

HANDREIKING STRESSTEST WATERKWALITEIT

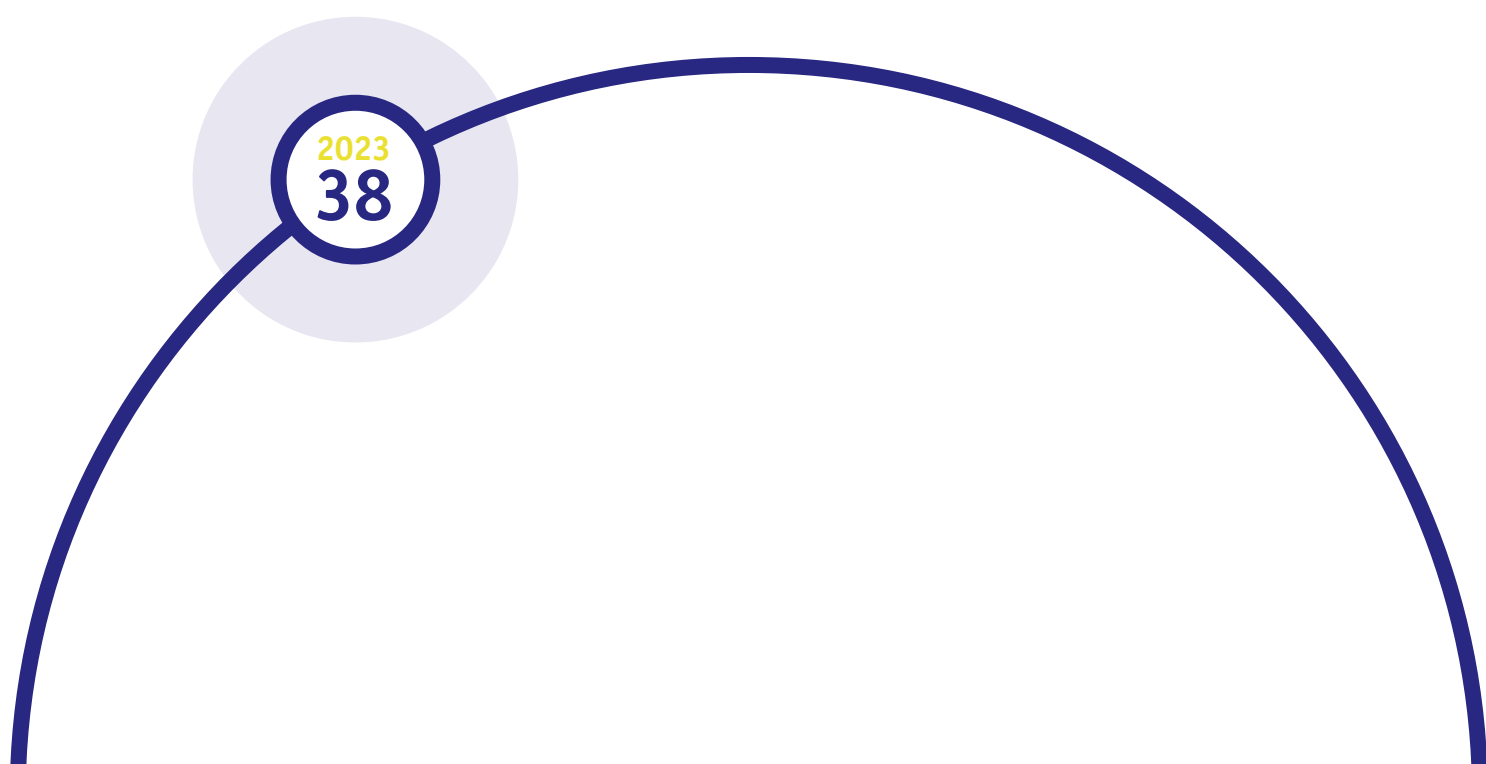
⇒ **Klimaatverandering en waterkwaliteit**



2023
38

HANDREIKING STRESSTEST WATERKWALITEIT

➤ **Klimaatverandering en waterkwaliteit**



STOWA-nummer 2023-38
ISBN 978.964.6479.007.8

Download Dit rapport is beschikbaar als pdf op www.stowa.nl
Check Bibliotheek > Publicaties >
STOWA 2023-38

Publicatie STOWA | P.O. Box 2180 | 3800 CD Amersfoort

Oktober 2023 © STOWA

Auteur(s) M. van der Kamp MSc, R.J. Brederveld MSc, dr. R.E. Reitsema,
dr. S.A.H. Weisscher & ir. S. Schep (Witteveen+Bos)
& drs. G. Dekker (Ambient)

Eindredactie M. van der Kamp MSc
P. van Stijn MSc

Design Shapeshifter.nl | Utrecht

Fotografie Adobe stock & Istockfoto

Werkgroep en begeleidingscommissie stresstest waterkwaliteit

M. Collombon (Waternet), M. Ouboter (Waternet), M. van Kruining (UVW), S. Roodzand (HHNK), S. Vulto (HDSR), M. de Haan (RHDHV), S. Sollie (TAUW), B. Vreman (Arcadis) & S. van der Meulen (Deltares), E. Rebergen (gemeente Utrecht), M. Maneschijn (waterschap Rijn & IJssel), A. Rijnks (Hoogheemraadschap van Delfland), B. Hoefijzers (gemeente Breda), A. Osté (waterschap Rivierenland), T. van der Wijngaart (STOWA).

Trefwoorden

Klimaatverandering, DPRA stresstest waterkwaliteit, ecologische sleutelfactoren, watersysteemanalyse

Referaat

Het klimaat verandert. Dit heeft effect op de waterkwaliteit. Voor de onderwerpen wateroverlast, hitte, droogte en overstroming zijn in het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie (DPRA) stresstesten ontwikkeld. Een stresstest voor de waterkwaliteit ontbreekt. Voorliggend document presenteert de methode voor de uitvoering van de stresstest waterkwaliteit. De methode bestaat uit drie werkstappen: quickscan, globale analyse en nadere analyse. Door de methode krijgt de gebruiker inzichten in de kwetsbaarheden van waterkwaliteit voor klimaatverandering. De handreiking geeft op basis van technisch-inhoudelijke informatie aanwijzingen voor het voeren van de risicodialoog.

Copyright

De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

Disclaimer

Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

➔ TEN GELEIDE



NU OOK STRESSTEST VOOR WATERKWALITEIT EN KLIMAAT

Om de gevolgen van klimaatverandering te beperken werkt de Nederlandse overheid aan het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie (DPRA). In de DPRA-werkwijze is de eerste stap het in beeld brengen van kwetsbaarheden door middel van 'stresstesten' voor verschillende thema's. Het thema waterkwaliteit ontbrak nog, ondanks dat er duidelijke gevolgen zijn voor de waterkwaliteit en Nederland niet op schema ligt om de waterkwaliteitsdoelen van de Kaderrichtlijn Water (KRW) te halen. De handreiking stresstest waterkwaliteit stelt waterbeheerders in staat om de gevolgen van klimaatverandering voor de waterkwaliteit in beeld te brengen en hierop te acteren met maatregelen.

Waterbeheerders werken hard om te voldoen aan de Europese KRW-doelstellingen. Klimateffecten zijn echter onderbelicht gebleven, terwijl de Europese Commissie in 2013 reeds heeft opgeroepen de doelen en maatregelpakketten te baseren op een deugdelijke analyse, waarin klimateffecten worden meegenomen. Binnen het DPRA wordt gewerkt aan een klimaatbestendig en waterrobuust Nederland in 2050, door als eerste stap 'stresstesten' voor de thema's wateroverlast, hitte, droogte en de gevolgbeperving van overstromingen uit te voeren. Het thema waterkwaliteit ontbreekt echter nog.

Met de totstandkoming van de stresstest waterkwaliteit is een methode ontwikkeld bestaande uit drie niveaus: quickscan, globale analyse en nadere analyse. Hiermee kunnen de kwetsbaarheden van de waterkwaliteit voor klimaatverandering in beeld worden gebracht:

- een *quickscan* op basis van beschikbare gebiedsinformatie (systeemkenmerken, toestandsvariabelen en drukfactoren);
- een *globale analyse* met rekenkundige klimaatscenario's, hiervoor is ook een rekentool beschikbaar gesteld;
- een *nadere analyse* op basis van een gedetailleerde systeemanalytische aanpak.

De stresstest biedt inzicht in welke wateren kwetsbaar zijn en wat deze systemen kwetsbaar maakt. Op basis van deze informatie kunnen maatregelen geformuleerd en geëvalueerd worden.

De handreiking en de rekentool zijn uitdrukkelijk bedoeld als eerste stap. Praktijkervaringen en nieuwe klimaatinzichten kunnen aanleiding zijn om de methode en handreiking verder te ontwikkelen.

De handreiking stresstest heeft in afstemming met het Nationaal Kennisprogramma Water en Klimaat (NKWK) vorm gekregen. Ik hoop van harte dat de handreiking stresstest samen met de kennis uit het NKWK en uitwisseling van gebruikerservaringen leidt tot het in beeld brengen van en anticiperen op klimateffecten voor de waterkwaliteit. Daarbij hoop ik dat deze handreiking de onderwerpen klimaat en waterkwaliteit binnen de KRW en het DPRA dichter bij elkaar brengt.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

➤ INHOUDSOPGAVE

Colofon	3	HOOFDSTUK 3 STRESSTEST WATERKWALITEIT	33
Ten geleide	4	3.1 Algemeen	34
HOOFDSTUK 1 WAAROM DEZE HANDREIKING?	8	3.2 Quickscan	36
1.1 Aanleiding	9	3.2.1 <i>Methode</i>	36
1.2 Doel	9	3.2.2 <i>Stap 1 - Afbakening projectgebied</i>	36
1.3 Scope van de handreiking	10	3.2.3 <i>Stap 2 - Partijen betrekken</i>	37
1.4 Totstandkoming handreiking	11	3.2.4 <i>Stap 3 - Gegevens verzamelen</i>	39
1.5 Leeswijzer	11	3.2.5 <i>Stap 4 - Het maken van een beoordeling</i>	40
HOOFDSTUK 2 WATERKWALITEIT EN KLIMAAT	12	3.2.6 <i>Stap 5 - Rapportage</i>	46
2.1 Inleiding	13	3.3 Globale analyse	46
2.2 Waterkwaliteit	13	3.3.1 <i>Methode</i>	48
2.3 Systeembegrip en toestanden	15	3.3.2 <i>Stap 1 - Afbakening projectgebied</i>	49
2.4 Klimaatverandering	22	3.3.3 <i>Stap 2 - Partijen betrekken</i>	49
2.4.1 <i>Meteorologische effecten</i>	22	3.3.4 <i>Stap 3 - Gegevens verzamelen</i>	49
2.4.2 <i>Invloed op de waterkwaliteit</i>	24	3.3.5 <i>Stap 4 - Het maken van een beoordeling</i>	49
2.4.3 <i>Invloed op de gebruiksfuncties</i>	31	3.3.6 <i>Stap 5 - Rapportage</i>	54
2.4.4 <i>Indicatoren van een kwetsbaar watersysteem</i>	31		

3.4	Nadere analyse	54
	3.4.1 Methode	55
	3.4.2 Stap 1 - Afbakening projectgebied	57
	3.4.3 Stap 2 - Partijen betrekken	57
	3.4.4 Stap 3 - Gegevens verzamelen	57
	3.4.5 Stap 4 - Het uitvoeren van de analyse	57
	3.4.6 Stap 5 - Rapportage	58
3.5	Aanbevelingen voor de analyse en risicodialoog	58

HOOFDSTUK 4	REFERENTIES	61
--------------------	--------------------	----

STOWA in het kort		63
--------------------------	--	----

BIJLAGEN		65
Bijlage 1	Toelichting droogvallende infiltratievoorzieningen	66
Bijlage 2	Achtergrondinformatie gebruiksfuncties stedelijk water	67
Bijlage 3	Quickscan vereiste invoerparameters	68
Bijlage 4	Quickscan overige parameters relevant voor de waterkwaliteit	73
Bijlage 5	Globale analyse modelketen voedselrijkdom	78
Bijlage 6	Globale analyse klimaatscenario's	84
Bijlage 7	Globale analyse temperatuur reeksen (TREV)	85
Bijlage 8	Globale analyse water- en stoffenbalans reeksen	86
Bijlage 9	Globale analyse reeksen PCDitch en metamodel waterkwaliteitsstresstest	90
Bijlage 10	Betrokken experts	91
Bijlage 11	Interviewlijst met voorbeeldvragen veldbezoek	92
Bijlage 12	Casussen	94

⇒ HOOFDSTUK 1 WAAROM DEZE HANDREIKING?

1



1.1 AANLEIDING

Klimaatverandering heeft een steeds grotere impact op ons dagelijks leven. Denk hierbij aan extreme droogte en daarmee samenhangend lage waterstanden in de Rijn (eind augustus 2022), overstromingen en wateroverlast in Limburg (juli 2021) en recordtemperaturen (boven de 40 graden) in de zomermaanden. Door klimaatverandering neemt de druk op het watersysteem toe, zowel direct (o.a. hogere temperaturen en veranderend neerslagpatroon) als indirect (o.a. veranderend gebruik door recreatie en watervraag).

