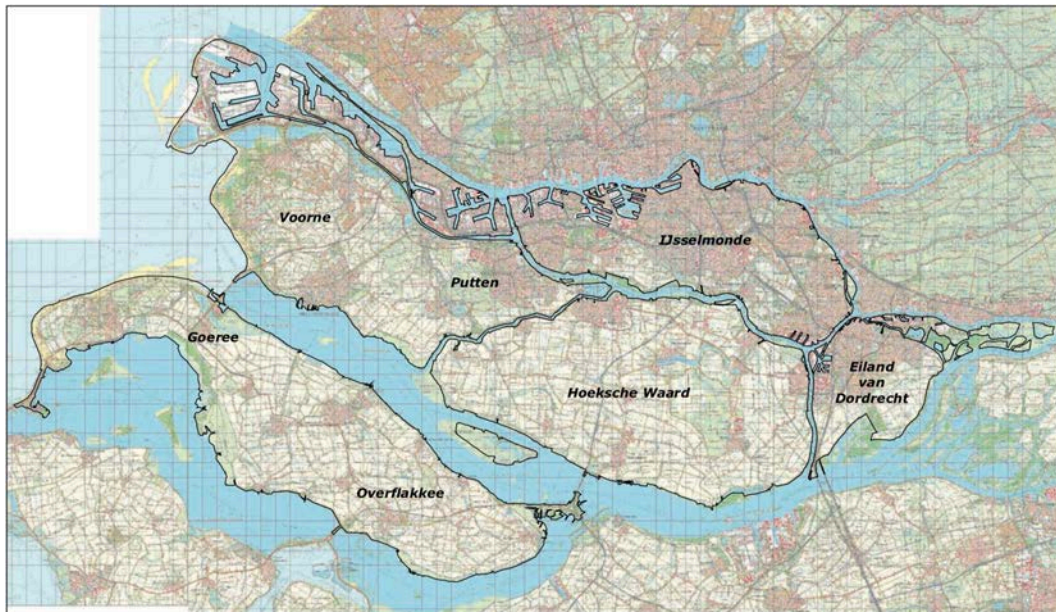


3 Het werkgebied van Waterschap Hollandse Delta

Om de belangrijkste klimaateffecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit in WSHD-gebied goed te kunnen duiden wordt in dit hoofdstuk een beschrijving van het werkgebied gegeven. Het doel van dit hoofdstuk is om een overzicht te geven van kenmerken van het beheersgebied en het waterbeheer.

3.1 Beschrijving van het beheersgebied

Het beheersgebied van waterschap Hollandse Delta ligt in het zuiden van Zuid-Holland en bestaat uit de eilanden Goeree-Overflakkee, Voorne- Putten, Rozenburg, Tiengemeten, de Hoeksche Waard, IJsselmonde en het Eiland van Dordrecht. De ligging in de Zuidwestelijke Delta, de eilandenstructuur en de invloed van de zee en de grote rivieren Rijn en Maas maken het beheersgebied dynamisch en uniek (Waterschap Hollandse Delta, 2015). Tachtig procent van het beheersgebied ligt binnen primaire waterkeringen en/of 'hoge gronden' die het beheersgebied beschermen tegen een overstroming door stormvloed op zee en/of hoogwater op de grote rivieren (364 km rivier- of zeedijken en zeewerende duinen). De overige 20% bestaat o.a. uit natuurgebieden, hooggelegen industrie- en haventerreinen en woongebieden die zijn ingericht op hoogwatersituaties.

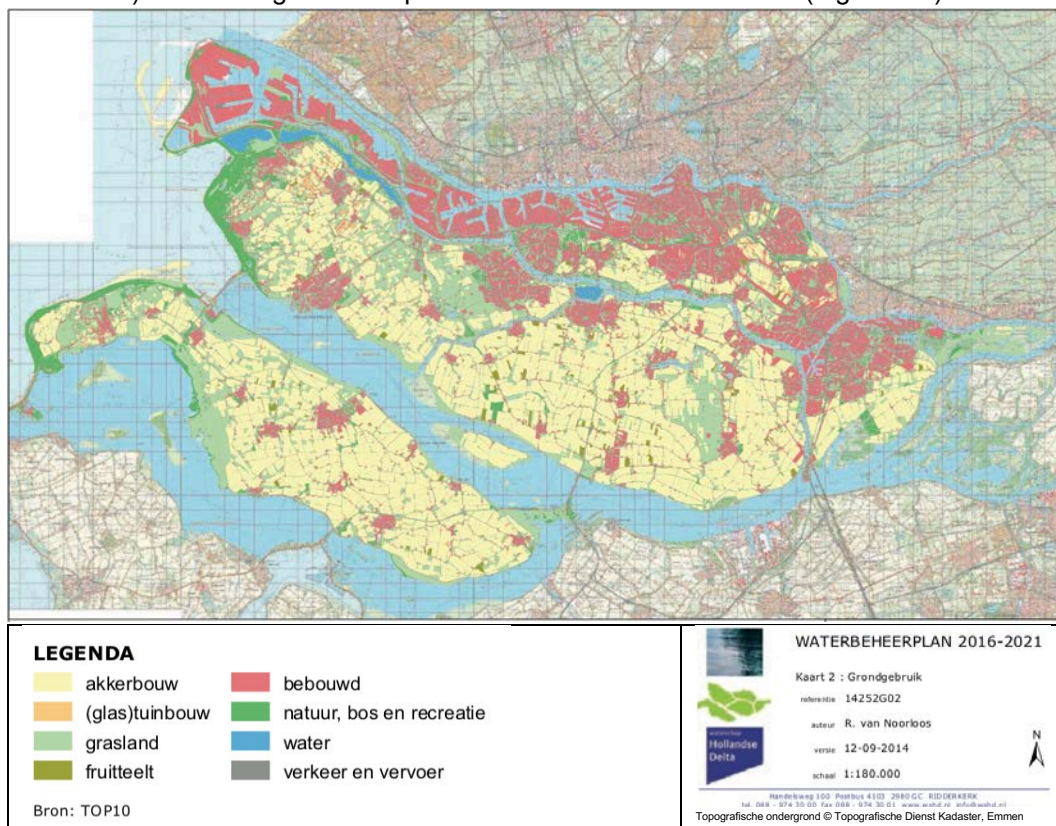


Figuur 3.1 Reglementskaart WSHD (Waterschap Hollandse Delta, 2015).



Landgebruik

Het beheersgebied ligt grotendeels in het oude Nederlandse zeeleilandschap. Dit landschapstype is in de afgelopen 10.000 jaar geleidelijk ontstaan door (afwisselende perioden van) zeeleiafzettingen en veenvorming en komt in grote delen van Noord- en West-Nederland tot tientallen kilometers landinwaarts voor. De laatste duizend jaar heeft de mens steeds meer invloed uitgeoefend op het landschap en de landschapsvormende processen. In deze periode is een kleinschalig zeeleipolder-landschap ontstaan, welke met dijken, polders en droogmakerijen is ingericht als gebied voor bewoning en landbouw. Karakteristiek voor het zeeleilandschap, en daarmee ook voor het beheersgebied van waterschap Hollandse Delta, is het vlakke en open karakter met grootschalige landbouw die profiteert van de voedselrijke kleigrond (Antheunisse et al., 2008). Overige landgebruikskennmerken zijn het grote stedelijke gebied aan de noordzijde (IJsselmonde, Rotterdam) en de duingebieden op Goeree-Overflakkee en Voorne (Figuur 3.2).



Figuur 3.2 Grondgebruik bij WSHD (Waterschap Hollandse Delta, 2015).

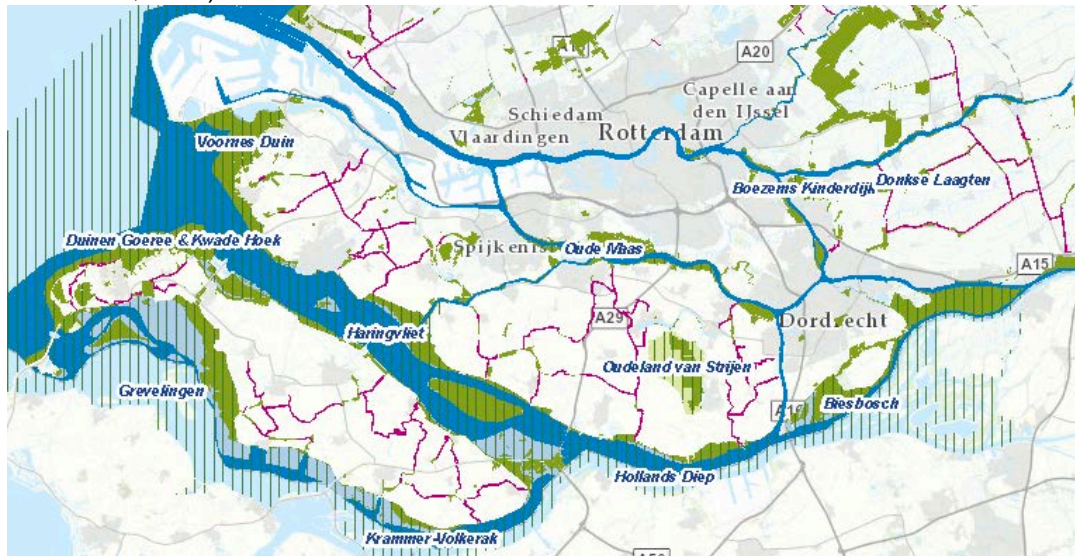
Watertypen

Verreweg de meeste wateren in het plangebied hebben een duidelijke relatie met het agrarisch grondgebruik. De meest voorkomende watertypen zijn dan ook gegraven wateren zoals vaarten, vlieten, weteringen en poldersloten. In het stedelijk gebied komen specifieke stadswateren voor zoals singels en grachten. Daarnaast komen verspreid in het beheersgebied nog andere watertypen voor die hun oorsprong vinden in de specifieke bodemgesteldheid en/of het plaatselijk grondgebruik, zoals duinmeren en duinpoelen, afgesloten getijdengeulen of rivierarmen, kanalen, wielen en ontgrondingsputten. WSHD heeft vier diepe wateren, die zijn ontstaan als gevolg van delfstofwinning (zand) in oude rivier- of zeearmen. In totaal beheert WSHD zo'n 7200 km aan watergangen.



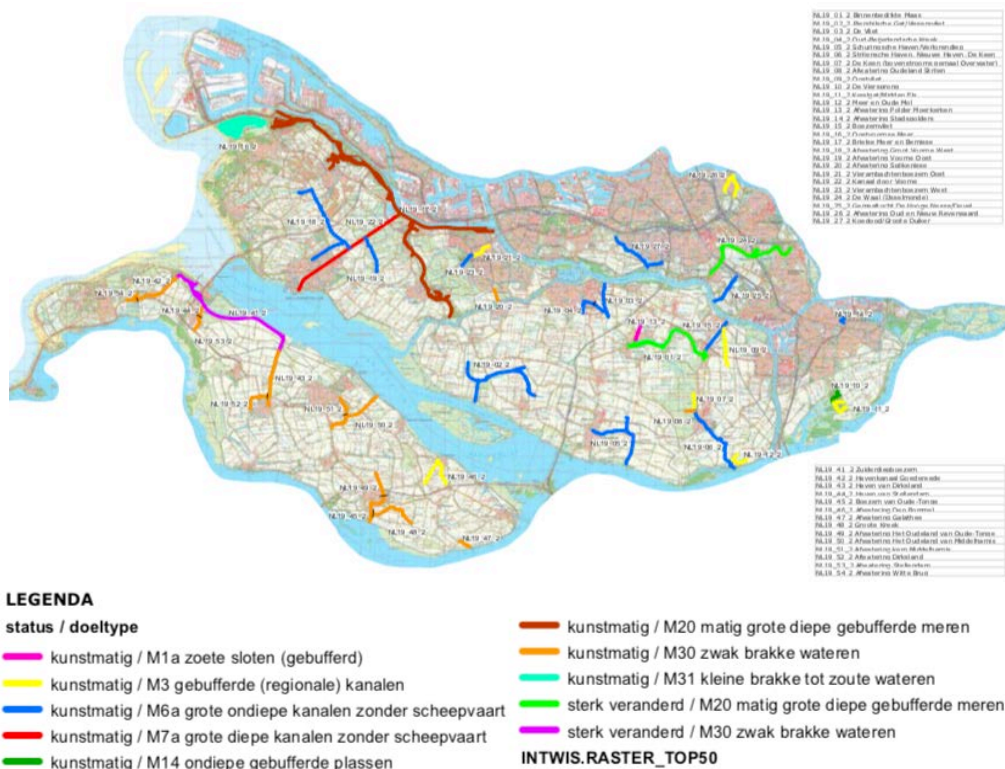
Natuur en KRW

In het gebied van Hollandse Delta liggen een aantal N2000-gebieden. Het betreft o.a. een aantal buitenwateren zoals Haringvliet, Hollands Diep en Grevelingen. De voornaamste (deels) binnendijks gelegen N2000- gebieden zijn de duinen op Goeree-Overflakkee en Voorne en het Oudeland van Strijen op de Hoeksche Waard. De belangrijkste natuurdoeltypen in WSHD-gebied zijn duinnatuur, rivier- en moerasnatuur, zoete plassen en diverse typen grasland (bloemrijk, schraal, vochtig) (Provincie Zuid-Holland, 2020; de Vries et al., 2009).



Figuur 3.3 Ligging van Natuurnetwerk Nederland gebieden (rode lijnen, blauwe en groene vlakken) met aanmerking van de N2000 gebieden (gearceerd en met naam-aanduiding) (Provincie Zuid-Holland, 2020).

Een aantal hoofdwatergangen worden tot het Natuurnetwerk Nederland gerekend (rode lijnen in Figuur 3.4). Daarnaast zijn de grotere wateren aangeduid als KRW-waterlichaam met zowel zoete als brakke watertypen (Figuur 3.4). Brakke wateren komen met name voor op Goeree-Overflakkee. Het Oostvoornse Meer is daarnaast een groot brakwater meer. In verschillende natuurgebieden op Goeree-Overflakkee en Voorne-Putten is het waterbeheer geoptimaliseerd om de brakke waterkwaliteit te herstellen, zoals het Oudeland van Strijen, Polder Biert en Koudenhoek (de Vries et al., 2009).



Figuur 3.4 Ligging van de KRW-waterlichamen in het beheersgebied (Waterschap Hollandse Delta, 2015).

Zwemwateren

In het gebied van Hollandse Delta liggen 20 officiële zwemwaterlocaties (Gedeputeerde Staten van Zuid-Holland, 2019). Het zwemwater op deze locaties moet volgens de Zwemwaterrichtlijn ten minste de kwaliteit “aanvaardbaar” hebben. In 2017/2018 was de zwemwaterkwaliteit op bijna alle locaties goed of uitstekend (Figuur 3.5).



Figuur 3.5 Ligging van de officiële Zwemwateren met beoordeling van de toestand in 2017/2018 volgens de Zwemwaterrichtlijn (Waterschap Hollandse Delta, 2018).

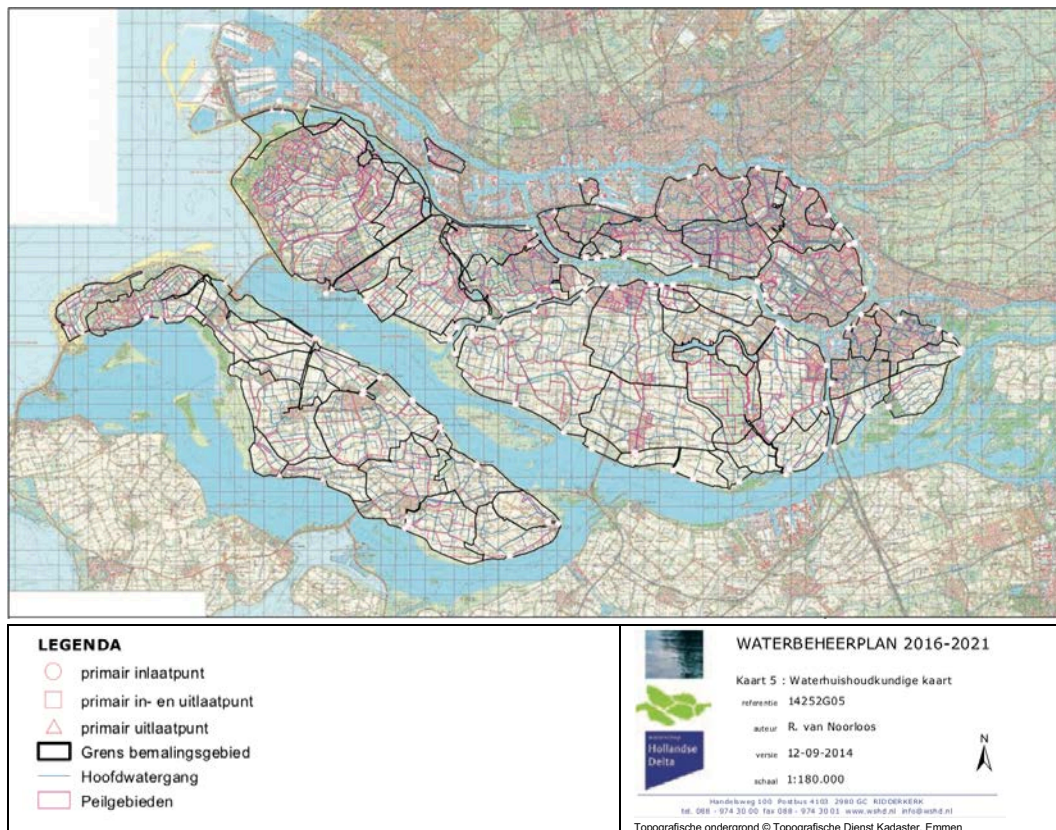


3.2 Kenmerken van het waterbeheer

Sterke relatie met buitenwateren - inlaat van (zoet) water

Typerend voor een groot deel van de watersystemen in beheer bij Hollandse Delta is de sterke relatie met het buitenwater dat de eilanden omringt. Uit het buitenwater wordt (zoet) water via de boezems ingelaten in de polders en vele gemalen slaan het overtollige polderwater daar ook weer op uit. Een groot deel van het binnendijkse gebied ligt lager dan de buitenwaterstanden en ook lager dan de Noordzee. Dit heeft een grondwaterstroming naar de laaggelegen polders tot gevolg; er treedt kwelwater uit. In een aantal van de polders, met name in het westen is dit kwelwater sterk brak of zout en rijk aan nutriënten.

In de poldergebieden wordt vanuit het buitenwater water ingelaten voor peilbeheer en de bestrijding van (natuurlijke) verzilting. In de meeste gevallen is de aaneenschakeling van peilgebieden zo, dat water in hooggelegen peilgebieden wordt ingelaten en dan door een systeem van hoofdwatergangen en sloten onder vrij verval (getrapt) naar lageregelegen peilgebieden wordt geleid (zie Figuur 3.6 voor de ligging van peilgebieden). De hoofdgemalen staan dan ook vaak in de laagstgelegen peilgebieden. Binnen ieder peilgebied wordt gestuurd op zo constant mogelijke waterpeilen en doorspoeling van het watersysteem.