Met de [Deltabeslissing Ruimtelijke adaptatie](#) heeft Nederland in 2015 besloten dat het Rijk, de provincies, gemeenten en waterschappen samen de ambitie vastleggen dat Nederland in 2050 klimaatbestendig en robuust is ingericht. Zo mogen bij nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen de risico's door extreem weer en overstromingen niet verder toenemen. Daarnaast moeten we de bestaande ruimte zo beheren en onderhouden dat de kans op schade en slachtoffers afneemt. De beslissing maakt onderdeel uit van het Deltaprogramma. Het programma bestaat uit drie plannen: het Deltaplan Waterveiligheid, het Deltaplan Zoetwater en het Deltaplan Ruimtelijke adaptatie (DPRA). Het DPRA richt zich op het voorkomen of beperken van schade aan mens en milieu als gevolg van klimaatverandering. Zo heeft het DPRA in samenwerking met verschillende partijen klimaatstresstesten ontwikkeld voor de onderwerpen: droogte, hitte, overstroming en wateroverlast. Overheden (gemeenten, provincies en waterschappen) voeren deze klimaatstresstest uit (zie [website](#)). Het doel van de DPRA klimaatstresstest is het in kaart brengen van kwetsbaarheden en het vergroten van de vergelijkbaarheid van de kwetsbaarheid tussen gebieden. Hierop volgt middels een risicodialoog een beoordeling van de kwetsbaarheden, waarna een globale en meer nadere analyse noodzakelijk kan zijn. De uiteindelijke beoordeling dient vervolgens als leidraad voor het al dan niet nemen van maatregelen.

Het onderdeel waterkwaliteit wordt niet expliciet als thema in de DPRA onderscheiden. Mede daarom ontbreken tot nu toe standaard uitgangspunten en een methodiek voor een stresstest waterkwaliteit.

Dit terwijl de chemische en ecologische waterkwaliteit momenteel sterk onder druk staat en als gevolg van klimaatverandering nog verder onder druk komt te staan. Dit heeft onder meer gevolgen voor het halen van Europese doelstellingen wat betreft waterkwaliteit: de Europese Kaderrichtlijn Water (EU: Water Framework Directive, hierna KRW). Het doel van de KRW is dat uiterlijk in 2027 al het water in Europa schoon en gezond is. In het merendeel van de waterlichamen en het overige water, waaronder het stedelijke gebied, is dit nog niet het geval.

Daarnaast vragen de gebruikers (tevens als gevolg van klimaatverandering) steeds meer van de waterkwaliteit en zullen zij de negatieve effecten onderkennen van verslechterde kwaliteit. Zo wordt er steeds vaker gezwommen op onofficiële zwemlocaties.

In verkennende onderzoeken (Dekker & Hamel, 2021; Van der Kamp *et al.*, 2021) geven waterbeheerders aan behoefte te hebben aan een diagnostisch instrument, een 'stresstest', om de effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit in beeld te brengen. Dit ter ondersteuning van de uitvoering (en onderbouwing) van de KRW en het DPRA.

In deze handreiking beschrijven we de werkstappen voor het uitvoeren van een stresstest waterkwaliteit. De stresstest waterkwaliteit dient daarbij als aanvulling op de reeds bestaande klimaatstresstesten van het DPRA.

1.2 DOEL

Het doel van deze handreiking is het geven van aanwijzingen voor de uitvoering van:

- 1 een gestandaardiseerde methode voor een stresstest waterkwaliteit, waarmee het effect van klimaatverandering op de (stedelijke) waterkwaliteit in kaart wordt gebracht. De stresstest bestaat uit drie niveaus: quickscan, globale analyse en nadere analyse;
- 2 de risicodialoog op basis van de stresstest.

De handreiking berust zoveel als mogelijk op dezelfde uitgangspunten als de reeds bestaande handreikingen voor de stresstesten droogte, hitte, overstromingen en wateroverlast, waarin de mogelijke kwetsbaarheden per klimaatthema worden geïdentificeerd. Daarnaast dient de handreiking praktisch toepasbaar en goed leesbaar zijn.

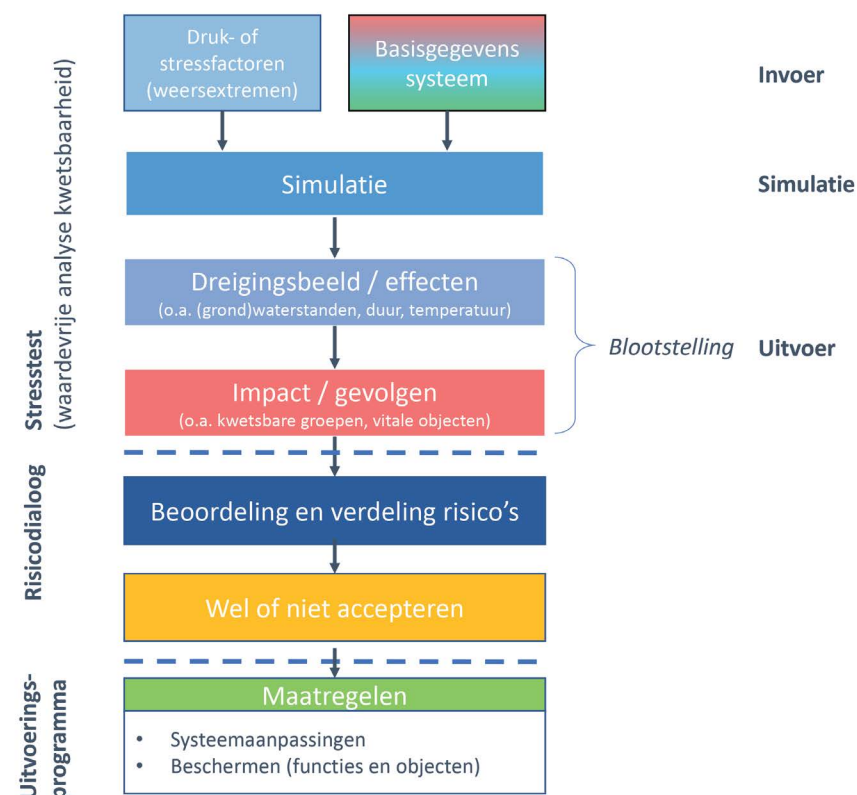
1.3 SCOPE VAN DE HANDREIKING

De handreiking 'stresstest waterkwaliteit' richt zich primair op stedelijk water en gaat niet expliciet in op wateren in het landelijk gebied en droogvallende infiltratievoorzieningen (zie toelichting in bijlage 1). Dit sluit aan bij de ambitie van STOWA om de effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit in stedelijk gebied in kaart te brengen. Hierin wijkt de scope van de handreiking in eerste instantie af van de reeds bestaande DPRA stresstesten die zich zowel op het stedelijk als het landelijk gebied richten. Ondanks dat de handreiking zich primair richt op de stedelijke waterkwaliteit, is de gepresenteerde methode generiek toepasbaar en hiermee ook bruikbaar voor het landelijke gebied. Het onderliggende rekenwerk, in deze handreiking bijgevoegd ten behoeve van het gebruiksgemak, dient voor het landelijk gebied nader uitgewerkt te worden.

De gestandaardiseerde stresstest is bedoeld om maatwerk en gezond verstand te ondersteunen en biedt daarom geen afvinklijst. Verder stelt de stresstest geen normen voor adaptatiemaatregelen en volgen er geen dimensies en/of kosten van mogelijk te nemen maatregelen. De stresstest biedt een waarde vrij oordeel over de kwetsbaarheid van de waterkwaliteit voor klimaat en dient ter ondersteuning van de risicodialoog. In afbeelding 1.1 is een weergave gegeven van de standaard voor DPRA stresstesten voor het onderdeel wateroverlast. De in deze handreiking gepresenteerde stresstest voor de waterkwaliteit volgt eenzelfde chronologie (stresstest, risicodialoog, uitvoeringsprogramma), maar kent andere op de waterkwaliteit toegespitste werkstappen.

AFBEELDING 1.1

De standaard voor DPRA stresstesten voor het onderdeel wateroverlast. In deze standaard leidt het onderdeel 'stresstest' tot een waarde vrij oordeel van de kwetsbaarheid van het systeem op het gebied van wateroverlast. De waarde vrije informatie ondersteunt de risicodialoog en beslissingen over een mogelijk uitvoeringsprogramma. Deze handreiking geeft handvatten voor het opzetten en uitvoeren van het onderdeel 'stresstest'.



De handreiking is voor het onderdeel quickscan volledig uitgewerkt. Voor de globale analyse en nadere analyse is een aanzet gedaan op basis van de best beschikbare kennis. Het document vormt hiermee een groeidocument en kan geüpdatete worden op basis van nieuwe kennis en praktijkervaring.

De stresstest betreft het maken van een waarde vrij oordeel, wat aanleiding kan geven voor het voeren van een risicodialoog en opstelling van een uitvoeringsprogramma. De werkwijze voor het opstellen van een uitvoeringsprogramma valt buiten deze handreiking. Hiervoor verwijzen we naar aanpalende media zoals de www.routekaartwaterkwaliteit.nl.

1.4 TOTSTANDKOMING HANDREIKING

De handreiking is tot stand gekomen in nauwe samenwerking met STOWA, eindgebruikers van waterschappen en gemeenten en adviseurs waterkwaliteit van adviesbureaus en kennisinstituten. Het proces van totstandkoming was erop gericht om tot een gedragen en herkenbaar product te komen. Eindgebruikers en kennisdragers zijn geconsulteerd in een zestal bijeenkomsten: drie als onderdeel van de geïnstalleerde begeleidingscommissie en drie als onderdeel van een kennis dragende werkgroep. In het proces is expliciet aandacht geweest voor de verbinding met het Nationaal Kennisprogramma Water en Klimaat (NKWK), waarbinnen onderzoek over de kwetsbaarheden van stedelijk water heeft plaatsgevonden.

In bijlage 10 is een overzicht gegeven van de betrokken experts in de begeleidingscommissie (BC) en werkgroep stresstest en hun relevantie tot het onderwerp.

Daarnaast is contact geweest met het DPRA spoor. Insteek is om voorliggende waterkwaliteitsstresstest op te nemen als bijsluiter voor de DPRA stresstesten. De handreiking is daarnaast ontwikkeld in samenhang met twee andere kennisproducten rond stedelijke waterkwaliteit en klimaatverandering: (1) de “Handreiking Weging van Waterbelang” en (2) de “Routekaart maatregelen”.

In de “Handreiking Weging van Waterbelang” is gekeken hoe de ruimtelijke ontwikkeling (en additionele maatregelen) benut kunnen worden om achteruitgang te voorkomen en robuustheid van watersystemen te versterken. In de ‘Routekaart maatregelen’ wordt middels een [interactieve routekaart](#) aangegeven hoe knelpunten in stedelijke watersystemen als gevolg van extreem weer opgelost kunnen worden. Beide documenten zijn via de STOWA website beschikbaar.

1.5 LEESWIJZER

De handreiking stresstest waterkwaliteit is als volgt opgebouwd:

- 1 hoofdstuk 1 schetst de aanleiding, het doel en de afbakening van de handreiking stresstest waterkwaliteit;
- 2 hoofdstuk 2 duidt het onderwerp waterkwaliteit, gebruikmakend van bestaande instrumenten voor het maken van een diagnose van de waterkwaliteit (o.a. Ecologische Sleutelfactoren en ecosysteemtoestanden), en geeft een overzicht van de mogelijke effecten van klimaatverandering op de (stedelijke) waterkwaliteit;
- 3 hoofdstuk 3 bevat de werkstappen voor de uitvoering van een stresstest.. Hierbij maken wij onderscheid tussen een quickscan, globale analyse en nadere analyse. De werkwijze is geïllustreerd aan de hand van een aantal casussen;
- 4 paragraaf 3.5 presenteert de aanbevelingen voor de interpretatie en het gebruik van de resultaten in een risicodialoog.

In de bijlage 1 is een toelichting gegeven op het begrip droogvallende infiltratievoorzieningen. In bijlage 2 is nadere achtergrondinformatie gegeven omtrent veranderend gebruik van het water. In de bijlagen 3 t/m 9 zijn nadere onderbouwingen gegeven ten behoeve van de uitvoering van de stresstest (toegelicht in hoofdstuk 3). In bijlage 10 is een overzicht gegeven van de betrokken experts en in bijlage 11 is een interviewlijst met voorbeeldvragen voor een veldbezoek gepresenteerd. In bijlage 12 zijn de casussen ter inspiratie beschreven.

➔ HOOFDSTUK 2 WATERKWALITEIT EN KLIMAAT

2



2.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk beschrijft wat wordt verstaan onder: (1) het onderwerp ‘waterkwaliteit’, (2) hoe de ecologische waterkwaliteit werkt en wat sturende factoren zijn (zie kader 2.1.) en (3) hoe klimaatverandering invloed uitoefent op de waterkwaliteit en wat dit betekent voor de kwetsbaarheid van de waterkwaliteit voor klimaatverandering.

2.2 WATERKWALITEIT

Definitie Kaderrichtlijn Water

In de KRW is een brede definitie van het onderwerp waterkwaliteit gegeven. Het betreft vier zaken: (1) het aanwezige leven (de biologische waterkwaliteit), (2) eigenschappen zoals temperatuur, zuurstofhuishouding, nutriënten en doorzicht (de fysisch-chemische waterkwaliteit), (3) geloosde prioritair stoffen en overige verontreinigde stoffen en (4) het hydrologische regime en de vorm van de wateren (Hydro morfologische kenmerken). Voor de chemische waterkwaliteit betekent het concreet dat er vanuit de KRW maximaal toelaatbare normen en streefwaarden voor chemische stoffen worden voorgeschreven die behaald moeten worden. Voor de ecologie vertaalt een goede waterkwaliteit zich naar een ecologische- en fysisch-chemische toestand op basis van maatlatten voor zogenaamde kwaliteitselementen zoals: doorzicht, temperatuur, fytoplankton, overige waterflora, macrofauna en vis. Zie de Handreiking KRW doelen (Gudde *et al.*, 2018) voor een nadere toelichting.