Figuur 3.6 Ligging van peilgebieden (rode lijnen), hoofdwatergangen (blauwe lijnen) en bemalingsgebieden (zwarte lijnen) in het beheersgebied (Waterschap Hollandse Delta, 2015).



Beschikbaarheid van (zoet) water

Voor waterschap Hollandse Delta zijn het Haringvliet, het Hollands Diep, de Oude Maas en het Spui de belangrijkste bronnen van zoetwater. Het Brielse Meer heeft een bijzondere status. Hier wordt water vanuit het Spui, via de Bernisse heengevoerd, waarmee het Hoogheemraadschap van Delfland, het Havenbedrijf Rotterdam en Evides van water worden voorzien (Hydrologic, 2019). In principe is er vanuit het hoofdwatersysteem altijd voldoende water beschikbaar en het is de verwachting dat dit ook zo blijft bij klimaatverandering. Waterschap Hollandse Delta is een van de weinige waterschappen die door de open verbinding met zee profiteert van de zeespiegelstijging. Ook in droge tijden dalen de rivierstanden in dit gebied hierdoor nauwelijks omdat de waterstand door de (stijgende) zeewaterstand wordt bepaald. Hierdoor kan er langer en meer zoetwater onder vrij verval worden ingelaten. Dit positieve effect verschilt echter per inlaatpunt, de mate van verzilting kan het aanbod van zoetwater op sommige plekken bedreigen (Hydrologic, 2019).

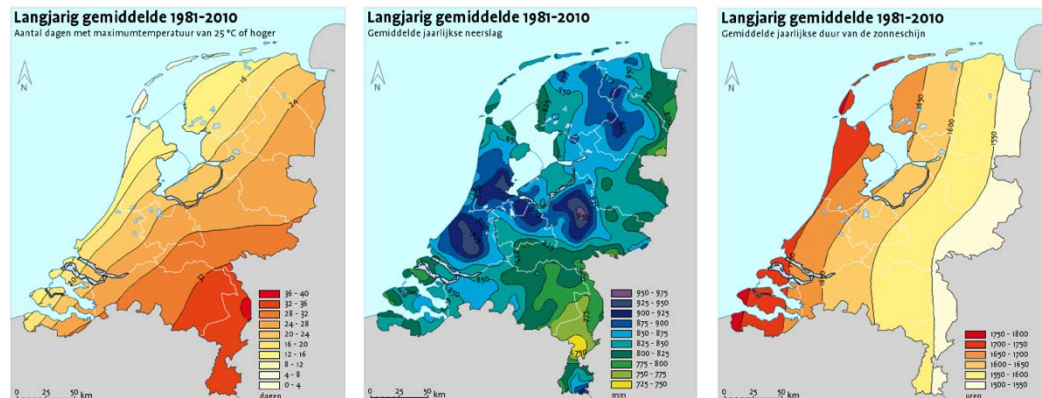


4 Klimaatverandering in de regio van WSHD

Ook binnen een relatief klein gebied als Nederland treden klimatologische verschillen op die van invloed kunnen zijn op de waterkwaliteit. Daarnaast kunnen lokaal verschillen optreden in klimaatverandering. Om goed in te schatten welke klimaateffecten op waterkwaliteit in WSHD-gebied kunnen worden verwacht is het nodig om het lokale klimaat en de verwachte veranderingen hierin te bekijken.

4.1 Regionale verschillen in het klimaat

Door de temperende werking van de Noordzee is de dagelijkse en jaarlijkse fluctuatie in temperatuur in de kuststrook kleiner dan in het binnenland en worden ook wolkenvorming en neerslag beïnvloed. In de kuststrook (tot 30-50 km landinwaarts) valt vooral in de late zomer en herfst meer neerslag, doordat het zeewater dan relatief warm is. In andere perioden wordt wolkenvorming aan de kust juist verhinderd door aanvoer van relatief koele lucht bij aanlandige wind. De jaarlijkse zonneshijnduur is daardoor hoger dan verder landinwaarts (Wolters et al., 2011). De aanwezigheid van grote stedelijke gebieden kan de hoeveelheid neerslag doen toenemen door o.a. warmte, hogere ruwheid en hogere concentraties fijnstof die tot meer condensatiekernen in wolken leiden (Figuur 4.1 midden) (Wolters et al., 2011).



Figuur 4.1 Ruimtelijke patronen in temperatuur, neerslag en zonneshijnduur in Nederland met het aantal zomerse dagen (25 graden of hoger) per jaar (links), de gemiddelde jaarlijkse neerslag (midden) en gemiddelde jaarlijkse zonneshijnduur (rechts) (Klimaatatlas, 2020).

4.2 Regionale verschillen in verandering van het klimaat

De verwachting is dat de grootschalige klimaatpatronen over Nederland in de toekomst grotendeels hetzelfde blijven (Bessembinder et al., 2013) en dat regionale verschillen in verandering van het klimaat binnen Nederland klein zullen zijn. De grootste veranderingen worden verwacht voor de extremen in het WH-scenario. Op de warmste zomerdagen neemt de temperatuur in het zuidoosten van Nederland dan ongeveer 1 °C meer toe dan in het noordwesten (Tank et al., 2015). Voor neerslag zijn enkele aanwijzingen dat dit 5 tot 10% sterker toeneemt in kustgebieden dan in het binnenland. Dit kusteffect hangt echter sterk af van wisselwerkingen tussen luchtstromingspatronen en temperatuur. Het totale

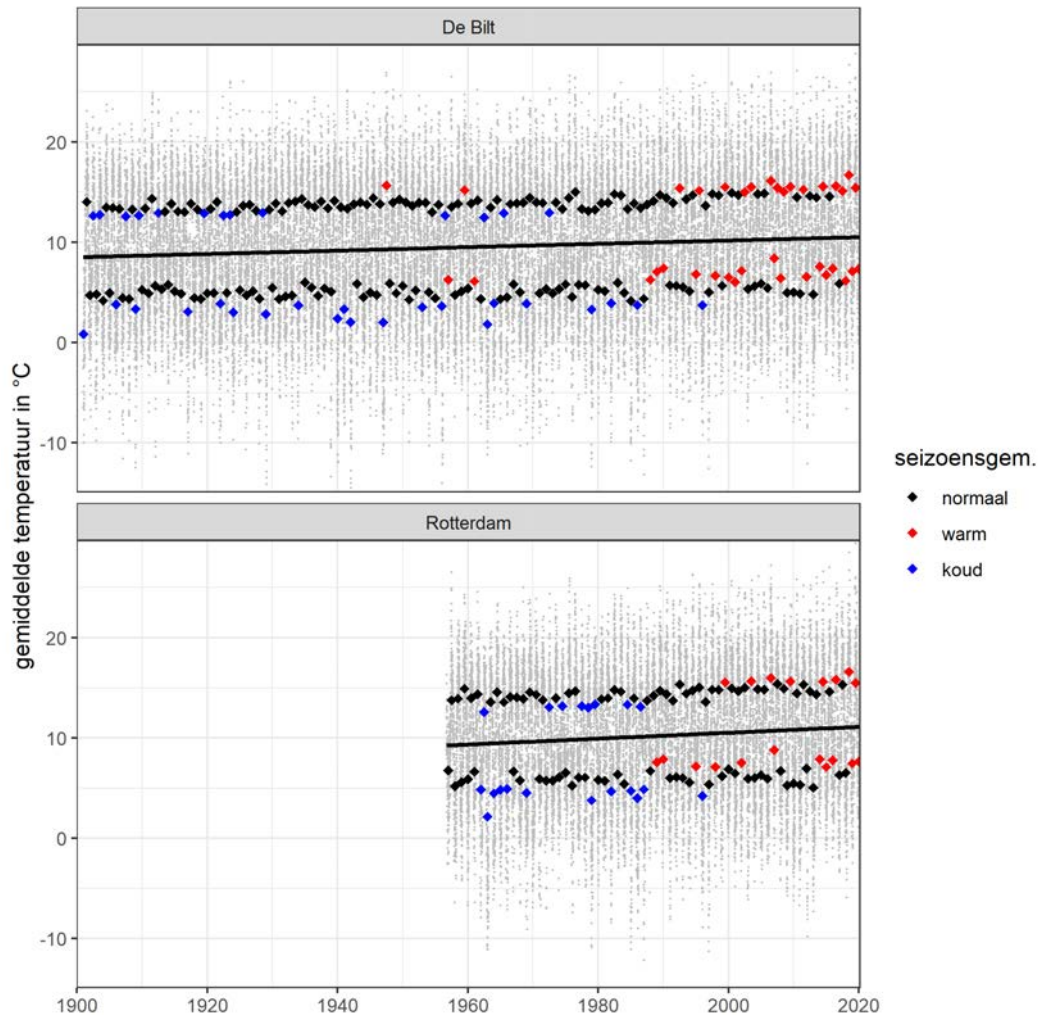


effect is echter zo onzeker dat het niet is meegenomen in de KNMI'14-klimaatscenario's (Tank et al., 2015). Kleine veranderingen in ruimtelijke klimaatpatronen kunnen waarschijnlijk optreden door veranderingen in landgebruik zoals de uitbreiding van steden, waardoor het lokaal nog warmer wordt, en veranderingen in peilbeheer, waardoor landelijke gebieden verdrogen of vernatten (Wolters et al., 2011).

4.3 Klimaattrends in WSHD gebied

Trend in luchttemperatuur

De gemiddelde temperatuur in de Bilt en Rotterdam vertoont een duidelijke en significant stijgende trend. Opvallend is het grote aantal warme zomers en winters in de laatste 20-25 jaar en het totale gebrek aan koude jaren; in 1996 was de winter voor het laatst meer dan een graad kouder dan gemiddeld.

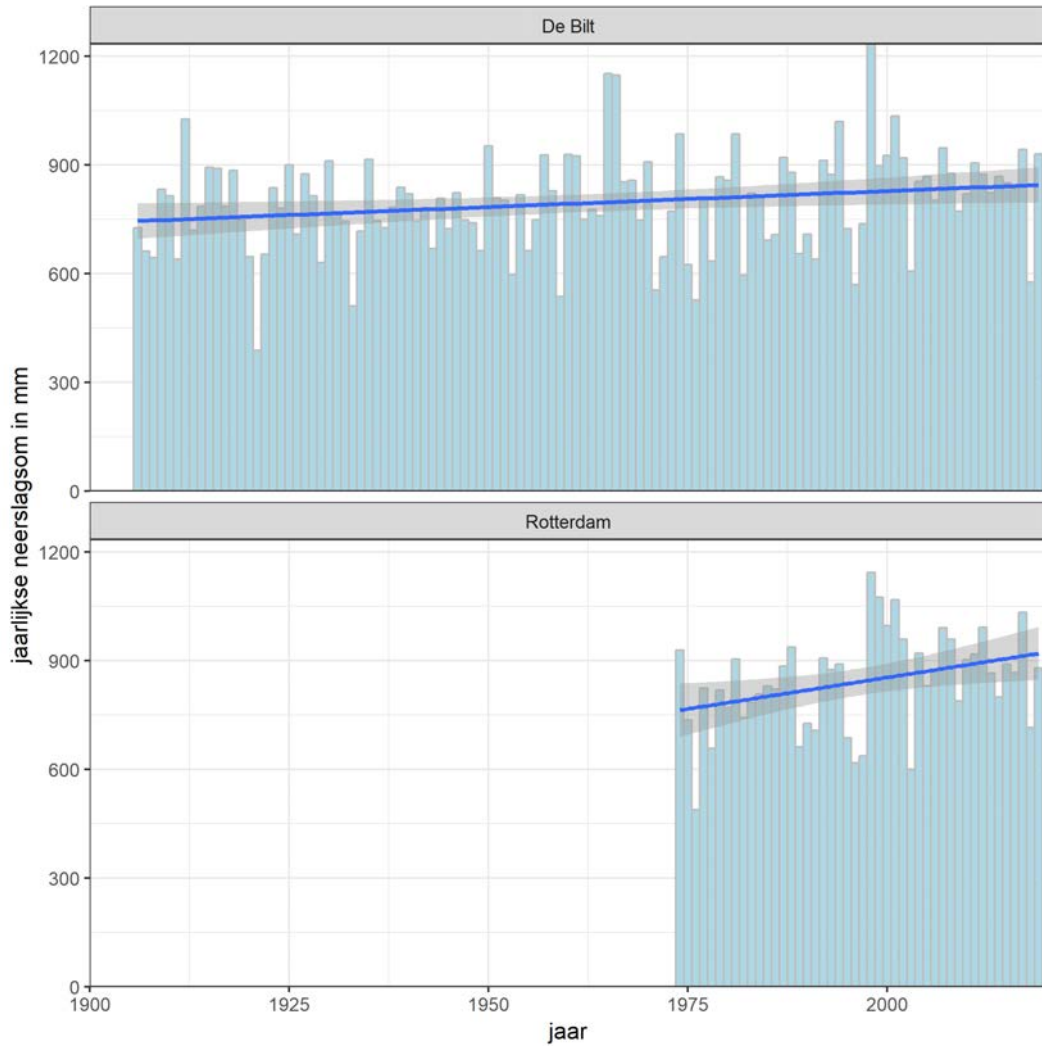


Figuur 4.2 Luchttemperatuur op meetstation De Bilt en Rotterdam. In grijs daggemiddelden met langjarige trend als zwarte lijn. De dikke stippen zijn zomer- (apr-sep) en wintergemiddelden (okt-mrt), waarbij koude zomers/winters blauw en warme zomers/winters rood zijn gekleurd. De grens hiervoor is gekozen op meer dan 1 graad t.o.v. het langjarig seizoensgemiddelde. Een afwijking van 1 graad is ruimschoots significant.



Trends in neerslag

De totale hoeveelheid neerslag neemt inderdaad, conform de voorspelling, toe. De trend in Rotterdam is hierbij aanzienlijk sterker dan de trend in de Bilt, maar het betrouwbaarheidsinterval (grijze band) is ook breder. Dit komt door de kortere reeks, die toevallig begint in een vrij droge periode.



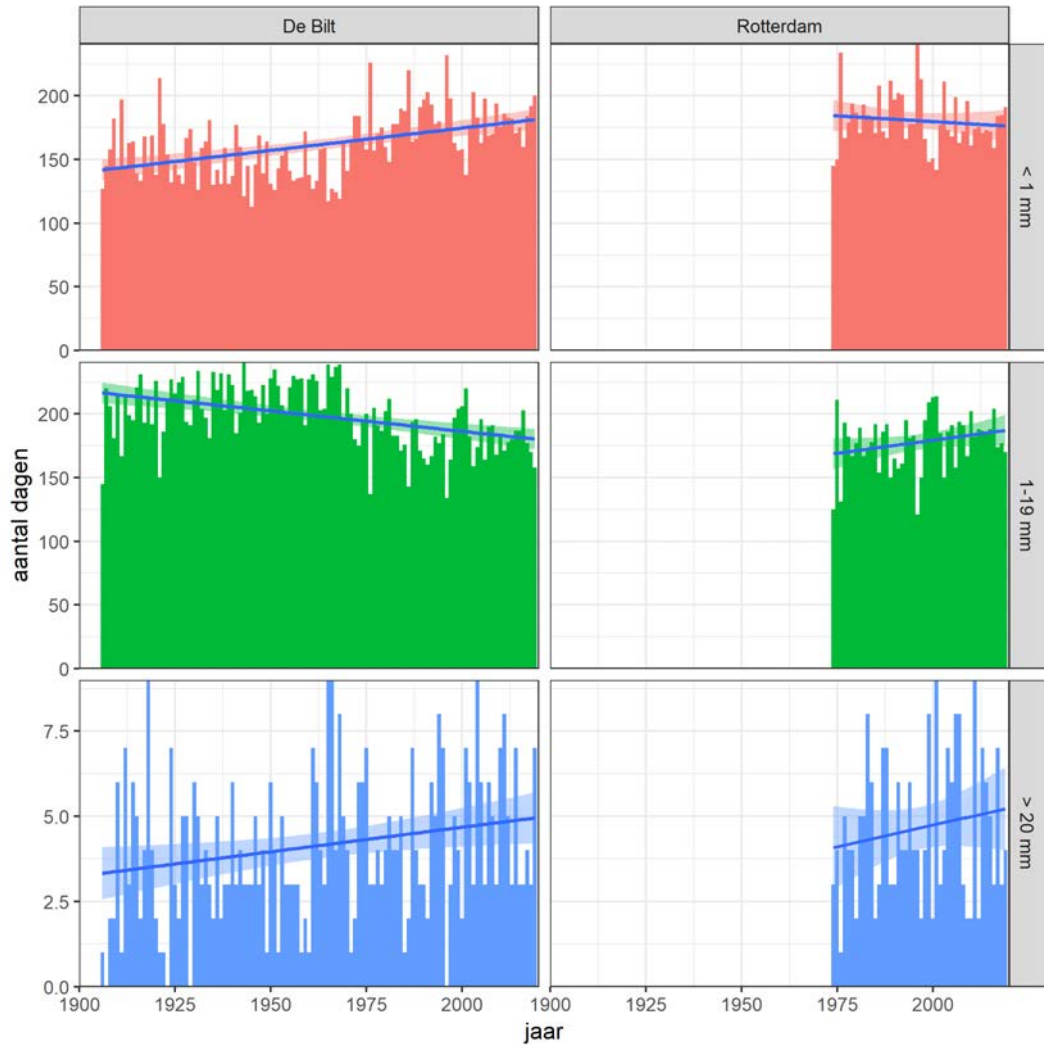
Figuur 4.3 De jaarlijkse neerslagsom op meetstation De Bilt en Rotterdam (vliegveld) en de trend.

Als de totale hoeveelheid neerslag toeneemt, zou je ook verwachten dat het aantal dagen met regen toeneemt. Het tegendeel is het geval, er is juist een toename van het aantal droge dagen (Figuur 4.4). De toename van de neerslag komt dus omdat er op dagen dat het regent, meer neerslag valt. Met name het aantal dagen met stevige neerslag (> 20 mm) neemt toe¹. Dit lijkt een goede indicatie dat het aantal dagen met piekbuien ook toe zal nemen. De toename in piekbuien gaat gepaard met een grotere kans op overstortingen uit

¹ Het KNMI hanteert voor een dag met zware neerslag minimaal 50 mm. Deze hoeveelheid komt echter zo weinig voor, dat trends hiervoor alleen te berekenen zijn met vrij grote aantallen meetstations. Voor een regionale studie is dat niet mogelijk, daarom hebben we ervoor gekozen 20 mm als indicatie te gebruiken.



het riool. Op jaarbasis zal daarom de frequentie van overstorten en de vuilvracht naar het oppervlaktewater toenemen. De trends voor Rotterdam zijn niet betrouwbaar door de korte meetreeks.