De ecologische- en fysisch-chemische toestand laat zich vertalen in beelden, zogenoemde ecosystemtoestanden (EST). Door deze beelden krijgen we een beter gevoel en beeld bij het onderwerp waterkwaliteit. Een ecosystemtoestand die past bij een goede ecologische waterkwaliteit betreft bijvoorbeeld een heldere toestand met een rijke biodiversiteit aan ondergedoken waterplanten en vis. Elk water heeft echter op basis van zijn ligging in het landschap (gevoed door grondwater, e.d.) en systeemkarakteristieke eigenschappen (bodemtype, dimensies, verblijftijd, e.d.) een bijbehorende potentie voor een bepaalde kwaliteit en daarbij passende ecosystemtoestand.

Stedelijk water valt formeel onder de KRW; de KRW (EU: Water Framework Directive) gaat immers over al het water. Desondanks wordt in de meeste stedelijke wateren niet regulier gemonitord in het kader van de verantwoording van de waterkwaliteit van Nederland richting de EU. Wel zijn er in samenspraak tussen waterschap en gemeente vaak separate doelen gesteld in het traject doelen overig water.

Gebruiksfuncties

Bovenstaande omschrijving van waterkwaliteit beschrijft niet noodzakelijk de manier waarop iedereen naar waterkwaliteit kijkt. Dit hangt af van de gebruiksfunctie(s) die een water vervult (Van der Meulen, 2023). Stedelijke wateren verschillen hierbij van wateren in landelijk gebied.

KADER 2.1

SYSTEEMBEGRIIP ALS CRUX OM EFFECTEN VAN KLIMAAT TE BEGRIJPEN

Kennis over het stellen van een juiste diagnose van de (ecologische) toestand is zeer relevant in de context van klimaatverandering aangezien dit noodzakelijk is om te kunnen duiden hoe de waterkwaliteit zich als gevolg van veranderende en toenemende druk- of stressfactoren zal ontwikkelen (afbeelding 1.1). Dit is de reden dat in paragraaf 2.3 stil wordt gestaan bij het (belang van het) verkrijgen van systeembegrip.

In deze handreiking wordt systeembegrip en begrip van de kwetsbaarheid van de waterkwaliteit geïllustreerd door gebruik te maken van bestaande waterkwaliteitskaders, zoals de STOWA handreikingen voor het uitvoeren van een ecologische systeemanalyse, waarbij de ecologische sleutelfactoren (ESF's) en de ecosystemtoestanden (EST's) als instrumenten dienen.

Zo zullen bijvoorbeeld in stedelijk gebied omwonenden belang hechten aan de belevingswaarde van het water. Voor een hoge belevingswaarde geldt de wens voor liefst helder water met weinig overlast zoals stank, vissterfte, botulisme, kroos en blauwalg. In aanvulling op de gebruiksfunctie 'belevingswaarde', zal een waterbeheerder eisen stellen die ook afhangen van andere gebruiksfuncties, zoals waterafvoer, scheepvaart, drinkwaterinname en recreatie (zoals zwemmen). Het is vanzelfsprekend dat hogere eisen worden gesteld wat betreft de aanwezigheid van vervuilende stoffen voor stedelijk zwemwater dan bijvoorbeeld voor sloten ten behoeve van waterafvoer.

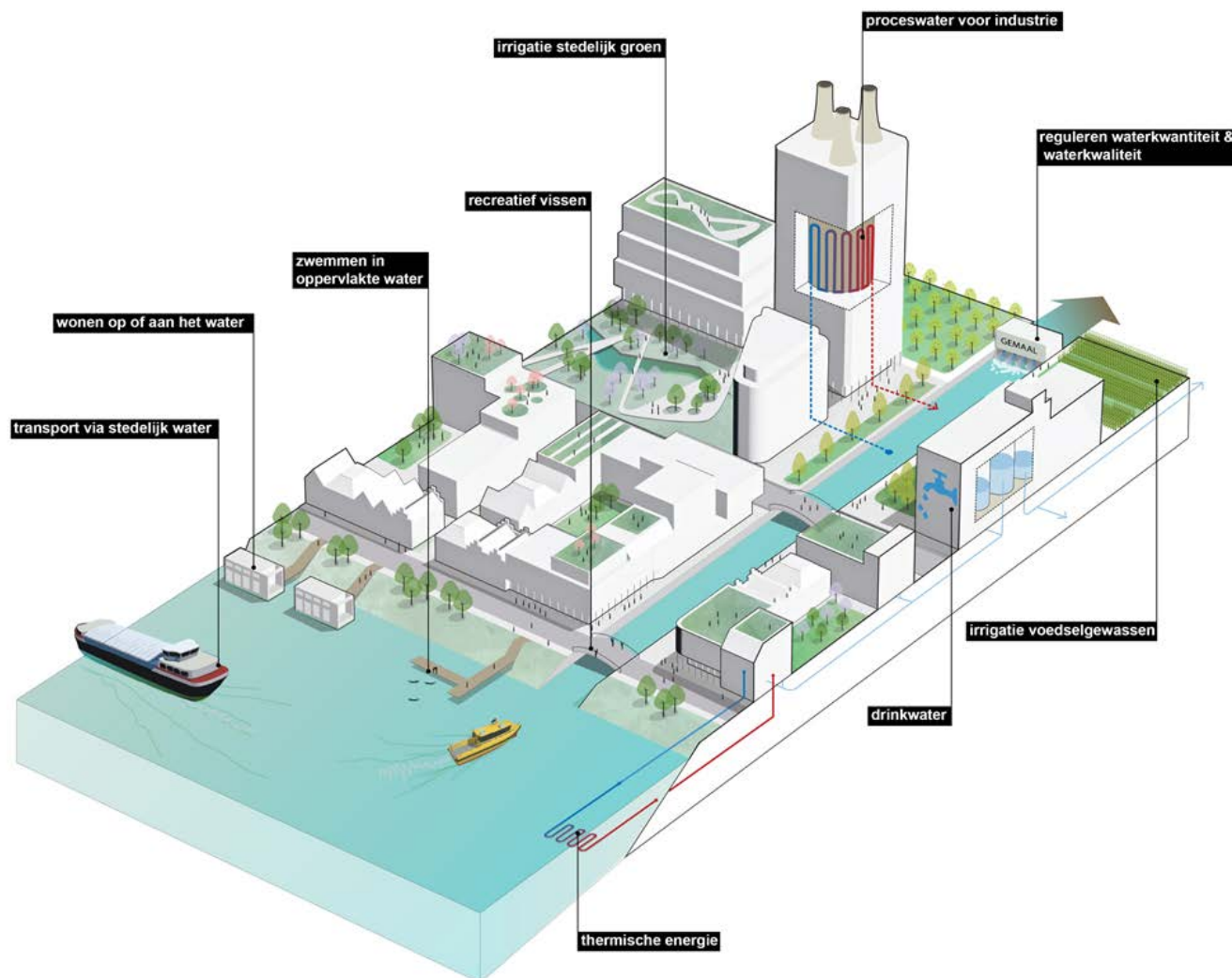
Gebruiksfuncties kunnen worden onderverdeeld naar bevoorrading (bijv. bevissing (voor consumptie), drinkwater, warmte-energie, irrigatie), regulatie & onderhoud, cultuur (bijv. recreatie, cultureel erfgoed) en ruimte (bouw op water, vervoer, gebruik ruimte onder water (bijv. voor kabels en leidingen))(Van der Meulen, 2023). Een overzicht van veelvoorkomende gebruiksfuncties in het stedelijk gebied is te zien in afbeelding 2.1. Een complete lijst van gebruiksfuncties is te vinden in bijlage 2. Ecologie (biodiversiteit) is een op zichzelf staande gebruiksfunctie.

Waterkwaliteit in deze handreiking

Het NKWK onderscheidt i.r.t. stadswater drie domeinen: (1) gebruiks- en beeldkwaliteit, (2) (volks-) gezondheid en (3) ecologische kwaliteit. De domeinen overlappen op menig aspect.

AFBEELDING 2.1

Veelvoorkomende gebruiksfunctie in gebruiksfuncties in het stedelijk gebied (Bron: Wat is de invloed van klimaatverandering op de gebruikskwaliteit? - Klimaatadaptatie (klimaatadaptatienederland.nl)).



Bijvoorbeeld blauwalg en stank hebben invloed op de volksgezondheid, gebruiks- en beeldkwaliteit en ecologische kwaliteit. Hetzelfde geldt bijvoorbeeld voor overlast door kroos, flab en dode vogels. Een ander voorbeeld is de problematiek met toxiciteit van stoffen die een negatief effect voor het onderwaterleven alsmede voor de gezondheid van (huis)dieren en waterrecreanten hebben. In deze handreiking maken we dan ook geen hard onderscheid tussen deze domeinen. We beschouwen het onderwerp waterkwaliteit in zijn volle breedte, waarbij we oog hebben voor effecten van klimaatverandering voor de ecologie, volksgezondheid en gebruiks- en beeldkwaliteit (afbeelding 2.2).

Concreet betekent het dat we in lijn met de KRW ingaan op (1) het aanwezige leven (de biologische waterkwaliteit, inclusief de microbiologische vervuilingen die een risico vormen voor de volksgezondheid bij de functie recreatie (E-coli)), (2) eigenschappen zoals temperatuur, zuurstofhuishouding, nutriënten en doorzicht (de fysisch-chemische waterkwaliteit), (3) de mogelijke lozing van prioritaire stoffen en overige verontreinigde stoffen en (4) het hydrologische regime en de vorm van de wateren (hydromorfologische kenmerken) indien relevant voor het in beeld brengen van klimaateffecten.

AFBEELDING 2.2

Holistische benadering van het onderwerp waterkwaliteit (NKWK, 2022).



2.3 SYSTEEMBEGRIJP EN TOESTANDEN

De (ecologische) waterkwaliteit is een resultante van een ingewikkeld samenspel van factoren en processen. Als een waterlichaam een slechte waterkwaliteit heeft, dan is dat vaak (maar niet altijd) te herkennen op basis van visuele waarnemingen, zoals stank, een dikke laag kroo of blauwalg. Desondanks is het niet gelijk eenduidig welke factor of combinatie van factoren deze slechte kwaliteit veroorzaakt. Daarnaast kan een waterlichaam een ogenschijnlijk goede waterkwaliteit hebben, terwijl er sprake is van vervuiling, bijvoorbeeld als gevolg van afspoeling van gewasbeschermingsmiddelen. Om grip te krijgen op de waterkwaliteit en te begrijpen waarom de waterkwaliteit is zoals die is, voert men ecologische watersysteemanalyses uit (Schep & Verbeek, 2018). Het uitvoeren van systeemanalyses is verplicht gesteld als onderdeel van de doelafleiding van de KRW (Gudde *et al.*, 2018). In een 'systeemanalyse' draait het om het leggen van de vinger op de zere plek en te begrijpen waarom de huidige toestand is zoals deze is. Hierbij probeer je te begrijpen welke processen en kenmerken leiden tot het beeld dat je in de praktijk ziet.

Bij het uitvoeren van een systeemanalyse kan het zinvol zijn om verschillende informatiestromen te beschouwen: systeemkenmerken, drukfactoren en toestanden. Onderstaand is een beknopte toelichting gegeven:

- **Systeemkenmerken.** Systeemkenmerken betreft informatie informatie over de fysieke eigenschappen van het water(systeem) en het landschap waarin het ligt, zoals:
 - de hydrologische eigenschappen, waaronder de dimensies van het water (diepte, breedte) en het aandeel van water ten opzichte van land (het percentage open water);
 - de inrichting en het beheer van het aangrenzend verhard oppervlak, zoals het percentage verhard oppervlak in een peilgebied;
 - het (water)bodemtype en de vorm van de oever;

- de verblijftijd van het water (een resultante van onder andere de dimensies van het water en het aandeel van water ten opzichte van land) en de aanwezigheid van luwe delen (een resultante van bijvoorbeeld een doorstromingsknelpunt als gevolg van de inrichting van een watergang).
- *Drukfactoren + processen.* Drukfactoren en processen oefenen invloed uit op de ecologische en fysisch-chemische toestand:
 - drukfactoren betreft informatie over externe factoren en menselijk ingrijpen als gevolg van bijvoorbeeld het beheer en de systeemkenmerken die invloed hebben op de waterkwaliteit. Voorbeelden zijn het inlaten van water, peilregime, externe belasting (bijvoorbeeld als gevolg van riooloverstorten, bladval, hondenpoep), schaduw door gebouwen en verstoring door recreatie (zoals zwemmers en bootjes op het water);
 - processen gaan over de natuurlijke processen in het water die van invloed zijn op de waterkwaliteit. Voorbeelden zijn nalevering van nutriënten uit de bodem en de groei van waterplanten.
- *Ecologische en fysisch-chemische toestand.* De ecologische en fysisch-chemische toestand is een resultante van systeemkenmerken, drukfactoren en processen. Bijvoorbeeld de zuurstofconcentratie en de aanwezigheid van ondergedoken waterplanten, kroos, drijfbladplanten en vissen. Ook de concentratie van prioritare en overige stoffen behoort tot deze categorie.