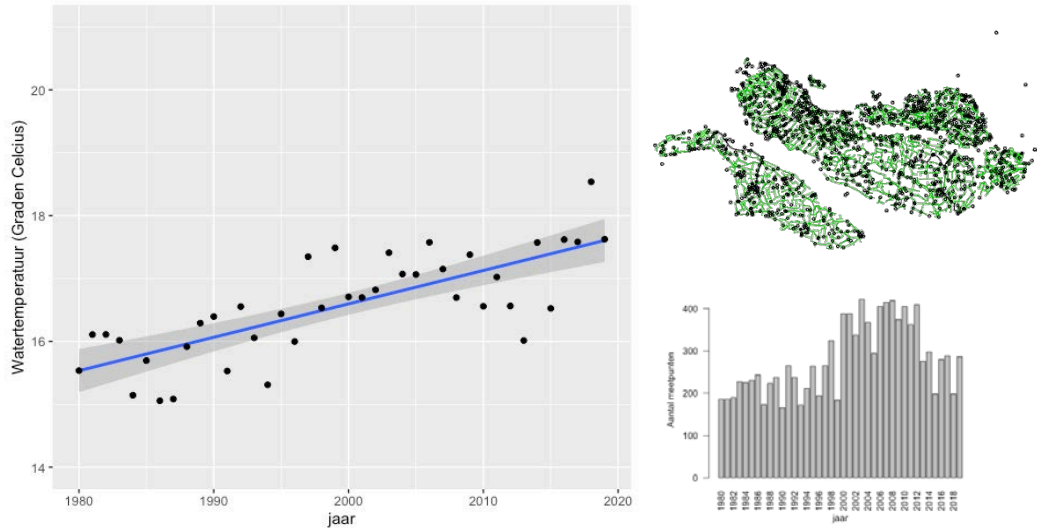


Figuur 4.4 *Het aantal droge dagen (< 1mm neerslag), het aantal regendagen (1-19 mm) en het aantal dagen met hoge neerslagintensiteit (>20 mm) in Rotterdam en De Bilt.*



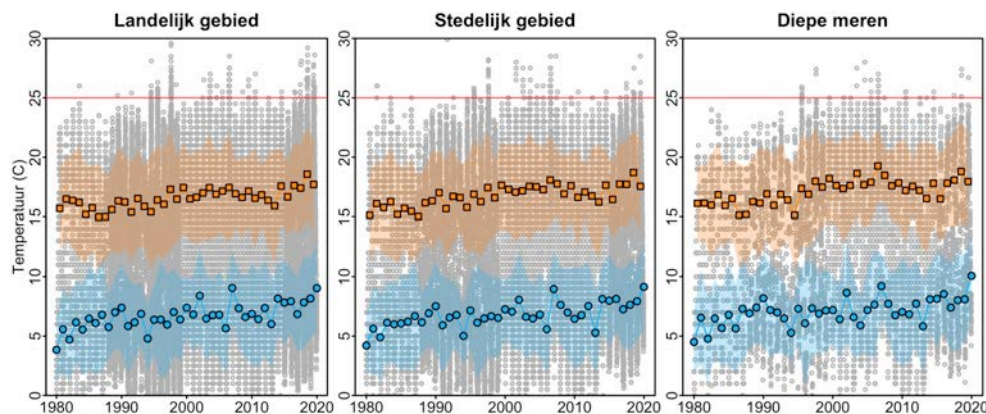
Trend in watertemperatuur

Vanaf 1980 is de watertemperatuur in WSHD-gebied gestegen. Voor het zomergemiddelde is een stijging van ongeveer 2 graden waargenomen, van 15,5 naar 17,6 °C (Figuur 4.5).



Figuur 4.5 Zomergemiddelde watertemperatuur in de afgelopen 40 jaar gebaseerd op alle WSHD-waterkwaliteitsmeetpunten met minimaal 5 metingen in een zomerhalfjaar (figuur links). Rechts staan de ligging van de hiervoor gebruikte meetpunten (boven) ten opzichte van de hoofdwaterlopen en het aantal meetpunten per jaar (onder) weergegeven.

Als de watertemperatuurmetingen uitgesplitst worden in verschillende watertypen, dan valt op dat deze temperatuurstijging per watertype verschilt. In landelijke en stedelijke gebieden is zowel de zomer- als winterwatertemperatuur sinds 1980 geleidelijk toegenomen (Figuur 4.6). Met name in het landelijk gebied is het aantal waarden boven de 25 °C (rode lijn) toegenomen in de afgelopen veertig jaar. In diepe meren lijkt de wintertemperatuur continu te zijn gestegen, maar lijkt de stijging van de zomertemperatuur sinds 2009 te stagneren. De gemiddelde zomer- en wintertemperaturen voor de drie deelgebieden ontlopen elkaar echter nauwelijks.



Figuur 4.6 Watertemperatuur per watertype. De waarden zijn opgesplitst in landelijk en stedelijk gebied, en diepe recreatieplassen (Brielse Meer, Oostvoornse Meer, Binnenmaas en Waal). Gemeten watertemperaturen (grijs), zomergemiddelde (oranje vierkanten) \pm standaarddeviatie (oranje gearceerd), wintergemiddelde (blauwe punten) \pm standaarddeviatie (blauw gearceerd), en maximum toelaatbare temperatuur vanuit de KRW (25 °C, rode lijn).



5 Huidige en verwachte effecten op waterkwaliteit in WSHD-gebied

5.1 Algemeen

De algemene effecten van klimaatverandering op waterkwaliteit kunnen regionaal afgezwakt of versterkt worden of helemaal niet van toepassing zijn afhankelijk van bijvoorbeeld geomorfologie, landgebruik, werking van watersystemen en regionale klimatologische verschillen. Voor het werkgebied van WSHD spelen de volgende aspecten hierin een belangrijke rol:

- ligging aan de kust;
- hoofdzakelijk een polder-boezemsysteem;
- sterke relatie met het omringende buitenwater, doorspoeling via inlaat in zomer;
- aanwezigheid van zeekleibodem;
- intensief agrarisch landgebruik;
- groot stedelijk gebied met hoge recreatiedruk;
- aanwezigheid van zwemwater en naast ondiepe wateren ook enkele grote diepe wateren.

De belangrijkste effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit in WSHD-gebied zijn:

- verzilting;
- versterkte eutrofiëring;
- toename stratificatie;
- toename zuurstofloosheid;
- toename microbiële verontreinigingen;
- toename chemische verontreinigingen;
- directe temperatureffecten op ecologie.

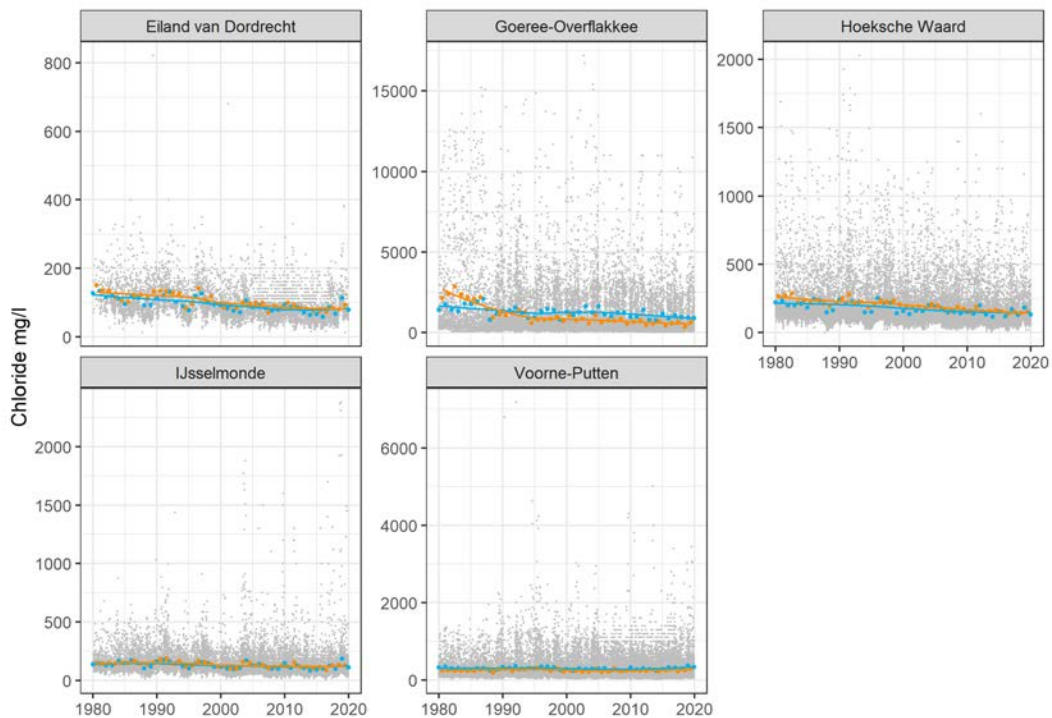
Deze effecten zijn voor het hele beheersgebied relevant maar de mate van relevantie per klimateffect verschilt tussen deelgebieden. De werking en consequenties van deze veranderingen worden hieronder verder toegelicht.



5.2 Verzilting

5.2.1 Werking van verzilting

Voor grote delen van het laagveen- en zeekleilandschap van West- en Noord-Nederland wordt verwacht dat de invloed van brak water op korte termijn zal toenemen als gevolg van landgebruik, waterbeheer en in toenemende mate klimaatverandering (van Dijk et al., 2013). Voor kustregio's treedt verzilting op via verder landinwaarts tredend zeewater (externe verzilting) en via een toename van uittreidend zout grondwater (interne verzilting). Externe verzilting kan met name optreden bij lage rivierafvoeren in combinatie met zeespiegelstijging. Zouttongen dringen dan verder het benedenrivierengebied en aangrenzende poldergebieden in, waarbij het inlaatwater voor poldergebieden kan verbrakken. Een toename van interne verzilting wordt verwacht door een stijgende zeespiegelstijging, maar ook door de bodemdaling (gevolgd door het waterpeil) in het gebied. Verder kan er verbrakking van water optreden als gevolg van een toegenomen verdamping of neerslagtekort. Dit zal in de meeste gebieden echter tenietgedaan worden door aanvoer van zoet water, mits in voldoende mate beschikbaar.



Figuur 5.1 Metingen van de chlorideconcentratie van 1980 tot 2020 in de verschillende deelgebieden. Met kleuren zijn de zomergemiddelde (oranje) en wintergemiddelde (blauw) concentratie aangegeven. De verticale schalen verschillen per grafiek.

In Figuur 5.1 zijn de chloridemetingen in het werkgebied van het waterschap weergegeven. Daarbij is gesplitst naar deelgebied en niet naar functie omdat de deelgebieden sterk verschillen qua zoutinvloed. In alle gebieden is een dalende of gelijkblijvende trend te zien. Dit is vrijwel zeker het gevolg van meer of effectievere doorspoeling met zoet water. Zo lang de zoutwaterbeschikbaarheid groot genoeg is, is er dus geen verziltingseffect te verwachten als gevolg van klimaatverandering. Uit een verkennende studie blijkt dat er wel aandachtspunten zijn, maar dat de zoetwaterbeschikbaarheid van de eilanden tot 2100

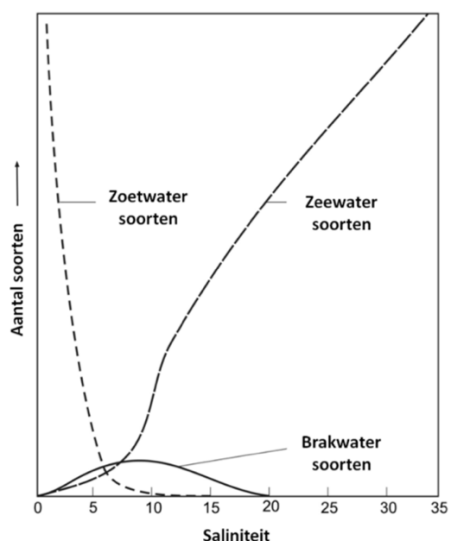


niet in het geding komt (Hydrologic, 2019). Verziltting zal dus niet optreden in de goed doorspoelbare watergangen, waar de meeste metingen worden gedaan. In de kleinere sloten, de zogenaamde haarvaten van het systeem, is doorspoeling veel minder aanwezig. Het is dan ook waarschijnlijk dat in gebieden met brakke kwel, zoals op Goeree-Overflakkee of in het Oude Land van Strijen, lokaal verziltting optreedt in deze haarvaten.

5.2.2 Effecten van verziltting op ecologie

Effecten van verziltting op soortenaantallen

Verziltting kan diverse effecten hebben op de ecologie. Veel zoetwaterafhankelijke organismen zijn in staat tot enige aanpassing aan verhoogde zoutconcentraties in hun milieu. Ze zijn doorgaans echter niet bestand tegen de vaak sterke schommelingen in het zoutgehalte zoals die in brakke milieus voorkomen. Dit is waarschijnlijk een belangrijke verklaring voor de zogenaamde 'kromme van Remane' (Remane and Schlieper, 1971), die een veel lager soortenaantal laat zien in brakke milieus dan in zoete en zoute milieus (Figuur 5.2). Brakke milieus zijn in Nederland vrij zeldzaam geworden. Hoewel de totale biodiversiteit vaak lager is dan in zoetwater-gevoede milieus, komen er wel bijzondere soorten voor (Paulissen et al., 2007; Prins et al., 1994; Steenbergen, 1993).



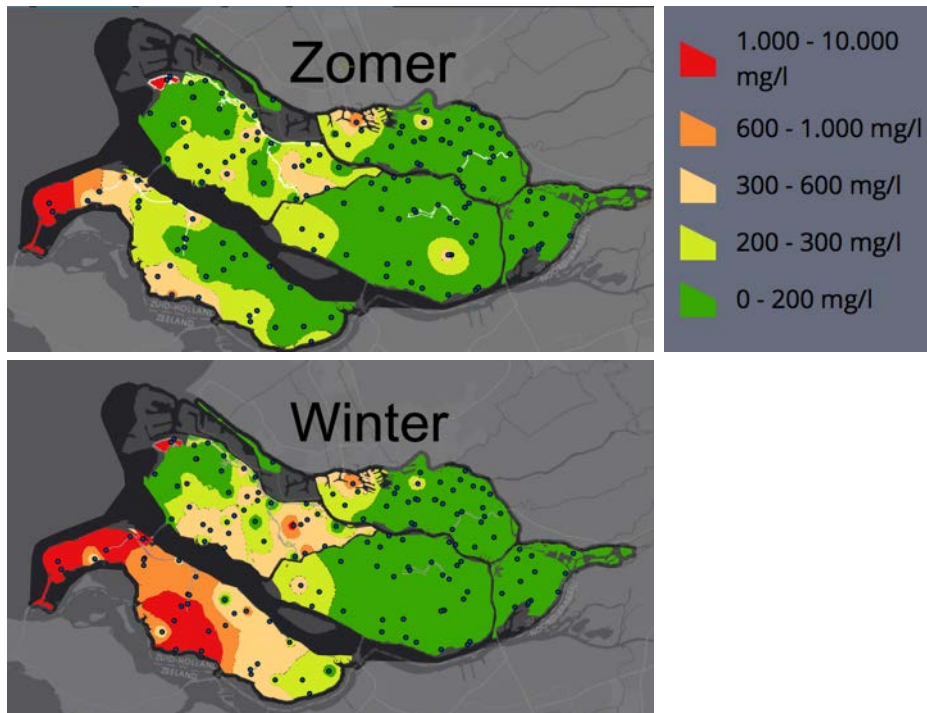
Figuur 5.2 Het aantal soorten (y-as) uitgezet tegen de saliniteit (in PSU) met onder brakke condities de laagste aantallen soorten. Uit: van Dijk et al. (2013).

Aquatische natuurwaarden (KRW, Natuurdoeltypen), regionale watersystemen (sloten, poelen, wielen, plassen) en de diverse natuurdoeltypen grasland zijn gevoelig voor verziltting. Waar een brakke waterkwaliteit wordt nagestreefd werkt deze verziltting het streefdoel in de hand, zoals in het brakke Oostvoornse meer, krekens met een brak karakter op Goeree-Overflakkee en Voorne-Putten en de natuurgebieden het Oudeland van Strijen, polder Biert en Koudenhoek. Voor zoete aquatische ecosystemen kan dit de ecologische kwaliteit echter negatief beïnvloeden en zou een meer brakwater streefdoel beter passen afhankelijk van de mate van verziltting.

Een belangrijk knelpunt voor de aquatische ecologie (voor zowel zoete als brakke wateren) is dat er forse fluctuaties optreden in het zoutgehalte, van dag tot dag omdat de verblijftijd



van het water in de polders fluctueert terwijl er wel een constante zoute kwel aanwezig is, maar ook seizoensmatig, met een tegennatuurlijk brakkere situatie in de winter en zoetere situatie in de zomer vanwege doorspoeling met ingelaten zoet water in de zomer. Dit speelt met name op grote delen van Goeree-Overflakkee en Voorne-Putten met wisselende chloride-concentraties tussen 200 en 1000 mg/l (Figuur 5.3). In dergelijke wateren kunnen weinig organismen overleven en de praktijk is dat waterplanten veelal ontbreken en algen domineren (de Vries et al., 2009). Hoge chloride gehalten worden 's winters vooral bereikt als geen neerslagwater toestroomt en 's zomers als er niet wordt doorgespoeld. In een aantal deelgebieden zijn deze fluctuaties zeer nadelig voor de ecologie. Door intensivering van neerslagpieken en frequentere en langere perioden van droogte worden (seizoens-)fluctuaties in het zoutgehalte in brakke wateren sterker. Aangezien de extreme chlorideconcentraties in hoge mate bepalen welke soorten in een water voorkomen schuift de levensgemeenschap op naar een soortenarmere gemeenschap met alleen soorten die zich aan veel verschillende zoutconcentraties kunnen aanpassen (euryhaline soorten).



Figuur 5.3 Ruimtelijk beeld van chloride concentraties in het oppervlaktewater van WSHD voor het zomer- en winterhalfjaar. De punten geven meetlocaties weer (bron: Waterschap Hollandse Delta (2018)). De duinen op Goeree worden ten onrechte als sterk brak aangegeven, omdat in de duinen geen meetpunten liggen.



Effecten van verzilting per soortgroep

De gevoeligheid van verzilting en fluctuaties in zoutgehaltes verschilt per taxon (James et al., 2003).

Aquatische vegetatie

In de KRW-maatlatten wordt 300 mg chloride per liter gehanteerd als de grens tussen zoete en brakke wateren. Boven deze concentratie komen alleen zouttolerante soorten als schedefonteinkruid, ruppia's en bepaalde soorten kranswieren voor. Voor een goed functionerend zoetwater-ecosysteem worden normen van 200 mg/L of zelfs 150 mg/L gehanteerd. Een kleine toename van verzilting kan dus zorgen voor een sterke verschuiving in de vegetatiesamenstelling. In sommige literatuur worden hogere waarden genoemd als tolerantiegrenzen (Goodman et al., 2010; James et al., 2003). Vaak betreft dit echter directe lethale effecten op planten, en niet de ecologische range waarin ze voorkomen. Voor NATURA-2000 doelsoorten en doeltypen geldt ook dat de optimale chloride-concentratie in het zeer zoete bereik ligt, met name voor plantensoorten (Paulissen *et al.* 2007). De belangrijkste terrestrische natuurdoeltypen in WSHD-gebied zijn duinnatuur en diverse typen graslanden (bloemrijk, schraal, vochtig etc.).

Vis

Ook voor vissen geldt dat het zoutgehalte bepalend is voor de karakterisering van soortgroepen. De visgilden van de KRW kennen naast een indeling in hoofdgroepen, waarbij zoetwatervissen zijn onderscheiden van zoutminnende estuarien residenten en mariene soorten, een indeling in chloridetolerantie (Kranenbarg & de Jager 2008; Vander Molen en Pot 2017; 2019). Chloridetolerant in de groepen Z1-MBRAK en Z2- LBRAK zijn de meest tolerante soorten, die respectievelijk nog zijn aangetroffen bij chloridegehalten tot circa 8 en 4 gCl/l, zijn soorten als driedoornige en tiendoornige stekelbaars, blankvoorn, pos en snoekbaars. Voor de overige zoetwatervissen geldt dat zij slecht in staat zijn om te gaan met een toename van de zoutconcentratie. De chloriderange van de visfauna is in vergelijking met die van o.a. planten en ongewervelden vrij breed (Paulissen et al., 2007). Dit geldt zowel voor chloridetolerante zoetwatervissen, estuarien residenten, als migrerende vissoorten. Sterke wisselingen zijn voor veel vissoorten problematisch.

Macrofauna

Het zoutgehalte van het water is één van de belangrijkste sleutelfactoren voor aquatische ongewervelden. In sloten en meren werd een sterk verband gevonden tussen een afname van de soortenrijkdom en een stijging van het chloridegehalte (Pinder et al., 2005; Verdonschot et al., 2012). Voor het merendeel van de macro-invertebraten noemt James *et al.* (2003) een zouttolerantielimit van 2‰ (ca. 1100 mg/l). Negatieve effecten op groei, ontwikkeling, reproductiecapaciteit en gedrag worden meestal al opgemerkt bij een chloridegehalte van ongeveer 550 mg/l (omgerekend van saliniteit) (Hart et al., 1991). Runhaar (2006) stelt dat vanaf 300 mg/l het aantal zoetwater macro-invertebraten langzaam afneemt en dat bij chlorideconcentraties boven de 1000 mg/l het aantal zoetwater invertebraten sterk afneemt. In het tussentraject kunnen zich een groot aantal brakwater tolerante soorten handhaven, in het bijzonder insectensoorten zoals vedermuggen, waterwantsen en kevers. Het aantal soorten kreeftachtigen neemt toe bij een stijgende chlorideconcentratie (Krebs et al., 1995). Kokerjuffers, haften en steenvliegen zijn groepen waarvan veel soorten erg gevoelig zijn voor hoge chlorideconcentraties (Veraart et al., 2013).



Algen en cyanobacteriën

Over het algemeen zijn microalgen die thuishoren in zoete wateren, gevoelig tot zeer gevoelig voor veranderingen in het zoutgehalte en wordt hun ontwikkeling geremd door verhoogde zoutgehalten (Mond. Med. Bijkerk, 2020). Er is in Nederland vaak sprake van redelijk stabiele situaties, waarin het zoutgehalte door menselijke invloeden (zoutlozingen, inlaat van Rijnwater) of zoute kwel, permanent verhoogd is. In wateren met verhoogde zoutgehalten worden soorten aangetroffen die daar relatief goed tegen bestand zijn. Vaak worden in brakke wateren cyanobacteriën en chlorofyten (groenalgen) gevonden en bij hoge zoutconcentraties meer dinoflagellaten en diatomeeën (Redden and Rukminasari, 2008). Ook exoten kunnen zich sterk ontwikkelen in brakke wateren.

In Nederland is in het kader van het blauwalgenprobleem in het Volkerak-Zoommeer o.a. gekeken naar verzilting als maatregel om blauwalgenbloei te bestrijden (Veraart et al., 2013). De soorten die in het Volkerak-Zoommeer voorkomen zijn redelijk bestand tegen brak water en omdat hier al sprake is van verhoogde zoutgehalten zal je de meest gevoelige blauwalgen in dit meer niet aantreffen. Blauwalgen zullen verdwijnen als het chloridegehalte hoger is dan 8.000 tot 10.000 mg/l (Verspagen et al., 2005). Dergelijke gehalten liggen echter ver boven de algemeen voorkomende chloridegehalten binnen WSHD-gebied.

Bij een chloridegehalte boven circa 1.000-1.500 mg/l maken grotere watervlooiën (*Daphnia*-soorten) plaats voor kleinere zoöplanktonsoorten (Jeppesen et al., 1994; Moss, 1994; Scheffer, 1998). Aangezien de kleinere soorten het fytoplankton minder efficiënt begrazen kan verzilting via het verschuiven van de zoöplanktonsamenvoering tot vertroebeling leiden. De top-down-controle van algen neemt immers af. Bij een stijging van het zoutgehalte moet je in veel gevallen ook rekening houden met een toename van het fosfaatgehalte en het sulfaatgehalte, dat resulteert in een toename van de biomassa aan fytoplankton (Mond. med. Bijkerk, 2020).

Exotische macrofaunasoorten

In brak water komt een relatief groot aantal exotische macrofaunasoorten voor. Verklaringen daarvoor zijn het lage soortenaantal in brakke wateren (waardoor de uitheemse soorten gemakkelijker een niche vinden), de ligging van zeehavens in brak water en het brakke ballastwater waarin sommige van de soorten meegevoerd worden (Wolff, 1999). Het effect van uitheemse invasieve soorten levert een mogelijk risico voor het ontwikkelen van karakteristieke brakwatergemeenschappen. Opmerkelijk is het grote aantal kreeftachtigen (kreeften, vlokreeften, garnalen en waterpissebedden) en tweekleppigen die zich in Nederland hebben kunnen vestigen. Brakke wateren hebben van nature een groot aandeel geleedpotigen, omdat er in deze groep veel soorten zijn die zich aan brakke omstandigheden aan kunnen passen (Lodge, 1991).

5.2.3 Overige effecten van verzilting

Effecten van verzilting op nutriëntenbeschikbaarheid

Verbrakking kan de nutriëntenbeschikbaarheid zowel verminderen als versterken. Enerzijds kan verbrakking zorgen voor een verminderde afbraak van organische stof en voor het neerslaan van fosfor met door verbrakking vrijgekomen calcium en ijzer. Aan de andere kant zijn brakwatersystemen rijk aan zwavel (S) wat in de vorm van sulfide (S^{2-}) fosfaat van ijzer verdringen, waardoor fosfaat beschikbaar komt voor algenbloei. De netto effecten op korte versus langere termijn zijn nog niet goed bekend (van Dijk et al., 2013). Ook ammonium (NH_4^+) kan door verbrakking van het adsorptiecomplex in de bodem



verdrongen worden, waardoor het beschikbaar komt. Naast eutrofiering kan toxiciteit optreden. Zowel sulfide als ammonium en ammonia (NH₃) zijn bij relatief lage concentraties al toxisch voor veel planten en dieren. Toegenomen nutriëntenconcentraties verhogen de kans op een troebele toestand van meren.

Effecten van verzilting op broeikasgasuitstoot

Tijdens verbrakking van zoet water ecosystemen is vaak een tijdelijke daling van de microbiologische activiteit en afbraaksnelheid zichtbaar. Dit leidt tot een daling in CO₂- en CH₄-emissies (Baldwin et al., 2006; Loeb et al., 2008). Door de tragere afbraak van organische stof komen er minder voedingsstoffen vrij in het water en wordt er minder bagger geproduceerd, wat een positief effect kan hebben op de vegetatie (Brouwer et al., 2007). Ook anaerobe afbraak kan worden geremd door chloride (Baldwin et al., 2006; Brouwer et al., 2007), mogelijk door zouttoxiciteit bij methaanproducerende archaea-bacteriën (Baldwin et al., 2006). Het is echter nog onduidelijk of deze remming blijvend is. Als micro-organismen zich hebben aangepast aan de brakke omstandigheden zou de afbraak uiteindelijk weer even snel kunnen gaan als in zoete systemen.

Effecten van verzilting op microbiële verontreinigingen

Over het effect van verzilting op microbiële verontreiniging is weinig bekend. *Vibrio* soorten komen vooral voor in brak of zout water voor, waaronder *Vibrio cholerae* die met name in brak water voorkomt (van Dokkum and Visser, 1998). Een mogelijk effect van verzilting kan een toename van *Vibrio*-soorten zijn. Bij mensen kan *Vibrio cholerae* gezondheidsklachten geven zoals diarree, huidandoeningen en oorontsteking. Bij (jong) vee zijn diarree en acute sterfte bekend (van Dokkum and Visser, 1998). In WSHD-gebied zijn in 2019 daadwerkelijk klachten geweest over *Vibrio* spp. in het Oostvoornse Meer dat aan het verbrakken is (m.m. Fred Kuipers).

5.2.4 Samenvatting verwachte effecten van verzilting bij WSHD

Klimaatverandering zal in het algemeen leiden tot een toenemende invloed van brak en zout water en een afname van het beschikbare zoet water. De zoetwaterbeschikbaarheid komt bij WSHD echter niet in het geding komen, dus grootschalige verzilting wordt niet verwacht. Wel kan in gebieden met brakke kwel lokaal verzilting optreden in de haarvaten van het systeem die niet worden doorgespoeld. Dit speelt met name op grote delen van Goeree-Overflakkee en Voorne-Putten. Door sterke fluctuaties in chloride-concentraties neemt de soortenrijkdom af omdat enkel zouttolerante soorten overblijven. Met name waterplanten, algen en macrofauna als kokerjuffers en steenvliegen hebben last van verzilting. Verzilting brengt daarnaast het risico van invasieve exotische (brakwater)soorten (met name kreeftachtigen) met zich mee. Ook nutriënten worden beïnvloed door verzilting: zout (kwel)water bevat hoge zwavelconcentraties, waardoor fosfor uit de bodem kan loskomen. Anderzijds kan fosfor ook neerslaan met calcium en ijzer uit zout water. Wel zijn er aanwijzingen dat bij verbrakking minder methaan wordt geproduceerd in zuurstofarme oppervlaktewateren. Het effect van verzilting op microbiële verontreinigingen is grotendeels onbekend: mogelijk kan de overlast van *Vibrio*-soorten toenemen.



5.3 Versterkte eutrofiëring

5.3.1 Werking van versterkte eutrofiering

Klimaatverandering leidt naar alle waarschijnlijkheid tot een hogere interne en externe fosfor- en stikstofbelasting van watersystemen (Kosten, 2011). De hogere interne belasting wordt vooral veroorzaakt door de versnelde mineralisatie als gevolg van opwarming van de waterkolom en, met name in ondiepe systemen, het sediment. Hierbij komen fosfor en stikstof vrij. Daarnaast kan door afname van de zuurstofconcentratie fosfor dat aan ijzer gebonden is vrijkomen. De hogere externe belasting wordt voornamelijk veroorzaakt door veranderingen in het neerslagregime en de hiermee samenhangende hoeveelheden runoff, inlaat en uitlaat. Naast een hogere belasting worden eutrofiëringseffecten vaak versterkt door hogere temperaturen.

Hogere interne belasting

Zeeleibodems bevatten relatief veel fosfaat. De mariene geschiedenis (afzetting van silt en klei) heeft voor een verhoogde voedselrijkdom van de bodem gezorgd. Daarnaast draagt intensieve landbouw en bemesting bij aan hoge stikstof- en fosfaatgehalten in de bodem. Hoewel zeeleibodems een hoge bindingscapaciteit hebben voor fosfaat zijn deze in het zeeleigebied vaak verzadigd waardoor ze (langdurig) fosfaat kunnen naleveren naar de waterlaag. De voedselrijkdom van wateren in zeeleigebied is daardoor over het algemeen hoog. Ook voor wateren op zeeleibodems wordt verwacht dat klimaatverandering leidt tot een hogere interne belasting, waarschijnlijk niet zozeer door toegenomen afbraakprocessen, maar meer vanwege veranderingen in adsorptie (binding) en desorptie (nalevering) (van Dijk et al., 2013). Vooral de toename in verbraking (met hogere sulfaatgehalten) kan zorgen voor een verminderde fosfaatbinding van de bodem wat de interne belasting als gevolg van klimaatverandering versterkt.

Hogere externe belasting

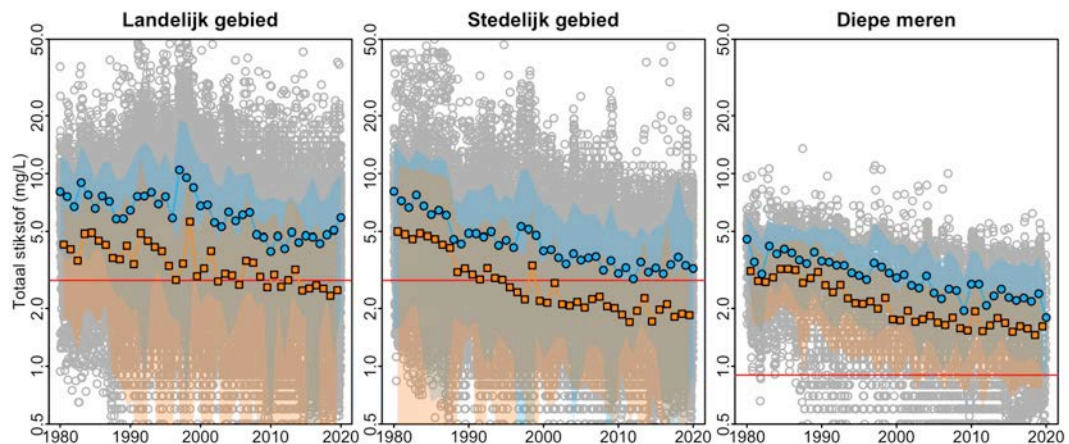
Door de verwachte toename in intense buien en neerslagtoename in de winter zal de fosforvrucht vanuit landbouwgrond, de grootste binnenlandse bron van fosfor naar het oppervlaktewater (Schoumans et al., 2008), door ondergrondse afstroming en runoff toenemen. Daarnaast is de fosforconcentratie in het veelal brakke kwelwater in West-Nederland hoog (Rozemeijer et al., 2005), wat voor een extra fosforbron zorgt. Als de zomerse droogte wordt gecompenseerd door extra inlaatwater kan dit ook voor een extra fosforbelasting zorgen (bij slechte waterkwaliteit van het inlaatwater), of juist voor een verdunning (bij een betere waterkwaliteit). Voor waterschap Hollandse Delta geldt vooral het laatste. Eventuele veranderingen in gewaskeuze, het moment van oogsten en het moment van bemesting kan de af- en uitspoeling zowel positief als negatief beïnvloeden (Howden et al., 2007). Het verminderen van het gebruik van meststoffen wordt daarom aangeraden om waterkwaliteitsproblemen in de toekomst te verminderen. In het stedelijk gebied zullen riooloverstortingen op het open water door toename van neerslagpieken vaker voorkomen. De mate waarin dit toeneemt hangt sterk af van de mate waarin deze systemen in de nabije toekomst worden aangepast, maar een landelijke quickscan duidt op een emissietoename van veertig procent (Procencus, 2006).



Nutriëntenbelasting in het beheersgebied

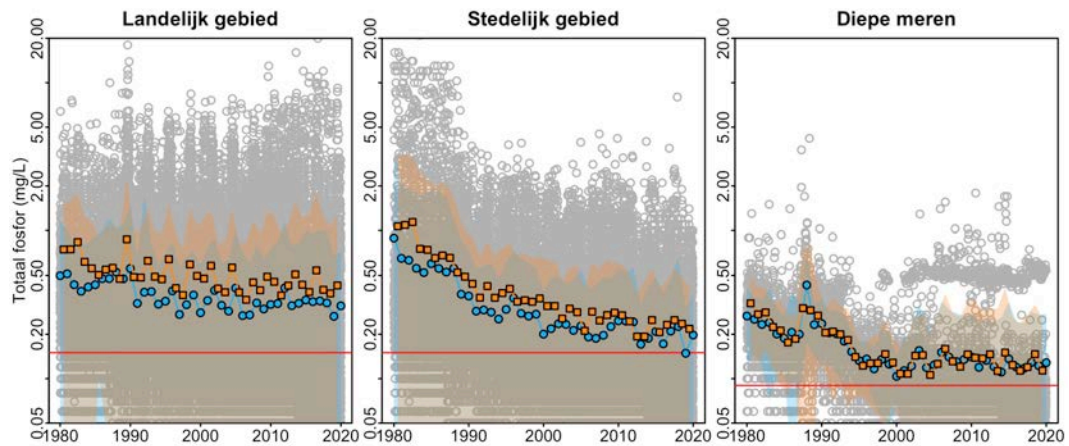
De totaalconcentratie stikstof is in de afgelopen veertig jaar afgenomen in het beheersgebied van WSHD. Deze afname was sterker in het stedelijk gebied dan in het landelijk gebied (Figuur 5.4). Zowel in het stedelijk als in het landelijk gebied valt de gemiddelde zomerconcentratie (oranje vierkanten) sinds 2000 onder de KRW-richtlijn voor kanalen (rode lijn, 2,8 mg/L). Hoewel in stedelijk gebied het totaal stikstof verder afneemt, stagneerde in het landelijk gebied de daling sinds 2000. In beide watertypen zijn echter veel hoge waarden gemeten, maar de extremen nemen geleidelijk af (grijze punten). In de diepe recreatieplassen (Oostvoornse Meer, Brielse Meer, Binnenmaas en Waal) is de totaalconcentratie stikstof beduidend lager dan in het landelijk en stedelijk gebied. Ook hier is een significante daling waarneembaar. Stikstofconcentraties zijn in heel Nederland sinds 1975 gedaald (CBS et al., 2016). Het aanleggen en verbeteren van rioolwaterzuiveringsinstallaties in de stroomgebieden van de Rijn, Maas, Schelde en Eems heeft gezorgd voor verlagings van stikstofconcentraties.

Opvallend is dat de gemiddelde winterconcentratie totaal stikstof consequent hoger ligt dan de zomerconcentratie. Dit heeft twee mogelijke oorzaken; enerzijds is afspoeling vanuit het omliggende land hoger in de winter, door hogere regenval en lagere biologische activiteit op land. Daarnaast gaan processen als nitrificatie (omzetting van organisch stikstof naar nitraat) en denitrificatie (omzetting van nitraat naar stikstofgas) langzamer bij lage temperaturen. In de grote diepe recreatieplassen is het verschil tussen de zomer- en winterwaarden kleiner dan in landelijk en stedelijk gebied. Mogelijk spelen afspoeling en (de)nitrificatie hier een minder grote rol.