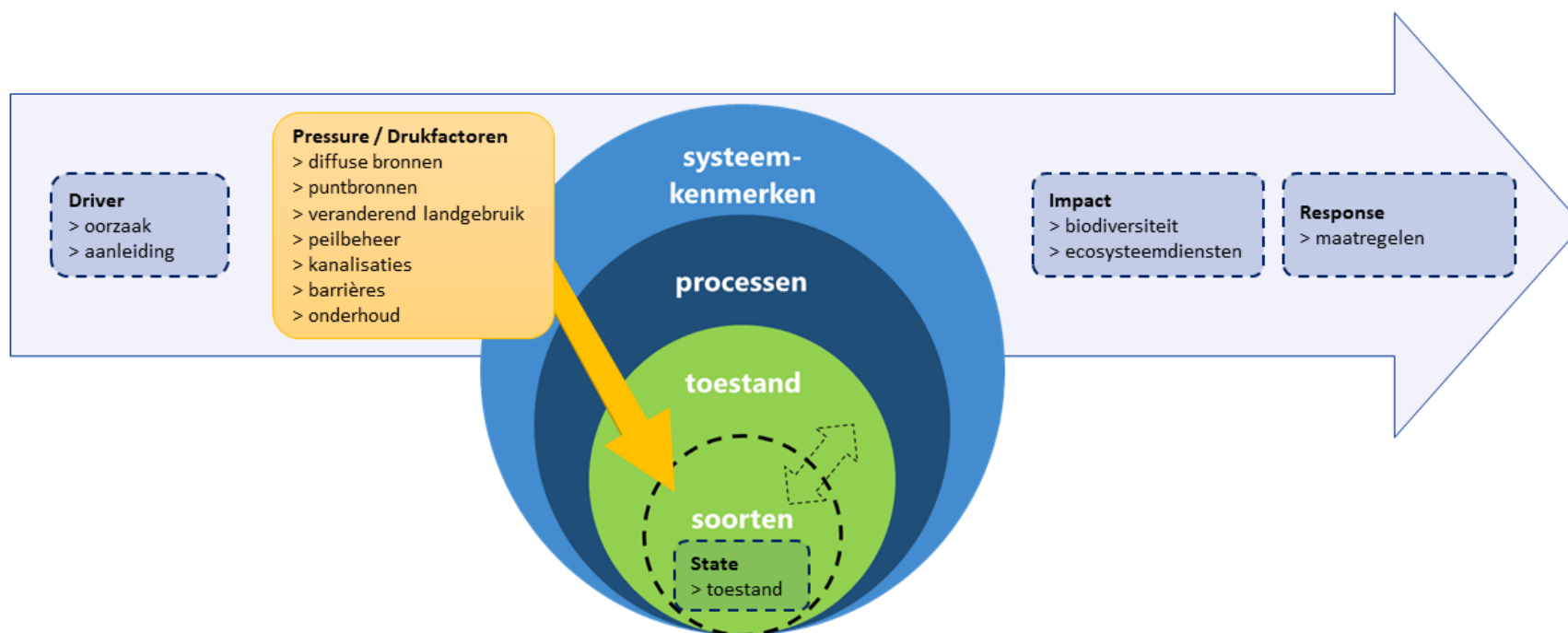
In bijlage 3 en 4 is een overzicht gegeven van verschillende informatiestromen. De ecologische en fysisch-chemische toestand ontstaat als gevolg van het samenspel tussen de systeemkenmerken, drukfactoren en processen (afbeelding 2.1). Bij een systeemanalyse is het relevant om de verschillende informatiestromen te beschouwen en te bezien of de informatie met elkaar overeenkomt en je tot het 'leggen van de puzzel' komt. In essentie bestaat een systeemanalyse dan ook uit een drietal stappen (afbeelding 2.3):

1 in de eerste stap wordt de ecologische toestand onderzocht. Welke soorten komen voor en wat zeggen deze over de fysische eigenschappen van een systeem? We kijken in de afbeelding van binnen naar buiten. Veelvoorkomende ecologische toestanden zijn bijvoorbeeld algengedomineerde troebele wateren of heldere plantenrijke wateren;

- 2 in de tweede stap wordt het systeem geanalyseerd, met systeemkenmerken en processen als vertrekpunt. De belangrijkste vragen in deze stap zijn: hoe ziet het systeem eruit? Hoe leiden systeemkenmerken als ligging in het landschap, percentage open water, bodemgesteldheid door in het systeem functioneren? Hoe beïnvloedt dit de ecologische toestand? De hamvraag van de tweede stap is 'Welke processen treden op en hoe werken deze processen door op de ecologische toestand?'. We kijken in de afbeelding van buiten naar binnen. Deze stap is in afbeelding 2.3 weergegeven met de gele pijl links;
- 3 de derde stap betreft de integratie van de eerste twee stappen. Dit is belangrijk omdat deze stappen afzonderlijk van elkaar een misleidend beeld kunnen geven. Water kan bijvoorbeeld ondanks een hoge nutriëntenbelasting helder zijn door aanwezigheid van filterende mosselen. Door enkel naar de ecologische toestand te kijken (stap 1), komt bijvoorbeeld een hoge nutriëntenbelasting niet aan het licht. De derde stap leidt dus uiteindelijk tot een beter systeembegrip.

AFBEELDING 2.3

Een watersysteemanalyse is een integratie van de ecologische toestand (aan-en afwezigheid soorten in relatie tot milieufactoren), systeemkenmerken en drukfactoren. De blauwe cirkels bepalen samen de ecologische toestand, die bestaat uit de ecologische toestand en soorten. In de afbeelding zijn tevens de onderdelen van de DPSIR (Drivers, pressure, State, Impact & Respons) weergegeven.

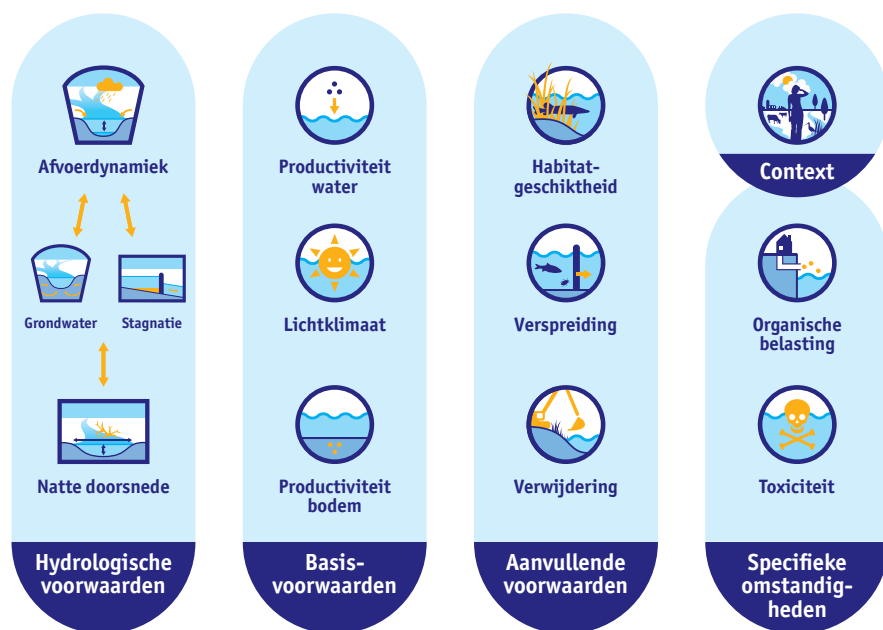


Ecologische sleutelfactoren

Voor het faciliteren van het uitvoeren van een ecologische systeemanalyses zijn de Ecologische Sleutelfactoren (ESF's) ontwikkeld. Elke ESF gaat over een deel van het watersysteem en omvat relaties tussen systeemkenmerken, drukfactoren en toestanden. Voor elke ESF zijn beslisschema's en instrumenten ontwikkeld om te bepalen of een ESF een knelpunt vormt voor het watersysteem (STOWA, 2014). De ESF's zijn onder te verdelen in drie vragen afbeelding 2.4):

AFBEELDING 2.4

Ecologische sleutelfactoren voor stilstaande en stromende wateren.



1 Is de basis op orde?

Hierbij zijn hydrologische voorwaarden (beschikbaarheid water) belangrijk (er moet immers wel water komen):

- **afvoerdynamiek** Basisafvoer, piekafvoeren.
- **grondwater** Is er sprake van kwel; wat is de kwaliteit daarvan?
- **stagnatie** Aan of afwezigheid van stroming.
- **natte doorsnede** Dwarsprofiel; breedte en diepte watergang.

Daarnaast zijn basisvoorwaarden voor het voorkomen van ondergedoken waterplanten belangrijk:

- **productiviteit water** Nutriëntenbelasting versus kritische belasting.
- **lichtklimaat** Voldoende licht op bodem voor plantengroei?
- **productiviteit bodem** Beschikbaarheid nutriënten in waterbodem.

2 Kunnen soorten er komen? Als de basis op orde is (vraag 1), kan er worden gekeken of soorten er ook daadwerkelijk kunnen komen en vestigen.

Hierbij zijn aanvullende voorwaarden belangrijk:

- **habitatgeschiktheid** Voldoet water aan eisen die organismen stellen aan leefomgeving?
- **verspreiding** Bereikbaarheid voor verschillende soorten planten en dieren.

3 Kunnen soorten er blijven? Worden ze niet actief verwijderd of door specifieke omstandigheden vernietigd?

- **verwijdering** Invloed van onderhoud of vraat op voorkomen van organismen.
- **organische belasting** Belasting organisch materiaal en zuurstofhuishouding.
- **toxiciteit** Is het water giftig voor planten en dieren?

Voor de uiteindelijke afweging voor het vaststellen van doelen en het definiëren van maatregelen is het ook belangrijk om te kijken naar de functie van een watersysteem. Watersystemen kunnen verschillende gebruiksfuncties hebben, bijvoorbeeld bijdragen aan natuur, aan- en afvoer van water voor landbouw en recreatie. Hiervoor is een extra sleutelfactor ontwikkeld:

- **context** Bredere context waterbeheer, belangenafweging op hoger niveau.

Deze sleutelfactor is relevant in relatie tot de risicodialoog van de stresstest.

Ecosysteemtoestanden

Omdat waterkwaliteit op zichzelf een vrij ongrijpbaar onderwerp is, heeft STOWA als onderdeel van de ESF-methode zogenaamde EST's ontwikkeld (afbeelding 2.5, volgende pagina). Voor elke EST is gedefinieerd wat kenmerkend is aan de toestand, wat de ecologische toestand is, in welk type wateren de EST kan voorkomen en welke vissoorten kenmerkend zijn (STOWA, 2020). De overgang van een EST naar een andere EST verloopt via ESF's. De tot nu toe ontwikkelde toestanden betreffen:

- 1 troebel water met weinig algen;
- 2 troebel water met groenalgen;
- 3 troebel water met blauwalgen
- 4 water met kroos;
- 5 water met drijfbladplanten;
- 6 helder water zonder ondergedoken waterplanten;
- 7 helder water met woekerende ondergedoken waterplanten;
- 8 helder water met gevarieerde ondergedoken waterplanten;
- 9 een watergang volgroeid met helofyten (verlanding van sloten);
- 10 een watergang met monotone onderwatervegetatie overdekt met kroos (combinatie van 4 en 7);
- 11 een watergang met drijfbladplanten en ondergedoken waterplanten (combinatie van 5 en 7).

De ecosysteemtoestanden helpen zowel in het begrip als in de dialoog over de waterkwaliteit.

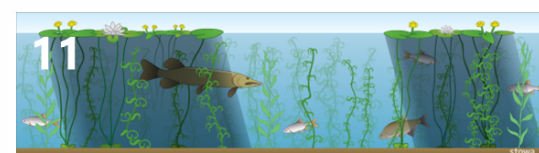
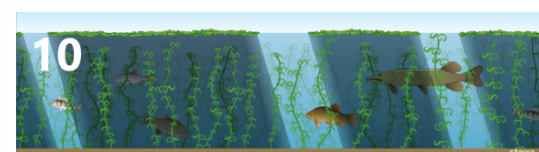
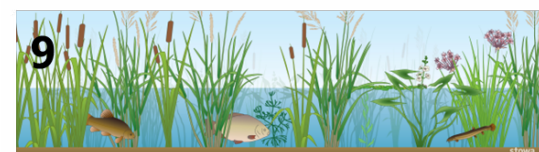
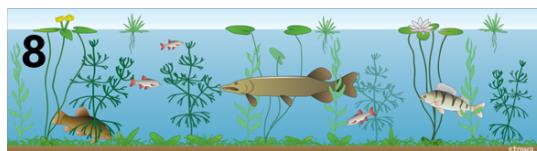
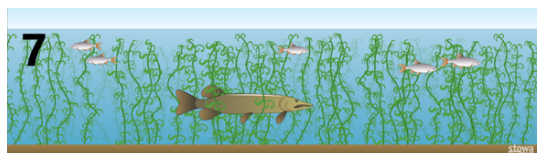
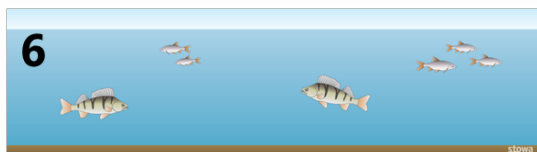
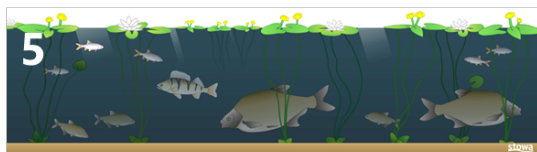
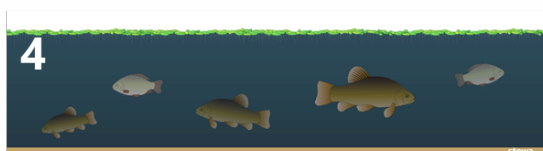
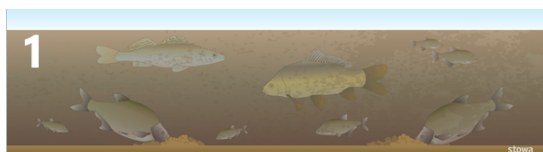
Robuustheid

De ecosysteemtoestand is geen statisch gegeven. Watersystemen kunnen als gevolg van veranderingen van systeemkenmerken en drukfactoren (bijv. klimaatverandering) van ecosysteemtoestand wisselen. Watersystemen kennen echter een weerstand, waardoor ze in dezelfde toestand blijven. Wordt de verandering/druk echter te groot, dan 'kantelen' ze naar een andere toestand. De term robuustheid duidt de mate waarin ze tegen een stootje kunnen aan. De robuustheid wordt vaak bepaald op basis van de actuele verhouding tussen de belasting (druk) en kritische grens (maximale druk). Omslagpunten of kritische grenzen zijn systeem specifiek en afhankelijk van de systeemkenmerken en overige drukfactoren.