Figuur 5.4 Gemeten totaal stikstofconcentratie in het beheersgebied van WSHD, uitgesplitst in landelijk gebied, stedelijk gebied en diepe recreatieplassen. Gemeten waarden (grijs), wintergemiddelde (blauwe punten) \pm sd (blauw gearceerd), zomergemiddelde (oranje vierkanten) \pm sd (oranje gearceerd) en zomergrenswaarde voor goede ecologische toestand in kanalen (landelijk/stedelijk, 2,8 mg/L) en meren (diepe meren, 0,9 mg/L). Let op, de y-as is log-getransformeerd.

Ook de totaalconcentratie fosfor is in het beheersgebied van WSHD afgenomen. Deze afname was het sterkst in het stedelijk gebied (Figuur 5.5). In het landelijk gebied is de afname sinds 2000 gestabiliseerd, een vergelijkbare trend als waarneembaar voor totaal stikstof. Zowel in het landelijk als in het stedelijk gebied voldoet het zomergemiddelde totaal fosfor niet aan de grenswaarde voor goede ecologische kwaliteit van kanalen (0,15 mg/L). In het landelijk gebied lijken de hoogste waarden na een dip tussen 1990 en 2000 zelfs weer hoger te worden (grijze punten).



Figuur 5.5 Gemeten totaal fosforconcentratie in het beheersgebied van WSHD, uitgesplitst in landelijk gebied, stedelijk gebied en diepe recreatieplassen. Gemeten waarden (grijs), wintergemiddelde (blauwe punten) \pm sd (blauw gearceerd), zomergemiddelde (oranje vierkanten) \pm sd (oranje gearceerd) en zomergrenswaarde voor goede ecologische toestand in kanalen (landelijk/stedelijk/zwemwater, 0,15 mg/L) en meren (0,09 mg/L). Let op, de y-as is log-getransformeerd.

In de diepe recreatieplassen was de fosforconcentratie in 1980 lager dan in het landelijk en stedelijk gebied, en is de concentratie verder afgenomen. Sinds 2000 is ook hier de afnemende trend gestagneerd. Deze stagnatie is het gevolg van een wolk van vrij hoge metingen (Figuur 5.5), gedaan in het Oostvoornse Meer. Hier is de concentratie fosfor sinds 1980 extreem hoog ($\sim 0,5$ mg/L). Dit kan verklaard worden door zoute fosforrijke kwel vanuit de Voordelta, het verbrakken van het meer sinds 2008 door middel van gepompt water vanuit de Maasvlakte, en nalevering vanuit de bodem.

In het beheersgebied van WSHD lijkt dus nog geen sprake van een hogere belasting als gevolg van klimaatverandering, omdat door een verbeterde Rijnwaterkwaliteit de belasting gemiddeld juist is afgenomen. Wel is er in het landelijk gebied een stagnatie van deze afname zichtbaar, mogelijk door een toename van afspoeling.

5.3.2 Gevolgen versterkte eutrofiering

Algemeen

Door versterkte eutrofiering wordt de kans groter dat plassen en meren zich in een troebele toestand bevinden. Er kan sprake zijn van een toename van algen, van - soms toxische - drijflagen van cyanobacteriën ('blauwalgen') of drijvende planten zoals kroos, maar ook van verlies van ondergedoken waterplanten, zuurstofloosheid en veranderingen in de visgemeenschap (Kosten, 2011). Over het algemeen kan een afname in soortenaantal verwacht worden bij toegenomen eutrofiering. In hoeverre deze effecten daadwerkelijk tot uiting zullen komen in het beheersgebied van Hollandse Delta zal onder andere afhangen van de mate van doorspoeling van een watersysteem. Bij voldoende doorspoeling wordt de massale groei van fytoplankton of drijfplanten zoals kroos tegengegaan (maar van wortelende planten niet). Daarnaast zijn veel meren in het zeekele gebied al eu- tot hypertroof, onder andere door de nalevering van fosfaat vanuit de bodem. In zulke omstandigheden komen vaak soortenarme planktongemeenschappen en een soortenarme maar hoogproductieve visfauna voor (Scheffer et al., 1993) en worden vaak



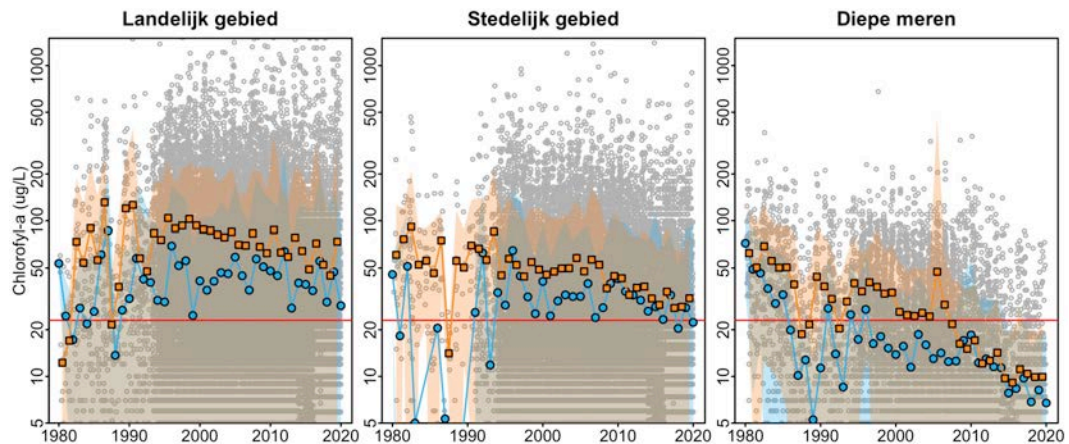
zelfs alle trofische niveaus maar door enkele soorten gedomineerd (Portielje et al., 2004). In hoeverre een extra verhoging van de nutriënten beschikbaarheid onder deze condities nog gevolgen heeft op de ecologie is niet bekend.

Puntsgewijs worden de volgende effecten verwacht als gevolg van versterkte eutrofiering, grotendeels afkomstig uit Kosten (2011):

- versnelde omslag van een ondergedoken- waterplantengedomineerd systeem naar een fytoplanktongedomineerd systeem;
- hogere fytoplanktonbiomassa's;
- meer problemen met cyanobacteriën omdat de biomassa ervan toeneemt door hoge nutriëntenconcentraties en hoge temperaturen;
- afname fyto bentos bij vertroebeling van stilstaand water;
- mogelijk massale groei drijvende waterplanten en groen overwinterende waterplanten. Intensiever beheer nodig en zuurstofproblemen onder dichte krooslagen in weinig doorgespoelde systemen;
- verandering soortensamenstelling macrofauna bij afname ondergedoken waterplanten (structuur en beschutting);
- vissterfte doordat zuurstofdips in stilstaande eutrofe wateren in combinatie met hogere temperaturen vaker voorkomen;
- aannemelijke verschuiving van baarsachtigen naar karperachtigen. Toename bodemwoelende vissoorten samenhangend met troebele toestand van meren en plassen;
- mogelijke stimulatie van exoten. Exotische fytoplanktonsoorten of drijvende waterplanten zoals waterwaaier (*Cabomba caroliniana*) of grote waternavel (*Hydrocotyle ranunculoides*).

Fytoplankton-gedomineerd systeem

Bij een fytoplankton-gedomineerd systeem nemen de chlorofyl-a concentraties in het water toe. In het beheersgebied van WSHD is de chlorofylconcentratie echter licht afgenomen (Figuur 5.6). Voor 1995 zijn weinig metingen beschikbaar, na 1995 is er in landelijk en stedelijk gebied en in meren een duidelijke afname waarneembaar, die correleert met de afname in nutriëntenbelasting. Daarbij zijn de verschillen tussen zomer en winter afgenomen, waarschijnlijk als direct gevolg van hogere wintertemperaturen. In de diepe recreatieplassen is er sprake van een sterk dalende trend, waarbij sinds 2010 het verschil tussen zomer- en wintergemiddelde chlorofylconcentraties minimaal is.

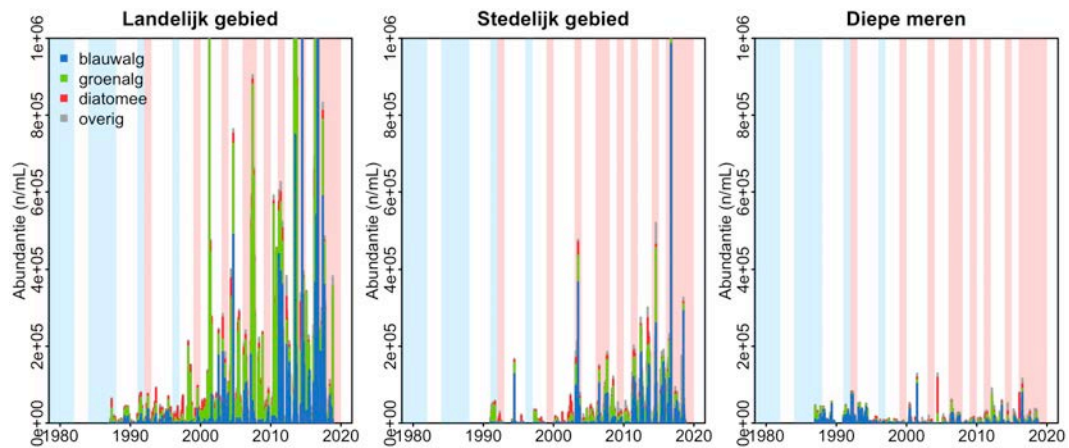


Figuur 5.6 Gemeten chlorofyl-a concentraties in het beheersgebied van WSHD, uitgesplitst in landelijk gebied, stedelijk gebied en diepe recreatieplassen. Gemeten waarden (grijs), wintergemiddelde (blauwe punten) \pm sd (blauw gearceerd), zomergemiddelde (oranje vierkanten) \pm sd (oranje gearceerd) en zomergrenswaarde voor goede ecologische toestand in kanalen en meren (23 mg/L). Let op, de y-as is log-getransformeerd.

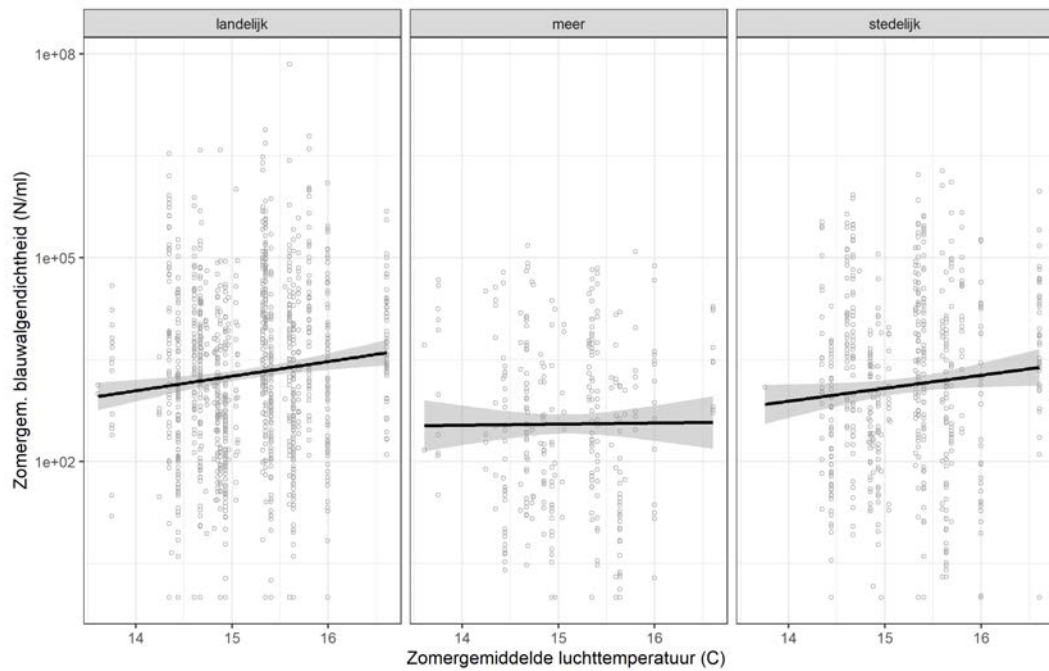
Toename blauwalgen

Een groep die veel in verband wordt gebracht met klimaatverandering, en daarom hier apart wordt uitgelicht, is die van de cyanobacteriën (blauwalgen) (Paerl and Huisman, 2009). Zo hebben diverse cyanobacteriën competitieve voordelen bij klimaatverandering. Cyanobacteriën groeien bij hogere temperaturen beter dan veel soorten groenalgen of diatomeeën (Jöhnk et al., 2008). Ze kunnen zich bovenin de waterkolom positioneren bij een toenemende stratificatie terwijl andere fytoplanktonsoorten uitzakken naar het sediment (Lüring and van Dam, 2009). Onder condities waarin licht limiterend is (nutriëntrijke, troebele toestanden), groeien bepaalde cyanobacteriën juist goed, zoals *Planktothrix agardhii*. Naast competitieve voordelen neemt de biomassa van blauwalgen (net als bij groenalgen) toe bij hogere nutriëntenconcentraties. Dit zorgt voor meer blauwalgproblemen bij hogere nutriëntenbeschikbaarheid (Lüring and van Dam, 2009; O'Neil et al., 2012). Jöhnk et al. (2008) lieten zien dat de gecombineerde effecten van een temperatuurverhoging van 1,9 °C (zoals in het geval van een extreme zomer in 2003) tot 385% meer blauwalgen leidde in de Nieuwe Meer, ten opzichte van een gemiddelde zomer.

Omdat de toename van blauwalgen één van de meest genoemde effecten van klimaatverandering is, is nader bekeken of deze trend al aanwezig is in het beheersgebied van het waterschap. In de metingen (Figuur 5.7) is een duidelijke toenemende trend te zien in zowel het stedelijk als het landelijk gebied, maar niet in de (diepe) meren. Deze trend wordt niet veroorzaakt door een toename van nutriënten, want die zijn afgenomen of gelijk gebleven. In deze grafiek lijkt ook een sterke koppeling te zijn tussen pieken in algen, met name blauwalgen, en de warme jaren. Daarom is de zomergemiddelde luchttemperatuur uitgezet tegen de zomergemiddelde dichtheid aan blauwalgen op elk meetpunt (Figuur 5.8). Hoewel de spreiding groot is door de zeer verschillende aard van de meetpunten, blijkt uit deze figuur duidelijk dat blauwalgen in warme jaren inderdaad meer voorkomen in het werkgebied van Waterschap Hollandse Delta.



Figuur 5.7 Gemiddelde samenstelling van de fytoplanktongemeenschap. De kleuren op de achtergrond geven relatief koude (blauw) en warme (rood) zomers aan (zie Figuur 4.2 voor toelichting hierop).



Figuur 5.8 De zomergemiddelde (apr t/m sep) blauwalgendichtheid per meetpunt uitgezet tegen de zomergemiddelde luchttemperatuur.

Benthische blauwalgen

In het beheersgebied van WSHD treden ook steeds vaker ontwikkeling van benthische blauwalgen op. In tegenstelling tot planktonische blauwalgen ontwikkelen benthische blauwalgenmatten zich in gebieden met een brede range aan nutriëntenconcentraties, inclusief nutriënt-arme omstandigheden. Benthische blauwalgen vormen matten op de bodem en hebben daarom baat bij helder water. Deze matten kunnen nalevering van fosfaat bevorderen doordat ze zuurstofloosheid veroorzaken. De benthische blauwalgen kunnen zo een eigen optimaal microhabitat creëren, waarbij ze zelf stikstof en koolstof fixeren en fosfaat uit de bodem opnemen. Matten kunnen gaan drijven doordat zuurstofbelletjes die ontstaan door fotosynthese vast komen te zitten in de kleverige



matten, waardoor ze een positief drijfvermogen krijgen. Matten kunnen zowel toxine-produceerders als niet-giftige cyanobacteriën bevatten (Quiblier et al., 2013).

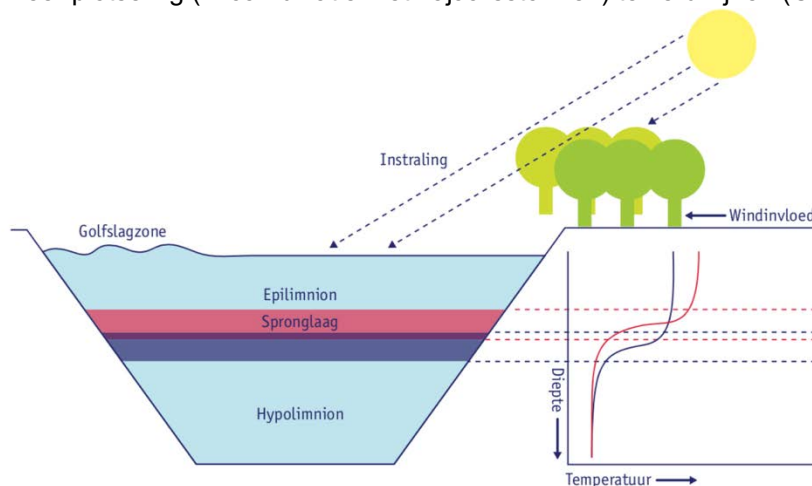
Het is op dit moment nog onduidelijk of er door klimaatverandering meer benthische blauwalgen voor zullen komen in het beheersgebied van WSHD. Hogere temperaturen, sterkere stratificatie en helder worden van de waterkolom kunnen het ontwikkelen van deze matten bevorderen (Wood et al., 2020) en er is zowel op Europees niveau als wereldwijd aandacht voor de behoefte aan meer kennis over opkomende problemen gerelateerd aan deze soortgroep (Burford et al., 2019; Wood et al., 2020). In het beheersgebied van WSHD is in het Oostvoornse Meer onderzoek gedaan naar het ontstaan van blauwalgenmatten (Didderen et al., 2016). Hieruit kwam naar voren dat, naast nutriënten, de toename van benthische blauwalgenmatten waarschijnlijk een gevolg was van de toegenomen predatie door zwartbekgrondels op epifytongrazers.

5.4 Toename stratificatie

5.4.1 Werking van toename in stratificatie

Stratificatie in diepe wateren

Wanneer het water in diepe meren onder invloed van zonne-energie opwarmt ontstaat temperatuurstratificatie, waarbij het warme oppervlaktewater (het epilimnion) niet meer mengt met het koudere, zwaardere en diepere water (hypolimnion). De twee lagen worden gescheiden door een zogenoemde spronglaag (thermocline). Stratificatie is in Nederland seizoensgebonden. Het treedt meestal in april voor het eerst in het seizoen op, is dan wisselend aan- of afwezig om in de zomer te stabiliseren en in de nazomer-herfst geleidelijk of meer plotseling (in combinatie met najaarsstormen) te verdwijnen (Oste et al., 2010).



Figuur 5.9 Schematische weergave van de klimaatinvloed op de stratificatie van een klein diep meer. In donkerblauw de referentiesituatie en in rood de situatie tijdens warme zomers (Kosten, 2011).

Klimaatverandering kan door de hogere luchttemperatuur de vorming en stabiliteit van de spronglaag beïnvloeden. Mogelijk dat hierdoor de spronglaag vroeger in het seizoen zal ontstaan, hoger zal liggen en stabiel zal zijn (Kosten, 2011). Een warm voorjaar leidt daarnaast tot een eerdere start van de stratificatieperiode en in warme zomers kan de



stratificatie langer aanhouden. De totale periode van stratificatie kan hierdoor met wel vijftig dagen toenemen. Stabiele temperatuurstratificatie kan in kleine plassen (enkele hectares) al vanaf een diepte van vier tot zes meter ontstaan (Kosten, 2011).

Stratificatie in (zeer) ondiepe wateren

Ook in ondiepere wateren kunnen hogere temperaturen in combinatie met weinig wind leiden tot sterkere stratificatie. De stratificatie in warme ondiepe wateren is het meest stabiel wanneer het water troebel is. Dit heeft te maken met de relatief sterke warmteabsorptie in de bovenste waterlaag in troebel water. Zelfs in Nederlandse sloten van maar twintig centimeter diep, stratificeert de waterkolom tijdens warme zomerdagen. Het temperatuurverschil tussen de bodem en het wateroppervlak kan hierbij wel oplopen tot tien graden Celsius. Als 's avonds de bovenste laag afkoelt mengt de waterkolom zich vervolgens weer. Dit wordt ook wel micro-stratificatie genoemd. Voor waterschap Hollandse Delta wordt micro-stratificatie in slootssystemen alleen verwacht in gebieden die weinig doorspoeling kennen in de zomer.

5.4.2 Gevolgen toegenomen stratificatie

Gestratificeerde wateren zijn relatief kwetsbaar voor het optreden van zuurstofloosheid: door afbraakprocessen in het sediment neemt de zuurstofconcentratie in het hypolimnion af, terwijl aanvulling door atmosferisch zuurstof wordt (Kosten, 2011). Klimaatverandering kan deze situatie verergeren, doordat in diepe meren de stratificatieperiode langer wordt en het epilimnion dunner zal worden. De zuurstofarme zone kan hierdoor tot ondieper in het meer voorkomen waar meer organismen erdoor gehinderd worden dan in de diepere delen. Zo is voor vissen een zuurstofarm of zelfs zuurstofloos milieu ongeschikt als leefgebied (Oste et al., 2010). Onder invloed van klimaatverandering zal ook de frequentie van stratificatie in ondiepe systemen toenemen. Terwijl in diepe systemen de temperatuur bij het sediment als gevolg van klimaatverandering niet of nauwelijks toe zal nemen, gebeurt dit naar verwachting in ondiepe systemen wel. Dit zal in ondiepe systemen leiden tot een grotere afbraaksnelheid van organisch materiaal. Wanneer er veel organisch materiaal in het sediment aanwezig is, wat veelal het geval is in eutrofe systemen, kan dit leiden tot zuurstofloosheid nabij het sediment en een versterkte nalevering van fosfor naar de waterlaag.

Stratificatie heeft een sterke invloed op de ontwikkeling van fytoplankton in diepe wateren. Veel fytoplanktonsoorten zakken tijdens de stratificatie uit naar het hypolimnion en ten slotte naar het sediment. Cyanobacteriën die hun drijfvermogen kunnen reguleren, zoals *Microcystis sp.*, kunnen zich echter door hun gasblaasjes in het epilimnion handhaven (Lüring and van Dam, 2009) en aan het wateroppervlak dikke drijflagen vormen. Deze drijflagen beschaduwen dan onderliggende, niet-drijvende fytoplanktonsoorten welke daardoor lichtgelimiteerd raken. Zo werkt stratificatie met name in het voordeel van cyanobacteriën die hun drijfvermogen kunnen reguleren. Een eerder optredende en langer aanhoudende stratificatie als gevolg van klimaatverandering stimuleert naar verwachting ook het eerder optreden en langer aanhouden van drijflagen van blauwalgen.

Naast het bezinken van fytoplankton vindt ook netto bezinking van overig zwevend materiaal plaats in diepe gestratificeerde plassen. Hierdoor is het water relatief helder. Door de afwezigheid van menging tijdens temperatuurstratificatie heeft deze bezinking uiteindelijk ook een netto transport van nutriënten naar de diepte tot gevolg. Hierdoor kan



het epilimnion in de loop van de zomer voedselarm worden, waardoor de fysisch-chemische waterkwaliteit verbetert.

5.5 Toename zuurstofloosheid

5.5.1 Werking van toename in zuurstofloosheid

Hogere watertemperaturen leiden tot grotere dag-nachtfluctuaties in zuurstofconcentraties. Door de hogere temperaturen neemt tevens de kans op zuurstofloosheid toe. Dit komt enerzijds doordat de oplosbaarheid van zuurstof afneemt als het water opwarmt, en anderzijds doordat het metabolisme van alle in de bodem en het water levende organismen toeneemt, zodat er een grote zuurstofvraag ontstaat voor met name afbraak van organisch materiaal in de bodem. De primaire productie en zuurstofproductie overdag neemt toe, maar het zuurstofgebruik (overdag en 's nachts) neemt over het algemeen nog sterker toe dan de productie (Robarts et al., 2005), waardoor de zuurstofconcentratie in het water daalt. Ook voor vis is bijvoorbeeld bekend dat deze bij hogere temperaturen meer zuurstof nodig hebben. De opwarming van het sediment in ondiepe systemen stimuleert de afbraak van organisch materiaal wat zuurstofloosheid nabij het sediment kan veroorzaken en voor versterkte nalevering van fosfor naar de waterlaag kan zorgen. In diepe wateren kan de toegenomen stratificatie voor een toename in zuurstofloosheid zorgen (langere periode en tot ondieper voorkomen). Net als bij stratificatie speelt het een belangrijke rol hoeveel verversing/ doorspoeling van het water optreedt. Met name in wateren waar weinig doorspoeling plaatsvindt en die sterk eutroof zijn wordt een toename van zuurstofloosheid verwacht. Daarnaast is het stedelijk gebied een aandachtsgebied voor zuurstofloosheid enerzijds vanwege de sterkere temperatuuroptename dan in landelijk gebied en anderzijds vanwege een verwachte toename in organische belasting door riooloverstorten waardoor de zuurstofvraag plaatselijk sterk kan toenemen.

5.5.2 Gevolgen van toename in zuurstofloosheid:

- zuurstofloosheid bij de bodem in ondiepe systemen kan eutrofiering versterken, door versterkte nalevering van fosfaat naar de waterlaag;
- vis is gevoelig voor zuurstofloosheid en er zal vaker vissterfte optreden. De crux is dat bij hogere temperaturen niet alleen de zuurstofconcentraties dalen, maar dat vissen bij hogere temperaturen ook nog eens meer zuurstof nodig hebben. Een toename van de vissterfte bij hoge temperaturen komt dan ook meestal door een plotseling en acuut zuurstoftekort en niet door directe temperatuurgerelateerde stress (Jeppesen et al., 2010);
- voor macrofauna kan een verschuiving optreden in de soortensamenstelling naar zuurstoftolerante soorten (tolerant voor zuurstofarme condities).



5.6 Toename microbiële verontreinigingen

5.6.1 Werking en gevolgen van een toename in microbiële verontreinigingen

Algemeen

Als gevolg van klimaatverandering worden zowel toe- als afnamen verwacht van diverse microbiële verontreinigingen. Ziekteverwekkers die zich in recreatiewater kunnen vermeerderen nemen waarschijnlijk toe, zoals *Vibrio* (veroorzaakt oorontsteking en wondinfecties), *Pseudomonas aeruginosa* (oorontsteking) en *Trichobilharzia* (zwemmersjeuk) (van der Aa, 2009; de Roda Husman and Schets, 2010). Daardoor treden mogelijk meer ziektegevallen op. UV- en temperatuurgevoelige pathogenen nemen mogelijk af, zoals *Campylobacter*, norovirussen en *Cryptosporidium*, die gastro-enteritisklachten geven (van der Aa, 2009). De concentratie *E. coli* kan daarnaast door hogere temperaturen afnemen (Vermeulen and Hofstra, 2014), maar door toename overstorten (bij hevige regenbuien) juist toenemen doordat er dan meer van in het water terecht komt.

Fecale verontreinigingen

Als gevolg van een toename in intense regenbuien en daardoor overstorten wordt een toename van fecale verontreinigingen verwacht, met name relevant voor het stedelijk gebied. In landelijk gebied zou eerder mest van het land kunnen afspoelen bij intense regenbuien wat daar ook voor een toename van fecale verontreinigingen in het oppervlaktewater kan zorgen. In zwemwateren vormen zwemmers daarnaast zelf ook een bron van (fecale) verontreiniging. Met een verwachte toegenomen recreatiedruk in warmere zomers neemt ook deze bron in omvang toe.

Blauwalgen

Zoals beschreven in eerdere paragrafen (§5.3.2) wordt een toename in het voorkomen dan drijfslagen van blauwalgen verwacht door onder andere toegenomen stratificatie en toegenomen nutriëntenbeschikbaarheid. Verversing van het water is hierbij heel belangrijk. De huidige kennis laat zien dat bij een verblijftijd korter dan circa dertig dagen er minder kans is op explosieve groei van blauwalgen (Verspagen et al., 2005). Wel is het mogelijk dat ook het inlaatwater met blauwalg verontreinigd is in droge zomers. Zo is in de zomer van 2018 ook blauwalgenbloei ontstaan in het Haringvliet en Hollandse Diep (van de Ven, 2019). Naast de huidige plaagalg verhoogt een gemiddeld hogere watertemperatuur ook de kans op vestiging en bloei van exotische blauwalgvarianten (van Nieuwkerk et al., 2010).

Botulisme

Botulisme verspreidt zich vooral via besmette kadavers. Gezonde watervogels nemen weefseldeeltjes en vliegenlarven (maden) op van de kadavers en worden hierdoor ziek. Gunstige condities voor optreden botulisme zijn hoge temperaturen en aanwezigheid van organisch afval (van lozingen of in sediment). De bacteriën vermenigvuldigen zich snel bij gunstige omstandigheden als vuil, warm en ondiep stilstaand water (Loeve et al., 2006).



5.6.2 Verschillen in microbiële verontreinigingen tussen klimaatscenario's

van der Wal et al. (2012) maakten een overzicht van de risico's op infectie door verschillende micro-organismen bij vier verschillende deltasenario's (Tabel 5.1 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). De KNMI'14 scenario's komen hier gedeeltelijk in terug, met name de temperatuurafhankelijke toename van in recreatiewater vermeerderende micro-organismen komt duidelijk terug in de scenario's met snelle klimaatverandering ('Stoom' en 'Warm'), maar ook de toegenomen recreatiedruk speelt een rol voor een hoger infectierisico (bij scenario 'Vol').

Tabel 5.1 *Het effect van vier deltasenario's op het risico van infectie door verschillende micro-organismen. - betekent een afname van het risico, + een toename van het risico (uit Van der Wal et al. 2012).*

Organisme	Ziekte	Deltascenario			
		Stoom	Warm	Rust	Vol
Fecale herkomst					
<i>E. coli</i>		-/+	-	-	+
<i>Intestinale enterococcon</i>		0/+	-	-	+
Natuurlijke herkomst					
Cyanobacteriën		++	+	--	-
<i>Trichobiharzia</i>	Zwemmersjeuk	+	0	-	+
<i>Leptospira</i>	Ziekte van Weil	+	0	-	+
<i>C. botulinium</i>	Botulisme	0	0	0	0
<i>N. fowleri</i>	Hersenvliesontsteking	0	0	0	0
<i>Acanthamoeba</i>	Hersenvliesontsteking	0	0	0	0
<i>Vibrio</i>	Oor- en wondinfecties	++	+	-	+
<i>P. aeroginosa</i>	Oorinfectie	+++	++	-	+
<i>L. pneumophila</i>	Legionellose	+++	++	-	+
NTM	Longontsteking	+++	++	-	+

5.7 Toename overige chemische verontreinigingen

Vanwege een toename in (extreme) neerslag neemt de oppervlakkige afspoeling waarschijnlijk toe. Daarnaast kan een warmer klimaat en de toegenomen neerslag voor meer slijtage en erosie zorgen, samen leidend tot een toename in diverse chemische verontreinigingen. Voorbeelden hiervan zijn:

- een toename in verwerking van gebouwen, banden en asfalt (Brimblecombe and Grossi, 2007; van Nieuwkerk et al., 2010) in combinatie met een toename van afspoeling leidt tot meer PAKs, PCBs en metalen vooral in stedelijk gebied (Jartun et al., 2008; Keliang et al., 2007);
- een toename in de afspoeling van bestrijdingsmiddelen, in stedelijk gebied vanuit plantsoenen en tuinen (Claessens and Dirven, 2010) en in landelijk gebied van gewasbeschermingsmiddelen (Veraart and Reidsma, 2011). Vooral op Goeree (bollenteelt met intensief gebruik gewasbeschermingsmiddelen) wordt hiervan een sterk effect verwacht.



Belangrijk hierbij te vermelden is dat het gebruik van verontreinigende stoffen naar verwachting in de toekomst sterk zal afnemen als gevolg van scherpere beleidsmaatregelen. Bovenstaande effecten beschrijven vooral het effect op de afspoeling en de kans dat verontreinigingen in het oppervlaktewater terecht komen. Het gaat niet in op het gebruik van deze stoffen.

5.8 Overige directe temperatureffecten

De veranderingen in temperatuur als gevolg van klimaatverandering sturen diverse processen zoals zeespiegelstijging en verzilting, of een versterkte eutrofiering wat vervolgens doorwerkt in de (ecologische) waterkwaliteit. Er zijn echter ook directe effecten van temperatuursverandering op de waterkwaliteit en ecologie. Het stedelijk gebied verdient hierbij extra aandacht omdat de temperatuurstijging daar nog extremer zal zijn dan in het landelijk gebied. Hieronder volgt een opsomming van de werking en gevolgen van directe temperatureffecten op waterkwaliteit en ecologie:

- hogere temperaturen zorgen voor een langer groeiseizoen van fytoplankton. Er wordt een hogere fytoplanktonbiomassa in voor- en najaar verwacht;
- sommige soorten cyanobacteriën groeien beter bij hogere temperaturen dan veel soorten groenalgen of diatomeeën, waardoor ze een competitief voordeel hebben (Jöhnk et al., 2008);
- toename dominantie drijvende planten door zachtere winters (met minder ijs) (in kleinere wateren);
- een langer groeiseizoen vergt een grotere inspanning bij het schonen van met waterplanten begroeide watergangen;
- koud stenotherme vissoorten (waaronder winde) kunnen verdwijnen of achteruitgaan;
- langere periode kleine vissen aanwezig (die prederen op zoöplankton) door langere paaitijd;
- hogere abundantie van exoten (vaak door zachtere winters);
- toename aantal exoten door opschuiven van areaal. Meeste exoten in Nederland echter door menselijke introductie en niet door areaalverschuiving.



6 Belangrijkste risico's en oplossingsrichtingen

Kort samengevat worden de volgende effecten of risico's verwacht voor de waterkwaliteit in WSHD gebied als gevolg van klimaatverandering (hoofdstuk 5):

- hogere concentraties diverse stoffen (N, P, chloride)
- afname aantal soorten door eutrofiëring
- afname aantal soorten door verzilting
- toename troebele toestand door eutrofiëring en temperatuur
- productievere vegetatie in sloten (waaronder kroos)
- toename (blauw)algenbloei door eutrofiëring en temperatuur effecten
- toename overige microbiële verontreinigingen
- toename overige verontreinigingen
- meer vissterfte in zomer door hogere temperatuur en meer zuurstofloosheid

De mate van relevantie van deze effecten verschilt tussen deelgebieden van het beheersgebied van WSHD. Tabel 6.1 biedt hier een overzicht van. Toelichting van de indeling in mate van relevantie is terug te vinden in de paragraaf per deelgebied hieronder.

Tabel 6.1 *Overzicht van de relevantie van verwachte klimaateffecten op de waterkwaliteit voor verschillende deelgebieden bij WSHD. '0' = nauwelijks relevantie, '+' = relevant, '++' = hoge relevantie, '+++' = zeer hoge relevantie, '?' = onbekend*

Verwacht effect op waterkwaliteit	Landelijk	Stedelijk	Zwemwateren	Diepe wateren
Hogere concentraties diverse stoffen (N, P, chloride)	++	++	+	0
Afname aantal soorten door eutrofiëring	++	++	0/+	0
Afname aantal soorten door verzilting	++	++	+	?
Toename troebele toestand door eutrofiëring en temperatuur	0/+	+?	+	0
Productievere vegetatie in sloten (waaronder kroos)	+++	++	0	0
Toename blauwalgenbloei door eutrofiëring en temperatuur effecten	++	++	++	++
Toename overige microbiële verontreinigingen	++	++	++	+
Toename chemische verontreinigingen	++	+++	+	+
Hogere kans op vissterfte in zomer door stijging temperatuur en zuurstofloosheid	+++	+++	++	0



6.1 Landelijk gebied

In het landelijk gebied worden voornamelijk hogere nutriëntenconcentraties en daaraan gerelateerde effecten verwacht. Deze verhoogde concentraties worden verwacht als gevolg van uitspoeling van meststoffen door toename van piekbuien en treden dus zowel diffuus op als rondom overstorten. In de bestaande data van WSHD is dit nog niet waarneembaar, omdat er in de laatste veertig jaar een afname van de nutriëntenconcentratie in het Rijnwater heeft plaatsgevonden. Verhoogde nutriëntenconcentraties kunnen leiden tot verhoogde algenbloei en ontwikkeling van blauwalgen. Hierdoor wordt het water troebeler, en kan bij plotseling afsterven van algenbiomassa zuurstofloosheid ontstaan.

De wateren in het landelijk gebied bestaan uit kanalen en sloten. In ondiepe kanalen en sloten kunnen hogere voedselrijkdom en hogere temperaturen zorgen voor verhoogde plantengroei, daarnaast kunnen zich drijfslagen van kroos vormen. Maaien en direct afvoeren van het maaisel in en langs sloten kan deze plantengroei terugdringen, en nutriënten uit het systeem onttrekken, maar een hogere maaifrequentie heeft een negatief effect op ecologie en brengt kosten met zich mee. Vaker baggeren kan de nutriëntenbelasting in kanalen en sloten naar beneden brengen, maar kan dezelfde negatieve bij-effecten hebben als vaker maaien.