Afbeelding 2.6 (STOWA, 2011) illustreert dit. De lichtblauwe curves onder in de afbeelding geven de huidige situatie weer voor wat betreft de kritische grenzen, waarbij de lichtblauwe pijlen aangeven hoe respectievelijk de belasting (naar rechts) en de kritische grenzen (naar links) verschuiven bij toenemende druk. Hierdoor verschuift de toestand in het voorbeeld van een helder water met gevarieerde ondergedoken waterplanten (EST8) naar troebel water met groenalgen (EST2) onder druk van nutriënten (ESF1). Voorbeelden van veranderingen van robuustheid onder invloed van klimaatverandering staan vermeld in kader 2.2.

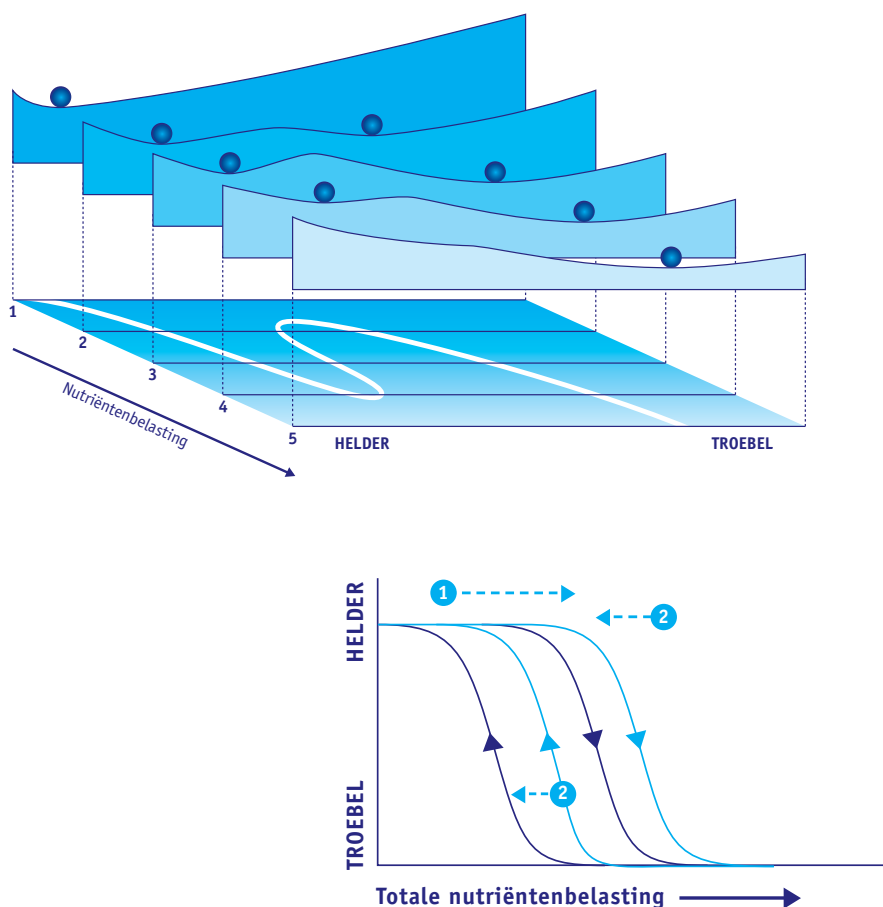
AFBEELDING 2.5

De acht basale ecosysteemtoestanden voor stilstaand water gedefinieerd door STOWA (1-8) samen met drie aanvullende toestanden (9-11): 1) troebel water met weinig algen; 2) troebel water met groenalgen; 3) troebel water met blauwalgen; 4) water met kroos; 5) water met drijfbladplanten; 6) helder water zonder ondergedoken planten; 7) helder water met woekerende ondergedoken planten; 8) helder water met gevarieerde ondergedoken planten; 9) een watergang volgroeid met helofyten (verlanding van sloten); 10) een watergang met monotone ondergedoken planten overdekt met kroos; 11) een watergang met drijfbladplanten en ondergedoken waterplanten (STOWA, 2020).



AFBEELDING 2.6

Robuustheid van watersystemen. Linksboven: Knikker in een kuiltje - Weergave van stabiele toestanden op vijf verschillende niveaus van nutriëntenbelasting. Op niveau 1 en 5 is slechts één stabiele toestand mogelijk, namelijk helder (1) of troebel (5). De hoogte van de bult bepaald de mate van robuustheid (weerstand van veranderingen). (STOWA, van helder naar troebel). Rechtsonder: de weg van helder naar troebel is anders dan van troebel naar helder als gevolg van de robuustheid.

**KADER 2.2****VOORBEELDEN VERANDERING VAN ROBUUSTHEID ONDER INVLOED VAN KLIMAATVERANDERING**

Klimaatverandering kan via verschillende processen invloed hebben op de waterkwaliteit en de robuustheid hiervan. Hieronder gaan we in op enkele voorbeelden van processen in het watersysteem die beïnvloed worden door klimaatverandering (deze voorbeelden komen uit STOWA, 2011):

- **hogere interne fosforbelasting** door versnelde mineralisatie die het gevolg is van opwarming. Hierbij komt fosfor vrij. Doordat ook de zuurstofconcentratie afneemt (afname oplosbaarheid in het water), kan er bovendien aan ijzer gebonden fosfor vrijkomen. Hierdoor neemt de interne belasting toe;
- **de hoeveelheid stikstof** in het oppervlaktewater kan (sterk) verminderen door de (forse) toename van denitrificatie bij stijgende temperatuur;
- **klimaatverandering** kan leiden tot een langer groeiseizoen met hierdoor in het voor- en najaar een hogere fytoplanktonbiomassa. Waterplanten kunnen hierdoor de competitie met algen verliezen wat resulteert in een lagere kritische belasting;
- **veranderingen** in de samenstelling van de visgemeenschap zorgen waarschijnlijk voor sterkere predatie op zoöplankton met als resultaat dat, onder verder vergelijkbare omstandigheden, de biomassa aan fytoplankton toeneemt als het warmer wordt. Hogere temperaturen leiden tot een langere paaitijd. Hierdoor zijn er langere tijd kleine vissen aanwezig die vaak sterk prederen op zoöplankton. Dit resulteert in lagere kritische grenzen;
- **cyanobacteriën** zijn in het voordeel ten opzichte van groenalgen bij hogere temperaturen, waardoor hun aandeel toeneemt. Dit met name als er in een watersysteem sprake is van langere verblijftijden. De lange verblijftijden hebben tot gevolg dat fytoplankton minder snel wordt uitgespoeld. Vooral langzaam groeiende soorten zoals sommige cyanobacteriën hebben hier voordeel van.

2.4 KLIMAATVERANDERING

2.4.1 Meteorologische effecten

Klimaatverandering leidt in Nederland tot meer opwarming en hitte, meer wateroverlast in de vorm van piekbuien en meer langdurige droogte (tabel 2.1). Wat klimaatverandering voor de nabije toekomst betekent voor Nederland is door het KNMI zichtbaar gemaakt met de vier klimaatscenario's Gh, Gl, Wh en Wl, waarbij verandering van luchtstromingspatronen en temperatuurstijging sturende factoren zijn (KNMI [klimaatscenario's](#)). Deze scenario's gaan uit van de door het Intergouvernementele Werkgroep inzake Klimaatverandering (IPCC) gepubliceerde modelresultaten. In het kader van het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie zijn voor Nederland vier 'klimaatdrukfactoren' geïdentificeerd: hitte, wateroverlast, droogte en overstroming ([Kennisportaal Klimaatadaptatie](#)). In tabel 2.1 is een overzicht gegeven van deze klimaatdrukfactoren.

Klimaatverandering leidt hiermee tot een verandering van het hydrologische regime. Tegelijkertijd worden biochemische processen als gevolg van een toename van temperatuur beïnvloed. Klimaatverandering oefent hiermee een druk uit op de waterkwaliteit en beïnvloedt de robuustheid van watersystemen. Afhankelijk van de specifieke situatie kan klimaatverandering tot een verandering van (ecosysteem)toestand leiden.

TABEL 2.1

Overzicht klimaatdrukfactoren op waterkwantiteit en -kwaliteit.



Door klimaatverandering stijgt de temperatuur. De gemiddelde luchttemperatuur in Nederland is sinds 1907 met meer dan 2 graden toegenomen. Ook het oppervlaktewater is in deze periode warmer geworden. De temperatuur beïnvloedt het hydrologische regime (neerslag en verdampingwater). Daarnaast beïnvloedt de watertemperatuur de biochemische processen in het water en de (water)bodem.



Als gevolg van klimaatverandering neemt de jaarlijkse neerslaghoeveelheid toe. Wateroverlast kan ontstaan na langdurige en hevige regenval. Extreme regenbuien komen met name in de zomer steeds vaker voor. Zomerse hoosbuien kunnen in de toekomst nog extremer worden. Dit zal vooral in het stedelijk gebied, waar veel verhard oppervlak aanwezig is, voor meer wateroverlast zorgen. Als een gevolg zal de afstroming van hemelwater toenemen en neemt de frequentie van riooloverstorten toe. Het hydrologische regime ondervindt verandering. Voor waterkwaliteit zijn zowel de effecten rond een piekbui als jaarrond relevant.



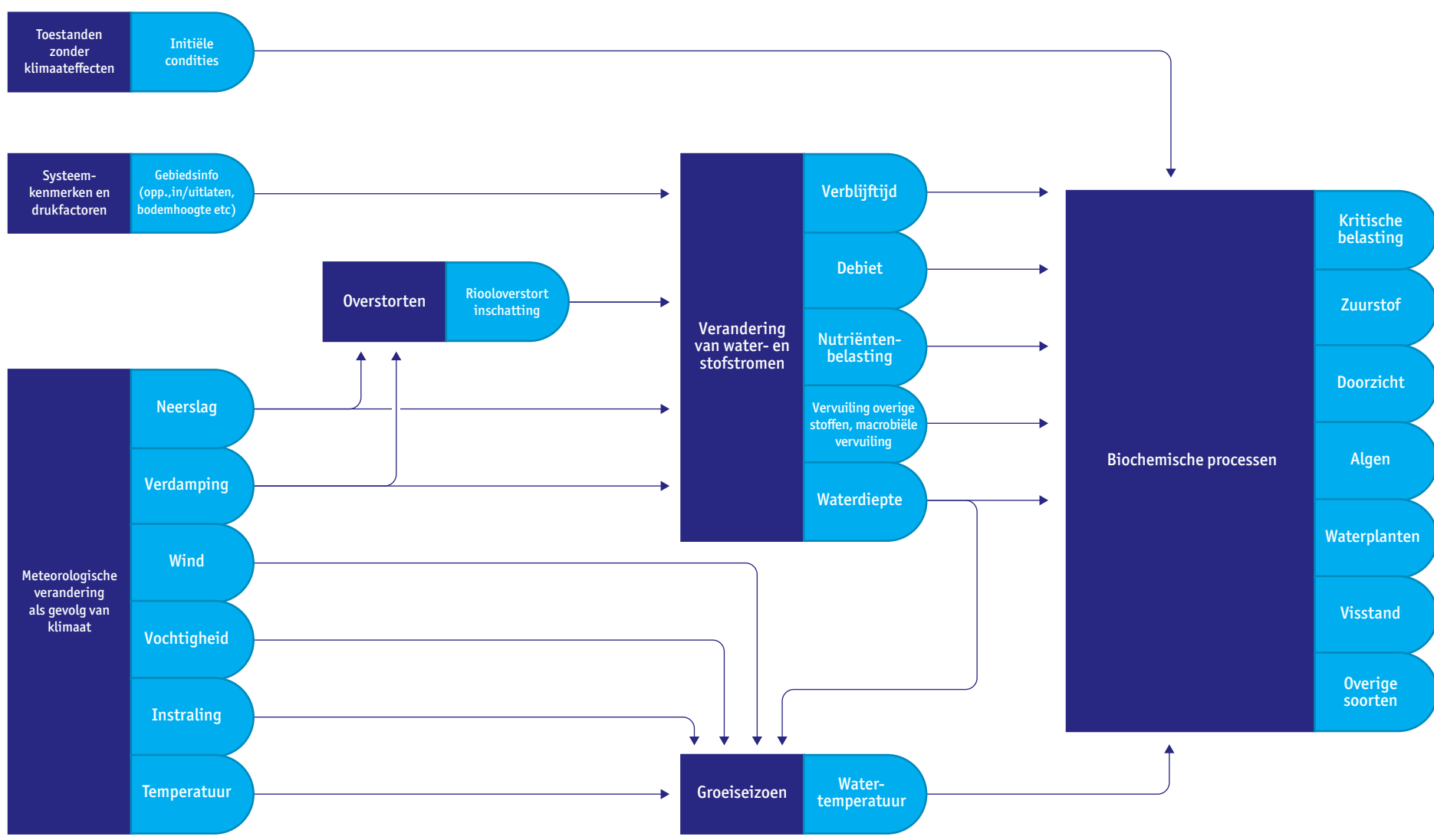
Door klimaatverandering nemen de extremen in weersituaties toe. Naast perioden van langdurige regenval komen ook steeds vaker langdurige warme en droge perioden voor. Droogte ontstaat als er meer water verdampt dan er neerslag valt. Er is dan een neerslagtekort. Vooral het voorjaar en de zomers worden droger. Langdurige droogte kan ertoe leiden dat het water uitzakt of dat er meer gebiedsvreemd water ingelaten gaat worden om waterstanden op peil te houden. Daarnaast leiden lage rivierwaterstanden (door lage aanvoer (afname gletsjers in het aanvoergebied)) in combinatie met hitte en droogte tot watertekort (H2O, 2022).