Belangrijker is het om goed in kaart te hebben welke locaties mogelijk verslechteren. Zo is in het landelijk gebied van Goeree-Overflakkee het risico op verzilting groot, en in doodlopende stilstaande sloten het risico op kroos- en algenbloei.

Maatregelen die in het landelijk gebied genomen kunnen worden zijn baggeren, extra maaien, meer spoelen, nutriëntenbelasting verlagen, en het goed in kaart brengen van mogelijk problematische locaties.

- **Baggeren** kan de nutriëntenbelasting verminderen, waardoor er minder kans is op het ontwikkelen van (blauw)algenbloei. Het baggeren van wateren die veel N₂O en CH₄ uitstoten kan zorgen voor het verminderen van deze uitstoot, mits het gebaggerde slib dun over het land wordt verspreid (STOWA, 2020). Hierdoor zal het organisch materiaal omgezet worden in voornamelijk CO₂, wat een minder sterk broeikasgas is dan methaan. Als nadeel heeft baggeren dat het de kans op zoute kwelindringing verhoogt.
- **Maaien** van teveel aan plantengroei en het maaisel direct afvoeren kan de doorstroom van een waterweg verbeteren, maar vaker dan eens per jaar maaien heeft negatieve effecten op de ecologie. Momenteel is er echter in grote delen van het beheersgebied slechts een beperkte plantengroei aanwezig.
- Beter is het om de **nutriëntenbelasting te verlagen**. Denk hierbij aan het verder inzetten op verbeteren van nutriëntenverwijdering bij rwzi's, met name die op water in het beheersgebied van WSHD lozen, en vermindering van gebruik van meststoffen in de landbouw. Ook verminderen van afspoeling en het beter bufferen van water kan helpen.



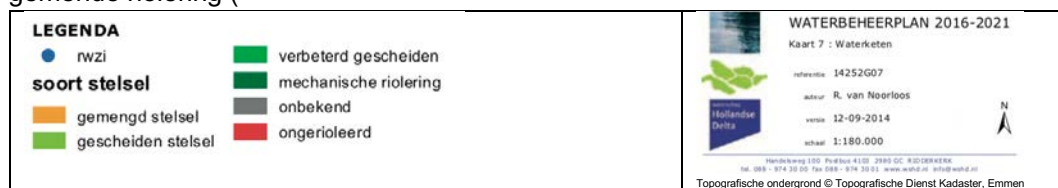
- **Doorspoelen** wordt al veelvuldig ingezet om onder andere blauwalgenbloei te verdunnen, maar heeft als nadeel dat het de flux¹ van nutriënten verhoogt, waardoor op langere termijn meer problemen kunnen ontstaan. Doorspoelen kan daarom gericht ingezet worden op plekken waar problemen ontstaan met algenbloei, maar moet niet overal standaard worden toegepast zodat de nutriëntenbelasting niet onnodig verhoogd wordt.
- **Gericht water inlaten** kan verslechtering van de waterkwaliteit tijdelijk voorkomen. Als het inlaatwater van slechtere kwaliteit is dan het water in het binnendijks gebied, kan gekozen worden om tijdelijk geen water in te laten. Hierbij heeft het waterschap een afwegingskader nodig wanneer wel of niet in te laten.
- **Het in kaart brengen van mogelijk problematische locaties** (zoals doodlopende of langzaam stromende sloten) kan bijdragen aan gerichtere actie ondernemen. Op deze plekken kan vervolgens regelmatig gecontroleerd worden of problemen ontstaan.

6.2 Stedelijk gebied

In stedelijk gebied worden voornamelijk hogere temperaturen en hogere nutriëntenconcentraties verwacht. Als gevolg hiervan zullen zich mogelijk meer (blauw)algenbloei, zuurstofloosheid en lagere soortendiversiteit ontstaan.

Door toename van piekbuien wordt een groter deel van het water afgevoerd via het rioolstelsel. Hierdoor zullen de rioolstelsels vaker overbelast zijn en zal vaker riooloverstort plaatsvinden op het oppervlaktewater. Met name op het eiland IJsselmonde, met de meeste bebouwing en veel riooloverstorten, zal dit een groot effect hebben op de waterkwaliteit van het oppervlaktewater. Daarnaast zorgen hoosbuien voor een verhoogd volume van rioolwater, waardoor de zuiveringsefficiëntie van rwzi's afneemt.

Een van de veelgenoemde oplossingen hiervoor is het **afkoppelen van regenwater** uit gemeende riolering (



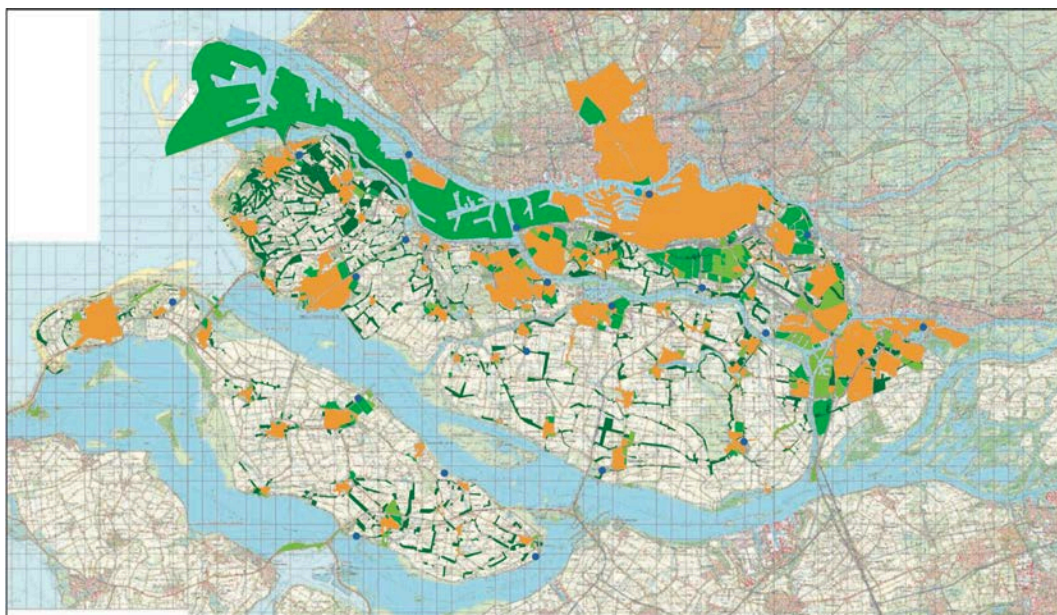
Figuur 6.1). Hierdoor neemt de hoeveelheid nutriënten in rwzi-effluent af en worden pieken in rioolwatervolume verminderd. Gemeenten met veel wateroverlast kiezen bij een rioolvervanging voor een gescheiden rioolstelsel om wateroverlast beter te reguleren. Hierdoor neemt het aantal riooloverstorten bij piekbuien af, waardoor het directe effect hiervan op het oppervlaktewater wordt verminderd (acute zuurstofdip). Echter nemen bij een gescheiden rioleringsstelsel emissies in stedelijk water of de bodem juist toe (Aalderink et al., 2009). Dit komt omdat regenwater niet “schoon” is, maar dat er met regenwater ook veel vuil en nutriënten (bladeren, afval, stof etc.) het riool inspoelt. Als dit regenwater vervolgens direct geloosd wordt op het oppervlaktewater, is er sprake van een

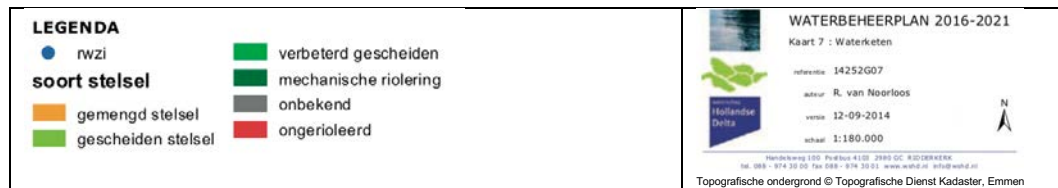
¹ Flux: hoeveelheid per tijdseenheid. Om (nutriënten-)belasting van een stromend water goed te begrijpen, moet naast de concentratie ook de hoeveelheid per dag worden meegenomen. Als de concentratie laag is maar de flux hoog, kan een systeem alsnog last hebben van nutriëntenoverschotten.



hogere jaarvrucht in nutriënten (Aalderink et al., 2009). Hierdoor kan de waterkwaliteit alsnog verslechteren. Een oplossing hiervoor is een zogenaamde **verbeterd gescheiden rioolstelsel**, waarin het eerste deel van een regenbui altijd naar de rwzi gaat en de rest op het oppervlaktewater wordt geloosd. Dit heeft als nadeel dat een groot gedeelte van het regenwater door een rwzi gaat, waardoor een rwzi extra wordt belast ten opzichte van een volledig gescheiden stelsel. Daarnaast kan een gescheiden rioolstelsel leiden tot foutaansluitingen, bijvoorbeeld huishoudelijk water op een regenwaterriool. Als er slechts 2% van de aansluiting fout is aangesloten, kan bij een fikse regenbui de vervuiling van dit regenwater al 20 keer hoger zijn dan bij de overstort van een gemengd systeem (Aalderink et al., 2009). Daarom is het ook bij een gescheiden rioolstelsel essentieel dat foutaansluitingen worden opgespoord, bijvoorbeeld door bij aanleg te controleren en direct te acteren bij waarnemingen van overlast.

Regenwater bufferen is een manier om pieken in rioolwatervolume bij huizen te voorkomen. Dit wordt al veelvuldig gedaan op individueel niveau, wijk- en gemeenteniveau en bij het waterschap. Hierbij is een sterke samenwerking tussen het waterschap, gemeentes en inwoners heel belangrijk, omdat ingrepen op zowel klein als groot niveau nodig zijn. Aanpassingen op individu-niveau zijn bijvoorbeeld waterberging en groen in de tuin, of groene daken. Op wijkniveau kan ook ingezet worden op waterberging of -buffering, met bijvoorbeeld meer groene ruimte, wadi's en doorlaatbare stenen. Groenstroken kunnen ook anders worden ingericht. Zo liggen veel groenvoorzieningen op dit moment hoger dan de straat, waardoor ze niet kunnen functioneren als buffer. Door groenstroken juist iets lager te leggen kunnen ze regenwater opvangen. Op gemeenteniveau en waterschapsniveau kan gewerkt worden aan grotere zuiveringscapaciteit en waterberging bij rwzi's die aangesloten zijn op gemengde rioolstelsels. Extra waterbuffering en nazuivering kan bijvoorbeeld gecreëerd worden met waterharmonica's (ook bekend als natuurlijke nazuivering), waar het effluent van een rwzi door plateaus, rietsloten en meanderende watergangen wordt geleid. Ook kan het waterschap grotere fluctuaties in het oppervlaktewaterpeil toestaan om meer (tijdelijke) waterberging te creëren.





Figuur 6.1 Overzicht van rioolstelsels bij WSHD (Waterschap Hollandse Delta 2015).

Daarnaast zorgen **blauwalgenontwikkelingen** voor overlast in stedelijk gebied. Hoewel slechts een klein deel van het stedelijk water aangemerkt is als zwemwater, wordt een aanzienlijk deel van het stedelijk water recreatief gebruikt. Op veel plekken wordt gevaren of door honden gezwommen, waardoor blauwalgenbloei tot overlast en gevaarlijke situaties kan leiden. Daarom is het in de toekomst belangrijk dat stedelijk water intensief wordt **gemonitord op blauwalgenontwikkeling**, en ook op niet-zwemwaterlocaties gecommuniceerd wordt als er blauwalgen zijn gevonden. Een goede heldere online en offline communicatie met inwoners is daarom essentieel om overlast en gevaarlijke situaties te voorkomen. Ook kan **gericht water inlaten** ervoor zorgen dat de waterkwaliteit niet verder verslechtert als het in te laten water van lagere kwaliteit is. Hierbij is het belangrijk dat het waterschap een afwegingskader heeft wanneer wel of geen water in te laten (o.a. verzilting, nutriënten, algen). Essentieel hierbij is **goede voorlichting aan bewoners**. Door bewoners te motiveren hun tuinen te vergroenen kan regenwater op meer plekken in de bodem zakken. Ook kan voorlichting voorkomen dat bewoners hun honden niet laten zwemmen in wateren waar op dat moment een drijfslag aanwezig is.

6.3 Grote recreatiewateren

De grote recreatiewateren van WSHD (Oostvoornse Meer, Brielse Meer, Binnenmaas en Waal) zijn allen diepe (stilstaande) meren. In deze meren is de stikstofbelasting en fosforbelasting sinds 1980 afgenomen. Door opwarming van het water kunnen zich meer blauwalgenbloeien voordoen. Het is op dit moment nog onduidelijk of er door klimaatverandering ook meer benthische blauwalgen voor zullen komen in het beheersgebied van WSHD. Piekbuien kunnen zorgen voor hogere nutriënteninvoer. Daarom is het belangrijk de nutriënteninvoer zoveel mogelijk wordt beperkt. Hierbij kan onderzocht worden of er mogelijkheden zijn voor het **terugdringen van afspoeling, bevorderen van (de)nitrificatie** door waterplantengroei verder te stimuleren, of **verminderen van stratificatie** en zuurstofloosheid door te pompen. Specifiek in het Oostvoornse Meer is er sprake van hoge fosforbelasting. In brakke wateren met hoge fosforconcentraties kunnen giftige blauwalgen als *Nodularia* profiteren van de omstandigheden (Schoffelen et al., 2018). Daarom is het raadzaam om te onderzoeken of de fosforbelasting in het Oostvoornse Meer kan worden verlaagd.

De meren kunnen ook gebruikt worden als **waterbuffers** voor het omliggende gebied. Door **flexibel peilbeheer** kan geanticipeerd worden op neerslag en kan tijdelijk extra waterberging gecreëerd worden. Hierbij is het wel belangrijk dat het regenwater wat tijdelijk in de meren opgevangen wordt van voldoende kwaliteit is, zodat de waterkwaliteit niet verslechtert (zie § 6.2).

In de grote wateren van WSHD is veel recreatie. Daarom is het belangrijk hier goed te blijven **monitoren** op waterkwaliteit en dit te combineren met **goede voorlichting** van gebruikers. Er lijken meer blauwalgen voor te komen in de meren (zie § 5.9), dit kan in de



toekomst mogelijk zorgen voor gezondheidsrisico's. Ook zuurstofloosheid door toenemende stratificatie kan voor onder andere vissterfte en verhoogde fosforaflevering vanuit de bodem zorgen.

6.4 Zwemwateren

Zwemwateren moeten aan strenge waterkwaliteitseisen voldoen. Door veranderingen als gevolg van klimaatverandering kan de waterkwaliteit van deze locaties verder verslechteren. Op deze plekken is het vooral belangrijk om goed en uitgebreid te **monitoren**, zodat gebruikers van het water tijdig geïnformeerd kunnen worden.

Door eutrofiering kunnen er in de toekomst meer en vaker toxische blauwalgenbloeien ontstaan in zwemwateren. Ook kunnen overige microbiële verontreinigingen verder toenemen, door bijvoorbeeld een toenemende recreatiedruk van de zwemwateren. Bij verbrakking van zwemwater, zoals in het Oostvoornse Meer, is een mogelijk toename van *Vibrio cholerae* een aandachtspunt.

Ingrepen om de waterkwaliteit van zwemlocaties te verbeteren zijn lastig. Bij blauwalgenbloei kan een locatie tijdelijk **doorgespoeld** worden, er kan gewerkt worden aan het **verder terugdringen van de nutriëntenbelasting**, als het mogelijk is kan er **gericht water ingelaten** worden of **gebaggerd** worden om teruglevering vanuit het sediment te voorkomen. Dit zijn allen ingrepen die niet enkel op de zwemlocatie zelf maar op het watersysteem waarin het zich bevindt moeten worden uitgevoerd. Ook kan op diepe zwemwaterlocaties water vanuit de diepte omhoog worden gepompt om de waterkwaliteit te verbeteren. Zwemwaterlocaties (strandjes) kunnen ook **afgeschermd** worden met drijvende schermen, om te voorkomen dat drijfslagen van cyanobacteriën het gebied inwaaien.

Nu en in de toekomst is het essentieel om de waterkwaliteit van zwemlocaties goed te **monitoren**. Zo kan snel in kaart worden gebracht waar zich problemen voordoen en kan tijdig in worden gegrepen. **Goede voorlichting** van gebruikers is hierbij essentieel, zowel met borden lang het water als online. Dit wordt al goed uitgevoerd door het waterschap, het is essentieel om hiermee door te gaan en waar mogelijk de communicatie met gebruikers te verbeteren. **Permanent afsluiten van problematische zwemlocaties** is ook een optie, maar het afsluiten van zwemlocaties zorgt er niet voor dat recreatie daar stopt. Er zullen altijd mensen blijven zwemmen of bijvoorbeeld hun hond uitlaten. Met goede monitoring en communicatie op locaties met veel recreatie kan het waterschap gevaarlijke situaties voorkomen.

6.5 Kennisleemtes

Een van de meest gebruikte maatregelen binnen het beheersgebied van WSHD om schadelijke effecten te verminderen is doorspoelen. Doorspoelen wordt gebruikt om te ontzilten en (blauw)algenbloeien en kroosvorming te voorkomen. Het is op dit moment echter onduidelijk of dit doorspoelen effect heeft op het hele watersysteem of alleen op de grotere wateren van het beheersgebied. Zo is het waarschijnlijk dat doorspoelen de problemen in de haarvaten niet voldoende aanpakt. Met name in gebieden waar verzilting en eutrofiering mogelijk toenemen, zoals op Goeree-Overflakkee, is het daarom raadzaam om het effect van doorspoelen goed in kaart te brengen, met specifieke aandacht voor de haarvaten.



Op dit moment wordt er in toenemende mate recreatief gebruik gemaakt van niet-zwemwateren. Op dit moment is onduidelijk of deze gebruikers voldoende bereikt worden, en of de huidige voorlichting over risico's voldoende is.

In het Oostvoornse Meer spelen vele processen die samenhangen met verbrakking en eutrofiëring. Op dit moment wordt al veel onderzoek gedaan naar deze processen en eventuele maatregelen die kunnen worden genomen om de waterkwaliteit te verbeteren. Een van de problemen die daar en in andere diepe wateren speelt is de ogenschijnlijke toename van blauwalgenmatten. Het is tot nu toe onduidelijk of deze matten inderdaad toenemen en of dit een gevolg van klimaatverandering is, of van andere processen.