De waterafvoer van de grote rivieren neemt in de winter toe. Door wolkbreuken kan de afvoer van rivieren ook in andere seizoenen problemen veroorzaken. De zeespiegelstijging zet door. De grote rivieren kunnen hiermee hun water niet meer kwijt met wateroverlast als mogelijk gevolg. Daarnaast neemt de zoutinrusie toe. Ook de vochthuishouding en daarmee de stabiliteit in veen- en klei/veendijken wordt bedreigd bij langdurige droogte. In deze studie nemen we verzilting als aspect van klimaatverandering mee. Scenario's rondom een andere kustverdedigingsstrategie vallen buiten deze handreiking.

AFBEELDING 2.7

Indicatief overzicht van klimaateffecten (niet uitputtend).



Dit heeft vervolgens gevolgen voor de gebruiksfuncties van het stedelijk water, al kan klimaatverandering op zichzelf ook leiden tot een verandering van gebruik. Hieronder bespreken we eerst hoe klimaatverandering de waterkwaliteit beïnvloedt (paragraaf 2.4.2) om vervolgens te beschrijven welke gevolgen klimaatverandering indirect en direct heeft voor de gebruiksfuncties van stedelijk water (paragraaf 2.4.3).

2.4.2 Invloed op de waterkwaliteit

De klimaatdrukfactoren (hitte, wateroverlast, droogte en een toename van verzilting (zie tabel 2.1) hebben via verschillende routes effecten op de waterkwaliteit. In afbeelding 2.7 is een indicatief overzicht gegeven van de wijze waarop klimaatverandering de waterkwaliteit beïnvloedt.

Onderstaand is per aspect (1) meer hitte, (2) hevigere neerslag, (3) langere droogte en (4) verzilting een beschrijving gegeven (NKWK, 2022 & [Kennisportaal Klimaatadaptatie](#)). Het aspect overstroming beperken we tot het onderwerp verzilting omdat de scope van de handreiking zich beperkt tot eerste orde effecten. Veranderende kustverdediging valt bijvoorbeeld buiten de scope. Een samenvatting van de belangrijkste effecten is (grafisch) weergegeven in afbeelding 2.8 en in tabel 2.2.

Hitte

Een hogere temperatuur en hittegolven (in combinatie met hogere instraling (licht) leiden tot warmer oppervlaktewater. Als een gevolg hiervan wordt het groeiseizoen verlengd, het begint eerder en eindigt later. De competitie tussen algen en waterplanten wordt hierdoor beïnvloed.

Door een hogere watertemperatuur daalt daarnaast de zuurstofverzadigingsgraad en wordt organisch materiaal sneller afgebroken, wat de zuurstofvraag vergroot. Deze twee processen samen kunnen leiden tot **zuurstofloosheid** met vissterfte, macrofauna en zoöplankton tot gevolg. Daarnaast leidt de afbraak van organisch materiaal in het water en de bodem tot meer nutriënten in het water (**voedselrijkdom**). Tezamen met snellere algengroei bij warmer weer leidt dit

tot troebeler water en kan een watersysteem omslaan naar een andere toestand. Ten slotte draagt warmer water bij aan een grotere beschikbaarheid (o.a. vanuit de waterbodem) van nutriënten (nalevering) en giftige stoffen (toxiciteit) in het water (**verontreiniging**). De effecten van hitte zijn merkbaar in alle type watersystemen, waarbij schommelingen van de watertemperatuur en de mogelijke effecten daarvan het grootst zijn in ondiep water. Een grote watermassa (diep en breed water) houdt daarentegen de warmte langer vast. Het bereikt daarmee niet de hoge temperaturen als ondiep water, maar het aantal dagen dat het water warmer blijft dan gemiddeld is juist hoger. Ondiepe wateren koelen namelijk ook weer sneller af.

Naast dat het klimaateffect hitte de waterkwaliteit beïnvloedt, heeft het ook een direct effect op het onderwaterleven. Voor sommige soorten, bijvoorbeeld vis en macrofauna kan de **watertemperatuur** te hoog worden en leiden tot sterfte. Aan de ander kant biedt een hogere watertemperatuur kansen voor nieuwe soorten om zich te vestigen.

Dit zijn echter vaak soorten die kunnen woekeren (exoten) en hiermee het originele onderwaterleven onder druk zetten. De verschuiving van temperatuur heeft invloed op de interactie tussen soorten.

Wateroverlast

Wateroverlast als gevolg van hevigere neerslag kan leiden tot een hogere nutriëntenbelasting (stikstof en fosfor) door meer uit- en afspoeling naar het oppervlaktewater (zeker als het eerst een tijd droog is geweest) en door riooloverstorten als de capaciteit van het gemengde riool wordt overschreden (**voedselrijkdom**). De verhoogde nutriëntenbelasting kan ertoe leiden dat een watersysteem omslaat naar een andere toestand, bijvoorbeeld met troebeler water, een grotere kans op blauwalg en minder waterplanten. Door het afspoelen van vuil en stof (straatvuil) kan het oppervlaktewater na een regenbui ook (tijdelijk) troebel zijn. Daarnaast kunnen milieuvreemde stoffen naar het oppervlaktewater afspoelen (**verontreiniging**).

Riooloverstorten kunnen leiden tot meer organische belasting, waardoor het **zuurstofgehalte** in het water daalt. Door zuurstofloosheid sterven vissen en kleine dieren, wat ten koste gaat van de biodiversiteit. Daarnaast kunnen riooloverstorten microbiële verontreinigingen, microverontreinigingen en giftige stoffen bevatten die in het oppervlaktewater terechtkomen (verontreiniging). Dit is nadelig voor ondergedoken waterplanten en vissen.

In sommige situaties is de toename van regen gunstig. Bijvoorbeeld als er een gebrek is aan water (droogval) of stagnante situaties tot problemen leiden. De verblijftijd kan tijdelijk flink afnemen. Naast een toename van piekbuien heeft het veranderend neerslagpatroon jaarrond effecten.

Droogte

Meer en langere periodes van droogte vertalen zich in meer verdamping en minder **doorstroming** (tenzij er actief ingelaten wordt). Door verdamping worden concentraties van stoffen in het water groter. Dit kan bijdragen aan een hogere toxiciteit (gifstoffen), een hogere nutriëntenbelasting (stikstof (N) en fosfor (P)) en verzilting (opgeloste zouten). Door de verminderde stroming treedt er minder verversing op, waardoor deze verhoogde concentraties een risico vormen voor de waterkwaliteit. Bij gezonde ecosystemen is een afname van de doorstroming geen probleem. Is er echter sprake van een relatief hoge belasting dan kan een watersysteem omslaan naar een andere toestand. Extreme verdamping kan leiden tot de droogval van (delen van) het oppervlaktewater en de oevers. Droogval beïnvloedt bodemprocessen, wat leidt tot een grotere opname van voedingsstoffen uit de bodem als het watersysteem weer vol water staat. Daarnaast versnipert droogval het habitat, waardoor soorten niet meer kunnen migreren en het oppervlak van het leefgebied afneemt.

Om de gevolgen van verdamping op de waterkwaliteit te mitigeren, wordt in stedelijk gebied vaak gebiedsvreemd water ingelaten. Dit kan nadelige consequenties hebben, omdat de nutriëntenbelasting zal toenemen (als het inlaatwater van slechte kwaliteit is). Ook dit kan een omslag teweegbrengen naar een andere toestand met een verminderde biodiversiteit. Daarnaast is het uit het oog van spaarzaam omgaan met zoet water niet altijd wenselijk om water in te laten.

Overstroming - verzilting

Door klimaatverandering neemt verzilting vooral toe in gebieden aan de kust. Dat komt doordat er door zeespiegelstijging in combinatie met bodemdaling steeds meer invloed is van zoute kwel in het oppervlaktewater, maar ook van instroom van het zeewater. Zeespiegelstijging in combinatie met droogte leiden tot afnemende rivierafvoeren waardoor in rivieren (bijvoorbeeld de Nieuwe Waterweg) en kanalen (bijvoorbeeld Noorzeekanaal - Amsterdam-Rijnkanaal) de zouttong zich steeds verder landinwaarts uitbreidt. Door lage rivierwaterstanden in de zomer in combinatie met de toenemende zoutinvloed staat de aanvoer en beschikbaarheid van voldoende kwalitatief goed en zoet water onder druk. Ten slotte stijgt de watervraag als gevolg van een toenemende verdamping door droogte en hitte. Dit leidt tot extra verzilting in het achterland, omdat er meer brak water in wordt gelaten vanuit de grote rivieren en kanalen met hogere zoutgehalten als gevolg. Het zoutgehalte van het water bepaalt welke dier- en waterplanten er voor kunnen komen. Op zichzelf zijn brakke situaties geen probleem. Die bestaan ook van nature. Incidentele pieken van brak of zout water kunnen in een overwegend zoet ecosysteem echter desastreuze gevolgen hebben voor het onderwaterleven.

In tabel 2.2 is een samenvatting van de effecten van de klimaatdrukfactoren op de ecologische sleutelfactoren gegeven.

TABEL 2.2

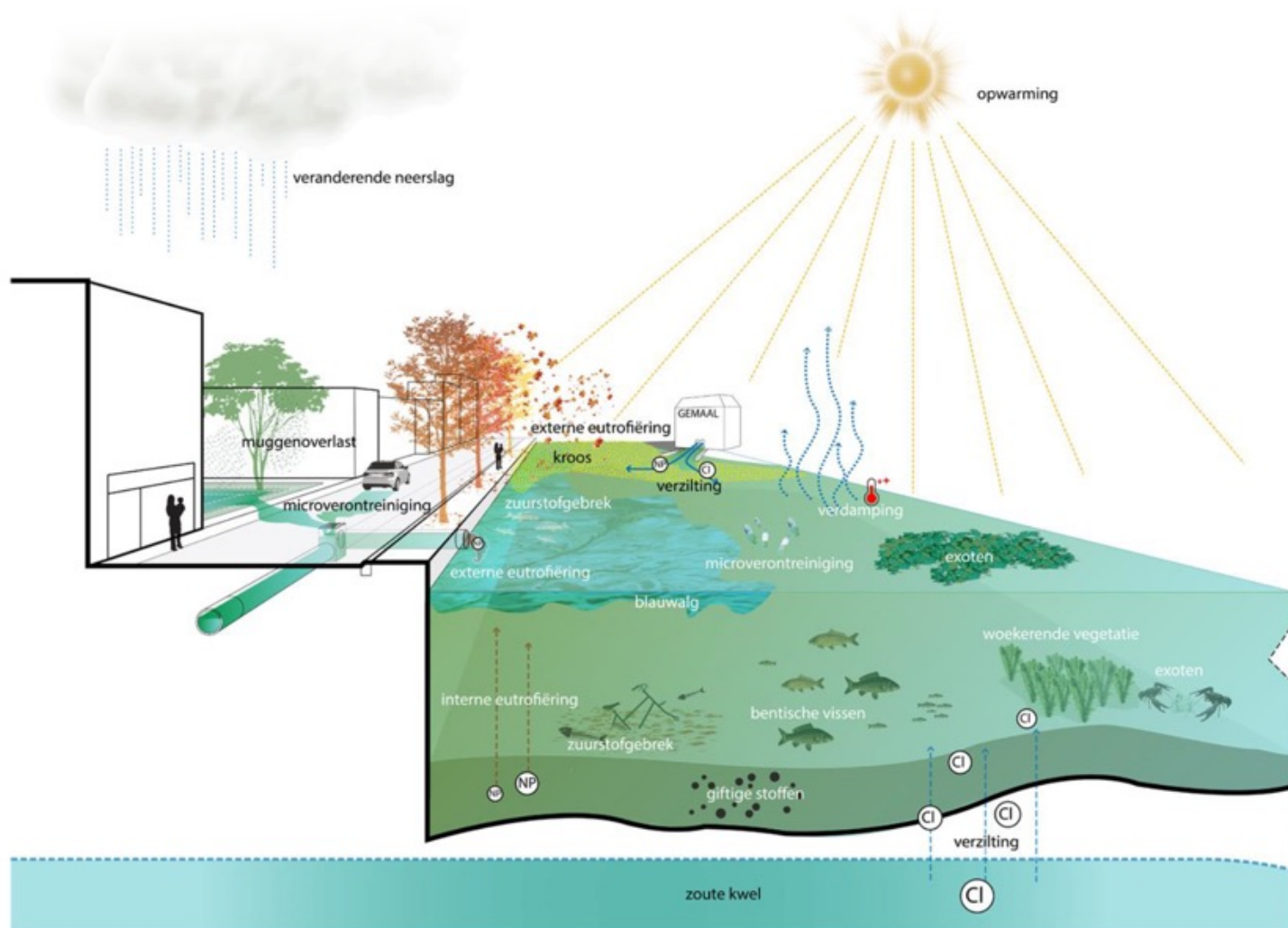
Samenvatting van de belangrijkste (nadelige) effecten van klimaatverandering op ESF's, uitgesplitst naar wateroverlast, droogte, hitte en overstroming - verzilting.

ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOR	WATEROVERLAST	DROOGTE	HITTE	OVERSTROMING - VERZILTING	WAT IS HET PROBLEEM?
0. Beschikbaarheid water	Grilliger afvoerregime heeft invloed op de beschikbaarheid van water (grondwater (kwel, wegzijging), de verblijftijd en de stromingscondities	Toenemende droogte leidt vaker tot droogval of stagnatie	Toenemende verdamping, afname waterbeschikbaarheid (grondwater) leidt vaker tot droogval of stagnatie	afname van beschikbaarheid zoet water	Een afnemende waterbeschikbaarheid kan leiden tot stagnatie en droogval en als gevolg daarvan een verandering van de ecosysteemtoestand of directe sterfte.
1. productiviteit water	toename van uit/afspoeling verhoogt nutriëntenbelasting	minder doorstroming en inlaat gebiedsvreemd water van slechte kwaliteit verhoogt nutriëntenbelasting en risico op algen en kroos	toename temperatuur vergroot concurrentiekracht algen en verlaagt hiermee de draagkracht / kritische grens. Daarnaast neemt mogelijk de belasting toe door toename inlaatwater ter compensatie van de verdamping	geen direct substantieel effect	hogere externe nutriëntenbelasting, lagere kritische grens. Hierdoor neemt de kans op waterkwaliteitsproblemen (algen-groei, blauwalgen) toe.
2. lichtklimaat	verhoogde erosie en tijdelijke vertroebeling door neerslag en uit/afspoeling van deeltjes	verhoogde (veen) afbraak in percelen en als gevolg daarvan meer vertroebelende deeltjes	toename van heldere dagen (zonder bewolking) leidt tot meer (zon) instraling	geen direct substantieel effect	combinatie van meer licht (instraling) en minder licht (vertroebeling) leidt tot veranderde omstandigheden voor groei diverse soortenrijke ondergedoken vegetatie.
3. productiviteit bodem	geen direct substantieel effect	minder doorstroming leidt tot relatief grotere bijdrage nalevering fosfor uit de bodem (het wordt zichtbaar), inlaat gebiedsvreemd water (sulfaat) zorgt voor grotere nalevering van fosfor uit bodem, droogval leidt tot meer vastlegging fosfor uit de waterbodem	toename nalevering van fosfor uit bodem door hogere productie en bacteriële activiteit	geen direct substantieel effect	toename van nalevering van fosfor vanuit de waterbodem.

ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOR	WATEROVERLAST	DROOGTE	HITTE	OVERSTROMING - VERZILTING	WAT IS HET PROBLEEM?
4. habitatgeschiktheid	effecten op onder andere erosiesedimentatie, geulvorming en vegetaties op de oever door verandering van afvoerdebiet en peil	toename verblijftijd kan tot meer blauwalgen leiden, droogval heeft directe effecten op soorten door een veranderend habitat	opwarming water heeft directe effecten op soorten door een veranderend habitat	verzilting leidt tot verschuiving van leefgemeenschappen en/of sterfte	bij droogval verdwijnt habitat voor waterplanten en andere organismen. Warmer water en verzilting kan leiden een verandering in soortsaanstelling, waarbij habitat aantrekkelijker wordt voor exotische soorten en klimaatschuivers.
5. Verspreiding	Soorten die zich via water verplaatsen kunnen zich makkelijker verplaatsen door toegenomen transport van water	langdurige droogval versnipperd habitats, waardoor soorten meer moeite hebben zich te verspreiden	Hitte leidt vaak tot gedragsverandering van soorten en zoektocht naar geschikt habitat	geen direct substantieel effect	afnemende verspreidingsmogelijkheden in wateren die (langdurig) droogvallen.
6. Verwijdering	Soorten kunnen uitspoelen door hoge debieten en stroomsnelheden als gevolg van toename in extreme afvoer zal er vaker gemaaid worden	geen direct substantieel effect	als gevolg van temperatuuroename zal er vaker gemaaid (meer productie planten) en/of gebaggerd (meer slibvorming) worden	geen direct substantieel effect	Toename verstoring en verwijdering door meer beheer (maaien en baggeren).
7. Organische belasting	uit- en afspoeling verhoogt organische belasting en hierdoor meer kans op problemen met zuurstof	minder doorstroming verlaagt aeratie en zorgt sneller voor zuurstofloze condities	daling zuurstofverzadigingsgraad, snellere afbraak organisch materiaal en warmer water kunnen leiden tot meer zuurstofloosheid en vissterfte	geen direct substantieel effect	toename organische belasting en afname kritische grens leidt tot lagere zuurstofconcentratie en daardoor grotere kans op sterfte van vis en andere fauna. Tevens ook grotere kans op stank.
8. Toxiciteit	uit- en afspoeling milieuvreemde stoffen verhoogt toxische druk	minder doorstroming verhoogt toxische druk (er wordt minder verdund) en mogelijke extra belasting door toxische stoffen uit gebiedsvreemd water	hogere toxische druk bij toename temperatuur door toename bio beschikbaarheid van stoffen. Grotere kans op bacteriële problemen	geen direct substantieel effect	grotere toxische druk, en daardoor kans op sterfte van organismen.

AFBEELDING 2.8

Globaal overzicht van effecten van klimaatverandering op het stedelijk aquatisch ecosysteem door opwarming en een veranderend neerslagpatroon in de vorm van hevigere neerslag en langdurige periodes van droogte (Bron: Kennisportaal Klimaatadaptatie).



TABEL 2.3

Nadelige effecten van klimaatverandering op de gebruiksfuncties van stedelijk water, uitgesplitst naar Wateroverlast, droogte, hitte en overstroming - verzilting (NKWK, 2022).

GEBRUIKSFUNCTIE	WATEROVERLAST	DROOGTE	HITTE	OVERSTROMING - VERZILTING	TOELICHTING
Opvang riooloverstort	x				Bij hevige regenval is er een hoger risico op riooloverstorten.
Waterafvoer	x				Bij hevige regenval heeft het watersysteem mogelijk niet voldoende capaciteit voor het afvoeren van water.
Energieopwekking	x	x	x	x	Oppervlaktewater kan worden gebruikt voor verwarmen of koelen. Koelwater warmt bij gebruik op en wordt daarna geloosd. In warme periodes kunnen er beperkingen gelden voor het lozen van warm water. Daarnaast kan verzilting het gebruik van oppervlaktewater als koelwater beperken.
Beregeningswater (stedelijk groen en voedselgewassen)	x	x	x	x	In warme en droge perioden neemt het risico op blauwalgen in irrigatiewater toe. Tijdens piekbuien kan irrigatiewater vervuild raken. Verzilting maakt water minder geschikt voor irrigatie.
Ontvangend oppervlakte-lozingswater	x				Bij hevige regenval is er minder capaciteit voor lozingswater in het oppervlaktewatersysteem.
Scheepvaart		x			In droge perioden is water mogelijk onvoldoende diep voor scheepvaart.
Hittestress verminderen			x		Stedelijk water kan verkoelend werken. Deze werking vermindert als het water sterk opwarmt tijdens een hittegolf.
Zuivering	x	x	x	x	Waterplanten zuiveren het oppervlaktewater. Door klimaatverandering kunnen waterplanten afnemen, bijvoorbeeld door hitte, verdroging en verzilting. Na piekbuien kan het water troebel worden, waardoor waterplanten tijdelijk weinig licht krijgen.
Zuurstofverrijking	x	x	x	x	Waterplanten zorgen voor meer zuurstof in het water. Door klimaatverandering kunnen waterplanten afnemen, bijvoorbeeld door hitte, verdroging en verzilting. Na piekbuien kan het water troebel worden, waardoor waterplanten tijdelijk weinig licht krijgen.
Kijkwater en -beleving	x	x	x	x	Door klimaatverandering kan de waterkwaliteit afnemen. Het water kan troebel worden en er kunnen algenbloeien ontstaan.
Cultuurhistorisch	x	x	x		De waterkwaliteit- en kwantiteit van cultuurhistorische wateren kan afnemen door klimaatverandering. Grachten kunnen droogvallen, of water kan troebel worden.
Wonen op/aan water	x	x	x		Klimaatverandering vormt uitdagingen voor wonen op of aan het water. De waterkwaliteit kan afnemen, woonboten kunnen in problemen komen tijdens droogte of na hevige neerslag.
Natuur	x	x	x	x	Klimaatverandering kan een bedreiging vormen voor natuur in en rond het water. Na hevige neerslag kan er vervuiling in het water spoelen. Hitte en verzilting kan een negatief effect hebben op bepaalde soorten.

GEBRUIKSFUNCTIE	WATEROVERLAST	DROOGTE	HITTE	OVERSTROMING - VERZILTING	TOELICHTING
Hengelsport	x	x	x	x	De visstand kan afnemen door klimaatverandering. Na hevige neerslag kan er vervuiling in het water spoelen en verzilting kan negatief zijn voor sommige vissoorten. Bij droogte kan het leefgebied van vis afnemen door verdamping en bij hitte kan vis sterven door zuurstofgebrek.
Recreatie op de oever	x	x	x		Klimaatverandering kan een negatief effect hebben op de waterkwaliteit, er kan bijvoorbeeld blauwalg ontstaan. Dit maakt oevers minder aantrekkelijk voor recreatie. Bij hevige neerslag kunnen oevers overstromen.
Speelplek	x	x	x		Klimaatverandering kan een negatief effect hebben op de waterkwaliteit, er kan bijvoorbeeld blauwalg ontstaan. Dit maakt het water en het gebied eromheen minder aantrekkelijk voor als speelplaats.
Varen	x	x	x		In droge perioden is water mogelijk onvoldoende diep om te varen. Klimaatverandering kan een negatief effect hebben op de waterkwaliteit, er kan bijvoorbeeld blauwalg ontstaan. Dit maakt het water minder aantrekkelijk om te varen.
Zwemmen	x	x	x	x	Klimaatverandering kan een negatief effect hebben op de waterkwaliteit, er kan bijvoorbeeld blauwalg ontstaan. Dit maakt dat er minder vaak gezwommen kan worden.

2.4.3 Invloed op de gebruiksfuncties

De effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit zoals beschreven in de vorige paragraaf kunnen leiden tot verslechtering van een ecologische situatie en/of tot een omslag van de ecosysteemtoestand. Zo'n verandering kan de gebruiksfunctie(s) van stedelijk water belemmeren en zo voor overlast zorgen (zie tabel 2.3).

Bijvoorbeeld voor de gebruiksfunctie "beregeningswater" is er behoefte aan schoon water om stedelijk groen en voedselgewassen mee te irrigeren. Deze gebruiksfunctie komt op verschillende manieren onder druk te staan bij een veranderend klimaat. In warme en droge periodes neemt de kans op blauwalg en hogere concentraties van giftige stoffen en verontreinigingen in het oppervlaktewater toe. Hierdoor is er minder water bruikbaar, terwijl de vraag juist groter wordt. Tijdens piekbuien leiden riool overstorten met name lokaal tot een hogere nutriëntenbelasting, ziekteverwekkers en meer microverontreinigingen, waardoor ook minder water bruikbaar is.

Naast de effecten van klimaatverandering op de gebruiksfuncties kan klimaatverandering ook een verandering van gebruiksfuncties veroorzaken. Gemeenten en waterschappen hebben bijvoorbeeld aangegeven dat omwonenden tijdens hitte steeds vaker stedelijk water als zwemwater gebruiken om afkoeling te zoeken ([Klimaatverandering leidt tot groeiende behoefte aan zwemlocaties \(h2o-waternetwerk.nl\)](#)).

Dit gebeurt nu ook op plekken die hiervoor niet aangewezen zijn door de provincie en heeft risico's voor de volksgezondheid als de waterkwaliteit onvoldoende veilig is. Daarom hebben sommige waterbeheerders al uitgesproken om meer stedelijk water beschikbaar te willen stellen als zwemwater bij doorzetting van klimaatverandering. Deze verandering/aanvulling van de gebruiksfuncties stelt hogere eisen aan de waterkwaliteit, wat in contradictie kan zijn met het feit dat de waterkwaliteit als gevolg van klimaatverandering achteruit kan gaan.

2.4.4 Indicatoren van een kwetsbaar watersysteem

Zoals in paragraaf 2.4.2 is toegelicht, oefent klimaatverandering een druk uit op de waterkwaliteit met potentieel negatieve effecten. De mate van het effect en derhalve de kwetsbaarheid voor klimaatverandering is zeer systeem specifiek en afhankelijk van de druk op en de robuustheid van het watersysteem.