7 Slotbeschouwing

Klimaatverandering is een proces dat vele facetten van mens en natuur beïnvloedt. We zullen moeten leren omgaan met hogere temperaturen, periodes van droogte en zwaardere piekbuien. Sommige effecten zijn wellicht als positief te beschouwen (zoals warme voorjaarsdagen), maar voor aquatische natuur en watergebruik door de mens overwegen de negatieve effecten. Inmiddels zijn deze effecten ook al meetbaar in onze watersystemen, zoals te zien in dit onderzoek: de watertemperatuur stijgt en blauwalgenoverlast neemt toe. De effecten komen bovenop de problemen die al spelen in Nederlandse aquatische ecosystemen. Eutrofiëring is sinds 1980 afgenomen, maar nog steeds behalen weinig wateren de KRW-streefwaardes voor stikstof en fosfor. Blauwalgenoverlast en vissterfte komen met regelmaat voor en de biodiversiteit staat onder druk. Klimaatverandering zal deze problemen versterken.

De grootste knelpunten worden verwacht in relatie tot eutrofiëring. Door maatregelen in het Rijnstroomgebied zijn de concentraties voedingsstoffen aanzienlijk lager dan in 1980, maar sinds 2000 is de daling afgevlakt op een nog steeds (te) hoog niveau. Klimaatverandering zal de druk op aquatische ecosystemen doen toenemen door hogere temperaturen en onder andere meer afspoeling. Daarom betogen wij dat er onverminderd ingezet moet worden op het beperken van nutriëntenbelasting van aquatische ecosystemen. De focus moet hierbij liggen op de belangrijkste beïnvloedbare bronnen: de uit- en afspoeling uit landbouwgebieden en het verbeteren van de waterketen. We kunnen niet vastgehouden aan de huidige zuiveringsefficiëntie of de al behaalde verbeteringen ten opzichte van 1980; er is zowel landelijk als lokaal meer ambitie nodig om problemen te voorkomen.

Op het gebied van de waterketen en de wateroverlast wordt al veel gedaan. Waterkwaliteit kan soms hand in hand gaan met deze maatregelen, maar wat goed is voor waterkwantiteit is niet altijd goed voor waterkwaliteit. Zo kunnen gescheiden rioolstelsels zorgen voor minder riooloverstorten, maar regenwaterriolen die direct op oppervlaktewater lozen kunnen ook meer organische stoffen en vuiligheden inbrengen dan een rwzi en daardoor juist averechts werken. Natuur in stedelijk gebied kan functioneren als buffer voor deze verschillende problematieken, dus wij adviseren om in te zetten op meer stedelijk groen. Ook is het raadzaam om burgers te betrekken bij stadsinrichting, om voorlichting te geven over het vergroenen van tuinen, vasthouden van regenwater en het herkennen van blauwalgen-problemen, zodat zij er zelf actief mee aan de slag gaan.

Ten slotte is een goede en gerichte monitoring essentieel. Om bovenstaande afweging bij een rioolsysteem te maken, is het belangrijk om te weten wat de kwaliteit van het regenwater is, en in hoeverre het ontvangende aquatisch ecosysteem deze lozingen aankan. Om te weten waar verzilting of eutrofiëring optreedt in de haarvaten van het watersysteem, moet je daar wel voldoende meetpunten hebben. En om te weten waar blauwalgenoverlast vandaan komt, is het meer dan handig om metingen te hebben uit de tijd voordat de blauwalgenoverlast is ontstaan.



Literatuur

- van der Aa, N.G.F.M. (2009) Antenne Drinkwater 2008. Informatie en ontwikkelingen, RIVM, Bilthoven.
- Aalderink, H., Moens, M. and Langeveld, J. (2009) Invloed van de systeemkeuze op de emissies van het afvalwatersysteem, STOWA, Utrecht.
- Antheunisse, A.M., Verberk, W.C.E.P., Verhoeven, J.T.A., Schouwenaars, J.M. and Limpens, J. (2008) Preadvies Laagveen- en Zeekleilandschap, Directie Kennis, Ede.
- Baldwin, D.S., Rees, G.N., Mitchell, A.M., Watson, G. and Williams, J. 2006. The short-term effects of salinization on anaerobic nutrient cycling and microbial community structure in sediment from a freshwater wetland. *Wetlands* 26(2), 455-464.
- Bessembinder, J., Wolters, D. and van Hove, L.W.A. (2013) Regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en Regio Rotterdam, Kennis voor klimaat, Utrecht & Wageningen.
- Brimblecombe, P. and Grossi, C.M. 2007. Damage to buildings from future climate and pollution. *APT bulletin: journal of preservation technology* (38:2-3), 13-18.
- ten Brinke, W. (2014) Adaptatie aan klimaatverandering in de Zuidwestelijke Delta, Programmabureau Kennis voor klimaat, Utrecht.
- Brouwer, E., Smolders, A.F., van Diggelen, J. and Geurts, J. 2007 Begeleidend onderzoek bij de uitvoering van herstelmaatregelen in het IJperveld, B-WARE, Nijmegen.
- Budd, R., Bondarenko, S., Haver, D., Kabashima, J. and Gan, J. 2007. Occurrence and bioavailability of pyrethroids in a mixed land use watershed. *Journal of Environmental Quality* (35), 1006-1012.
- Burford, M.A., Carey, C.C., Hamilton, D.P., Huisman, J., Paerl, H., Wood, S. and Wulff, A. 2019. Perspective: Advancing the research agenda for improving understanding of cyanobacteria in a future of global change. *Harmful Algae* 91, 101601.
- CBS, PBL, RIVM and WUR (2016) Vermesting in grote rivieren, 1970-2014 (indicator 0249, versie 10, 13 april 2016), Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen.
- Claessens, J.W. and Dirven, E.M. (2010) Klimaatverandering en het stedelijk gebied, RIVM, Bilthoven.
- Didderen, K., Smolders, F. and van Gogh, I. 2016 Waterkwaliteitsproblemen Oostvoornse Meer. Nader onderzoek blauwalgenmatten 2015: omvang en oorzaken.
- van Dijk, G., Westendorp, P.J., Loeb, R., Smolders, F. and Lamers, L. (2013) Verbrakking in het laagveen- en zeekleilandschap, Bosschap, bedrijfschap voor bos en natuur, Driebergen.
- van Dokkum, H.P. and Visser, I.J.R. 1998. Non-O1-Vibrio cholerae in oppervlaktewater: reden tot ongerustheid? *H2O* 17, 16-17.
- Eriksson, E., Andersen, H.R. and Ledin, A. 2008. Substance flow analysis of parabens in Denmark complemented with a survey of presence and frequency in various commodities. *Journal of Hazardous Materials* (156), 240-259.
- Gludemans, E. and Booltink, M. (2008) Klimaat en waterschappen, Unie van Waterschappen, Den Haag.
- Goodman, A.M., Ganf, G.G., Dandy, G.C., Maier, H.R. and Gibbs, M.S. 2010. The response of freshwater plants to salinity pulses. *Aquatic Botany* 93(2), 59-67.
- Hart, B.T., Bailey, P., Edwards, R., Hortle, K., James, K., McMahon, A., Meredith, C. and Swadling, K. 1991. A review of the salt sensitivity of the Australian freshwater biota. *Hydrobiologia* 210(1-2), 105-144.
- Hintzen, E.P., Lydy, M.J. and Belden, J.B. 2009. Occurrence and potential toxicity of pyrethroids and other insecticides in bed sediments of urban streams in central Texas. *Environmental Pollution* (157), 110-116.



- Howden, S.M., Soussana, J., Tubiello, F.N., Chhetri, N., Dunlop, M. and Meinke, H. 2007. Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the national academy of sciences* 104(50), 19691-19696.
- van den Hurk, B., Siegmund, P., Tank, A.I.K., Attema, J., Bakker, A., Beersma, J., Bessembinder, J., Boers, R., Brandsma, T., van den Brink, H., Drijfhout, S., Eskes, H., Haarsma, R., Hazeleger, W., Jilderda, R., Katsman, C., Lenderink, G., Loriaux, J., van Meijgaard, E., van Noije, T., van Oldenborgh, G.J., Selten, F., Siebesma, P., Sterl, A., de Vries, H., van Weele, M., de Winter, R. and van Zadelhoff, G. (2014) KNMI'14: Climate change scenarios for the 21st century – A Netherlands perspective, Koninklijk Nederlands meteorologisch instituut, De Bilt.
- Hydrologic (2019) Verdelingsvarianten Hoofdwatersysteem, Hydrologic BV, Amersfoort.
- James, K.R., Cant, B. and Ryan, T. 2003. Responses of freshwater biota to rising salinity levels and implications for saline water management: a review. *Australian Journal of Botany* 51(6), 703-713.
- Jartun, M., Ottesen, R.T., Steinnes, E. and Volden, T. 2008. Runoff of particle bound pollutants from urban impervious surfaces studied by analysis of sediments from stormwater traps. *Science of the Total Environment* (396), 147-163.
- Jeppesen, E., Moss, B., Bennion, H., Carvalho, L., DeMeester, L., Feuchtmayr, H., Friberg, N., Gessner, M.O., Hefting, M. and Lauridsen, T.L. (2010) Climate change impacts on freshwater ecosystems. Kernan, M., Battarbee, R.W. and Moss, B. (eds), pp. 119-151, Blackwell Publishing Ltd.
- Jeppesen, E., Søndergaard, M., Kanstrup, E., Petersen, B., Eriksen, R.B., Hammershøj, M., Mortensen, E., Jensen, J.P. and Have, A. 1994. Does the impact of nutrients on the biological structure and function of brackish and freshwater lakes differ? *Hydrobiologia* 275(1), 15-30.
- Jöhnk, K.D., Huisman, J., Sharples, J., Sommeijer, B., Visser, P.M. and Stroom, J.M. 2008. Summer heatwaves promote blooms of harmful cyanobacteria. *Global Change Biology* 14(495-512).
- Keliang, C., Xiaodong, Z. and Xianghua, M.Y. 2007. Study on Management and Control of Nonpoint Source Pollution from Urban Surface Runoff. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment* (5), 39-44.
- Klimaatatlas 2020 Klimaatatlas, Noordhoff uitgever.
- Kosten, S. (2011) Een frisse blik op warmer water, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer / Rijkswaterstaat Waterdienst, Amersfoort / Lelystad.
- Krebs, B., Fortuin, A. and Boeyen, H. 1995. Brakken binnenwateren het beschermen waard. *De levende natuur* 96(1), 14-19.
- Lodge, D.M. 1991. Herbivory on freshwater macrophytes. *Aquatic Botany* 41(1-3), 195-224.
- Loeb, R., Antheunisse, A.M., Miletto, M., Lamers, L.P.M., Bodelier, P.L.E., Laanbroek, H.J., Verhoeven, J.T.A. and Roelofs, J.G.M. (2008) On biogeochemical processes influencing eutrophication and toxicity in riverine wetlands. Proefschrift, p. 85, Radboud Universiteit Nijmegen.
- Loeve, R., Droogers, P. and Veraart, J. (2006) Klimaatverandering en waterkwaliteit, Wetterskip Fryslan, Leeuwarden.
- Lüring, M. and van Dam, H. (2009) Blauwalgen: giftig groen, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Utrecht.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu and Ministerie van Economische Zaken (2017) Deltaprogramma 2018, Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Economische Zaken.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2016) Aanpassen met ambitie, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Den Haag.
- van Minnen, J.G., Ligtoet, W., Franken, R., van Bree, L., Visser, H., van der Schrier, G., Bessembinder, J., van Oldenborgh, G.J., Prozny, T. and Sluijter, R. (2013) The effects of Climate Change in the Netherlands: 2012, Planbureau voor de leefomgeving, Den Haag.



- Moss, B. (1994) Nutrient Dynamics and Biological Structure in Shallow Freshwater and Brackish Lakes, pp. 1-14, Springer.
- Moss, B., Kosten, S., Meerhoff, M., Battarbee, R.W., Jeppesen, E., Mazzeo, N., Havens, K., Lacerot, G., Liu, Z., de Meester, L., Paerl, H. and Scheffer, M. 2011. Allied attack: climate change and eutrophication. *Inland waters* (1:2), 101-105.
- van Nieuwkerk, E., Trouwborst, R., Junier, S.J., Mostert, E., Rutten, M.M., Nederlof, J., Maarleveld, M. and Geerse, J. (2010) Klimaatverandering en het Rotterdamse stedelijk watersysteem, Programmabureau Kennis voor klimaat, Utrecht.
- O'Neil, J.M., Davis, T.W., Burford, M.A. and Gobler, C.J. 2012. The rise of harmful cyanobacteria blooms: the potential roles of eutrophication and climate change. *Harmful algae* 14, 313-334.
- Oste, A., Jaarsma, N. and van Oosterhout, F. (2010) Een heldere kijk op diepe plassen, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Amersfoort.
- Paerl, H.W. and Huisman, J. 2009. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environmental Microbiology Reports* (1 (1)), 27-37.
- Paulissen, M.P.C.P., Schouwenberg, E.P.A.G. and Wamelink, G.W.W. (2007) Zouttolerantie van zoetwatergevoede natuurdoeltypen, Alterra, Wageningen.
- Pinder, A.M., Halse, S.A., McRae, J.M. and Shiel, R.J. 2005. Occurrence of aquatic invertebrates of the wheatbelt region of Western Australia in relation to salinity. *Hydrobiologia* 543(1), 1-24.
- Portielje, R., van Ballegooijen, L. and Griffioen, A. (2004) Eutrofiëring van landbouwbeïnvloede wateren en meren in Nederland - toestanden en trends, RIZA, Lelystad.
- Prins, A.H., van der Sluis, T. and van Wirdum, G. (1994) Mogelijkheden voor de brakwatervegetaties in Polder Westzaan, IBN, Wageningen.
- Procencus (2006) Ontwerp Notitie Stedelijk Water: Een leidraad voor water in dorp en stad. Provincie Zuid-Holland 2020 Interactieve kaarten en atlanten.
- Quiblier, C., Wood, S., Echenique-Subiabre, I., Heatch, M., Villeneuve, A. and Humbert, J.-F. 2013. A review of current knowledge on toxic benthic freshwater cyanobacteria - Ecology, toxin production and risk management. *Water Research* 47, 5464-5479.
- Redden, A.M. and Rukminasari, N. 2008. Effects of increases in salinity on phytoplankton in the Broadwater of the Myall Lakes, NSW, Australia. *Hydrobiologia* 608(1), 87.
- Remane, A. and Schlieper, C. (1971) *Biology of Brackish Water*, Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Robarts, R.D., Waiser, M.J., Arts, M.T. and Evans, M.S. 2005. Seasonal and diel changes of dissolved oxygen in a hypertrophic prairie lake. *Lakes & Reservoirs: Research & Management* 10(3), 167-177.
- de Roda Husman, A.M. and Schets, F.M. (2010) Climate change and recreational waterrelated infectious diseases, RIVM, Bilthoven.
- Rozemeijer, J., Griffioen, J. and Passier, J. (2005) De concentratie van fosfaat in regionaal kwelwater in Nederland, TNO.
- Runhaar, J. (2006) *Natuur in de verdringingsreeks*, Alterra, Wageningen.
- Scheffer, M. (1998) *Ecology of Shallow Lakes*, Springer Netherlands.
- Scheffer, M., Houser, S.H., Meijer, M.L., Moss, B. and Jeppesen, E. 1993. Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in ecology & evolution* 8(8), 275-279.
- Schoffelen, N.J., Mohr, W., Ferdelman, T.G., Littmann, S., Duerslag, J., Zubkov, M.V., Ploug, H. and Kuypers, M.M.M. 2018. Single-cell imaging of phosphorus uptake shows that key harmful algae rely on different phosphorus sources for growth. *Scientific Reports* 8, 17182.
- Schoumans, O.F., Willems, J. and van Duinhoven, G. (2008) 30 vragen en antwoorden over fosfaat in relatie tot landbouw en milieu, Alterra, Wageningen.
- Steenbergen, H.A. (1993) *Macrofauna-atlas van Noord-Holland*, Provincie Noord-Holland, Haarlem.
- STOWA (2020) *Deltafact - Broeikasgasemissies uit zoetwater*.



- Tank, A.K., Beersma, J., Bessembinder, J., van den Hurk, B. and Lenderink, G. (2015) KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland, Koninklijk Nederlands meteorologisch instituut, De Bilt.
- van de Ven, M.W.P.M. (2019) Verkenning van de gevolgen van langdurige droogte voor vissen in de Nederlandse wateren, ATKB, Zoetermeer.
- Veraart, J. and Reidsma, P. (2011) Effecten klimaatverandering op landbouw, Stichting toegepast onderzoek waterbeheer.
- Veraart, J.A., Verdonschot, P.F.M. and Paulissen, M.P.C.P. (2013) Deltafact Effecten verzilting zoete aquatische ecosystemen, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer.
- Verdonschot, R.C.M., Keizer-Vlek, H.E. and Verdonschot, P.F.M. 2012. Development of a multimetric index based on macroinvertebrates for drainage ditch networks in agricultural areas. *Ecological indicators* 13(1), 232-242.
- Vermeulen, L.C. and Hofstra, N. 2014. Influence of climatic variables on the concentration of *Escherichia coli* in the Rhine, Meuse and Drentse Aa during 1985-2010. *Regional Environmental Change* (14), 307-319.
- Verspagen, J.M.H., Boers, P., Laanbroek, H.J. and Huisman, J. (2005) Doorspoelen of opzouten, Universteit van Amsterdam, Instituut voor Biodiversiteit en Ecosysteem Dynamica, Amsterdam.
- de Vries, A., Veraart, J., de Vries, I., Oude Essink, G., Zwolsman, G., Creusen, R. and Buijtenhek, H. (2009) Vraag en aanbod van zoetwater in de Zuidwestelijke Delta een verkenning, Kennis voor Klimaat & Zuidwestelijke Delta, Utrecht.
- van der Wal, A., van Velzen, E. and Kardinaal, E. 2012. Effect van veranderingen in klimaat en ruimtedruk op de microbiologische zwemwaterkwaliteit. H2O.
- Waterschap Hollandse Delta (2015) Waterbeheerprogramma 2016-2021.
- Waterschap Hollandse Delta 2018 Rapportage waterwerken 2017 en 2018.
- Wolff, W.J. 1999. Exotic invaders of the meso-oligohaline zone of estuaries in the Netherlands: why are there so many? *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 52(3-4), 393.
- Wolters, D., Hofman, C. and Bessembinder, J. (2011) Ruimtelijke klimatologische verschillen binnen Nederland, Koninklijk Nederlands meteorologisch instituut, De Bilt.
- Wood, S.A., Kelly, L.T., Bouma-Gregson, K., Humbert, J.-F., Laughinghouse IV, H.D., Lazorchak, J., McAllister, T.G., McQueen, A., Pokrzywinski, K., Puddick, J., Quiblier, C., Reitz, L.A., Ryan, K.G., Vadeboncoeur, Y., Zastepa, A. and Davis, T.W. 2020. Toxic benthic freshwater cyanobacterial proliferations: Challenges and solutions for enhancing knowledge and improving monitoring and mitigation. *Freshwater Biology* 65, 1824-1842.



Bureau Waardenburg bv

Onderzoek en advies voor ecologie en landschap

Varkensmarkt 9, 4101 CK Culemborg

Telefoon 0345-512710

E-mail info@buwa.nl, www.buwa.nl