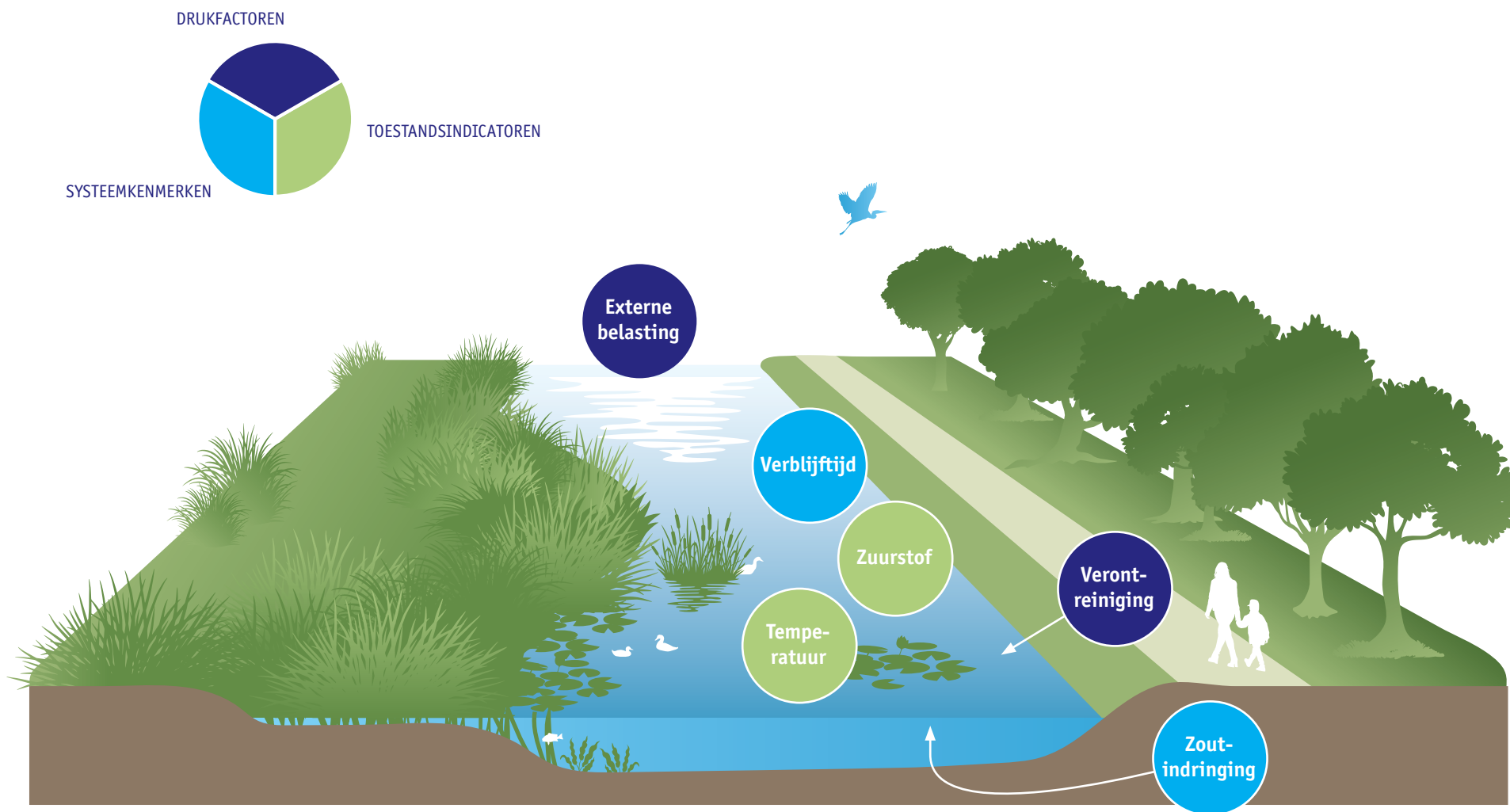
Zoals toegelicht in paragraaf 2.3 bepaalt het samenspel tussen systeemkenmerken, drukfactoren en natuurlijke processen de robuustheid en de uiteindelijke fysisch-chemische en ecologische toestand. Factoren die sterk beïnvloed worden door klimaatverandering, maar ook van invloed zijn op het ecologisch functioneren van het water, zijn:

- het hydrologische regime (voor stedelijk water vooral de verblijftijd als maat voor de mate van verversing, systemen met een korte verblijftijd noemen we transportgestuurde systemen en werken dermate anders dan proces-gestuurde systemen met een lange verblijftijd (Turlings *et al.*, 2011));
- de stofstromen (externe belasting als maat voor de voedselrijkdom van het water);
- de biochemische (afbraak)processen die kunnen leiden tot zuurstofloosheid;
- de verontreiniging als gevolg van microbiële verontreiniging, (micro) verontreinigingen als zware metalen, medicijnresten en gewasbeschermingsmiddelen of organisch materiaal;
- (incidentele) zoutinflux;
- de huidige ecologische toestand.

Binnen het NKWK zijn voedselrijkdom, doorstroming, zuurstofgehalte, zoutgehalte en verontreiniging aangewezen als zogenaamde indicatoren. Hierbij is ook het aspect temperatuur aangewezen als indicator. Afbeelding 2.9 geeft een visuele weergave van hoe de NKWK indicatoren plaats hebben in het watersysteem. De donkerblauwe bollen geven drukfactoren weer, lichtblauwe bollen systeemkenmerken en groene bollen toestandsvariabelen. De indicatoren passen hiermee uitstekend in het raamwerk van de systeemanalyse dat gebruikt kan worden om grip te krijgen op de kwetsbaarheid van een watersysteem voor klimaat.

AFBEELDING 2.9

Een visuele weergave van de NKWK indicatoren in een watersysteem. Met in lichtblauw systeemkenmerken, donkerblauw drukfactoren en groen toestandsindicatoren (niet uitputtend).



⇒ HOOFDSTUK 3 STRESSTEST WATERKWALITEIT

3



3.1 ALGEMEEN

Een aanpak bestaande uit drie niveaus

In bijgaand hoofdstuk wordt de klimaatstresstest uiteengezet. De klimaatstresstest bestaat uit drie niveaus (afbeelding 3.1), waarin er van grof naar fijn gewerkt wordt om in beeld te brengen in hoeverre de waterkwaliteit kwetsbaar is voor klimaatverandering (zie kader 3.1):

1 Quickscan

De quickscan brengt de kwetsbaarheid voor klimaatverandering in beeld op basis van beschikbare (kwalitatieve) informatie omtrent gebiedskenmerken, drukfactoren en toestandsvariabelen. De quickscan geeft dus een eerste beeld van de kwetsbaarheid, zonder dat daarvoor specifieke metingen moeten worden verricht of modelsimulaties moeten worden gemaakt.

2 Globale analyse

De globale analyse gaat een stap verder dan de quickscan en gaat uit van een meer kwantitatieve benadering. Hierbij wordt gebruik gemaakt van eenvoudige rekenregels en worden verschillende scenario's voor weersituaties gebruikt. De globale analyse richt zich in aanvulling op de quickscan op omslagpunten in cumulatie. Voor de globale analyse zijn meer meetgegevens nodig.

3 Nadere analyse

De nadere analyse is in zekere zin een uitgebreide kwantitatieve systeemanalyse gericht op water- en stromen in een veranderend klimaat.

AFBEELDING 3.1

Stresstest waterkwaliteit bestaande uit drie niveaus.



KADER 3.1

DEFINITIE VAN HET BEGRIIP 'KWETSBAARHEID VOOR KLIMAAT'

Het begrip kwetsbaarheid in de context van waterkwaliteit en klimaatverandering laat zich als volgt definiëren:

“Een watersysteem is kwetsbaar voor klimaatverandering als een (verandering van de) (ecosysteem)toestand optreedt die nadelig is voor de biodiversiteit en/of overlast veroorzaakt voor de gebruiksfuncties.” “De mate van kwetsbaarheid van een gebied is de resultante van de mate van blootstelling aan de klimaatdrukfactoren en de kans daarop. De ernst van de gevolgschade van deze blootstelling betreft een oordeel en hoort thuis binnen de risicodialog.”

In simpele woorden betekent het dat als de ecologie of de waterkwaliteit verandert als gevolg van klimaat: er komt bijvoorbeeld kroos of blauwalgen waar dit eerst niet was, dan is het systeem kwetsbaar voor klimaat.

In dit begrippenkader wordt kwetsbaarheid voor klimaatverandering vanuit een holistische visie benaderd, waarbij volksgezondheidsaspecten, de ecologische kwaliteit en de gebruiks- en beeldkwaliteit in beschouwing worden genomen (afbeelding 2.2) in een waarde vrije beoordeling. In de risicodialog volgt het gesprek of de kwetsbaarheid leidt tot een oordeel in welke mate de gevolgen acceptabel zijn (en dus of maatregelen noodzakelijk zijn om de gevolgen te beperken).

Bij elk niveau kan een risicodialoog gevoerd worden. Deze dialoog vormt tevens het beslispunt voor het al dan niet uitvoeren van een verdiepende slag. De quickscan en de globale analyse vragen in beginsel een relatief beperkte inspanning om een beeld te krijgen van de kwetsbaarheden van het watersysteem voor klimaatverandering. De quickscan en de globale analyse zijn daarnaast zeer aanvullend op elkaar, daar de quickscan de vraagstelling vanuit de huidige toestand beschouwd en de globale analyse klimaatscenario's incorporeert. Voor een goed indicatief beeld is daarom zowel het uitvoeren van de quickscan als de nadere analyse noodzakelijk.

De tijdsinvestering van de quickscan betreft circa een halve dag per deelgebied (zie paragraaf 3.2.2). De tijdsinvestering van de globale analyse betreft indien gebruikgemaakt wordt van de ondersteunende middelen een uur per deelgebied en betreft met name het verzamelen van indicatieve gegevens. De totale tijdsinvestering hangt af van de reikwijdte en het gewenste detailniveau van het projectgebied. Hoe groter het gebied, des te efficiënter de stresstest kan worden uitgevoerd en des te kleiner de relatieve tijdsinvestering per deelgebied.

De grootste tijdsinvestering betreft het verzamelen van de gegevens. De nadere analyse betreft een diepgaande analyse die niet bij elk watersysteem in verhouding zal staan tot de baten. Is het daarentegen de verwachting dat er investeringen in de vorm van maatregelen gedaan zullen worden, dan is het de investering meer dan waard, omdat je een gedetailleerd beeld krijgt van de omvang van het probleem en de onderliggende oorzaken. Hierdoor krijg je de handvatten die je nodig hebt om een maatregel in detail uit te werken. De tijdsinvestering voor de nadere analyse is enkele dagen tot een paar weken.

Vijf werkstappen

Zowel bij de uitvoering van de quickscan, globale analyse als nadere analyse bestaat de uitvoering van de stresstest uit vijf werkstappen. De stappen van het stappenplan zijn weergegeven in afbeelding 3.2. In paragrafen 3.2 (quickscan), 3.3 (globale analyse) en 3.4 (nadere analyse) worden de stappen nader toegelicht. Na het uitvoeren van de stresstest (waardevrije analyse) kan er overgegaan worden tot de risicodialoog. In de basis raden we aan een goede risicodialoog te voeren na uitvoering van de quickscan en globale analyse tezamen. In paragraaf 3.5 zijn aanbevelingen voor het voeren van de risicodialoog gegeven.

AFBEELDING 3.2

Stappenplan voor het uitvoeren van de klimaatstresstest waterkwaliteit.



3.2 QUICKSCAN

De quickscan is de eerste stap van de stresstest waterkwaliteit. Het doel is om op een eenvoudige manier op basis van beschikbare informatie en gebiedskennis een eerste indicatie te geven of een watersysteem kwetsbaar is voor klimaat en waar dit aan ligt.

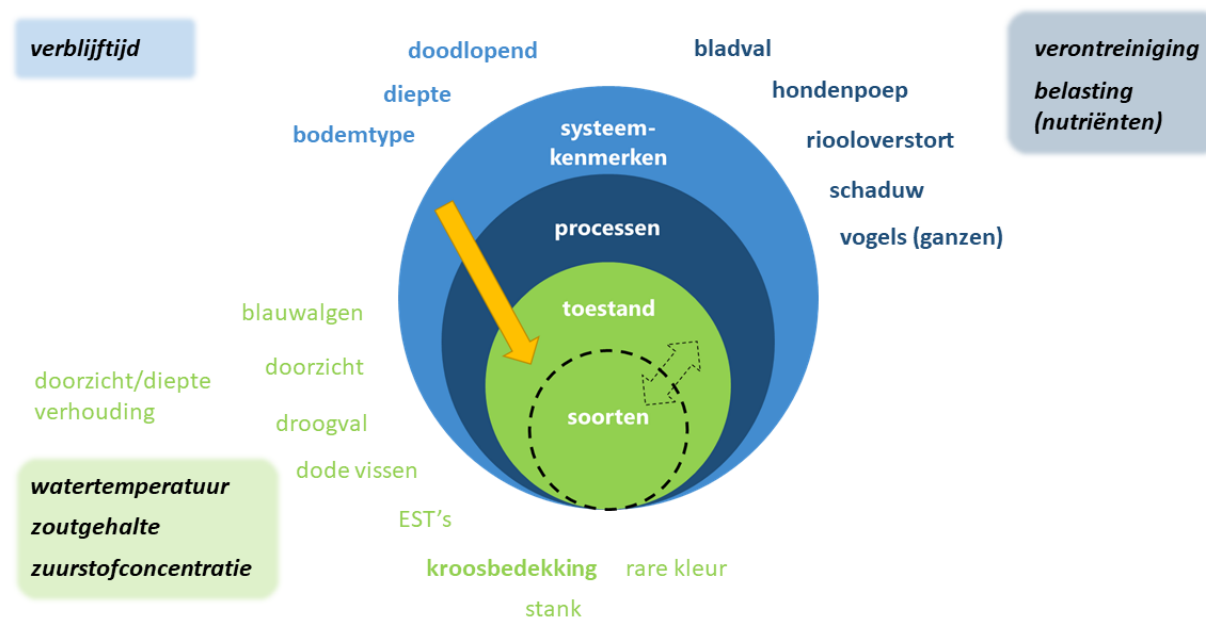
3.2.1 Methode

De quickscan is opgezet als een praktisch toepasbare stresstest die ook zonder veel meetgegevens op verschillende schaalniveaus een eerste indicatie kan geven over de kans op nadelige effecten op waterkwaliteit door klimaatverandering. De quickscan vereist een minimale set aan invoerparameters (gebiedskennis en/of gegevens (afbeel-

ding 3.3)) en leidt dus altijd tot een beoordeling. Indien er geen of weinig meetgegevens zijn helpt visuele informatie en gebiedskennis van beheerders om tot een beoordeling te komen. Deze beoordeling is meervoudig en geeft aan of er vanuit (1) de systeemkenmerken, (2) drukfactoren en/of (3) toestand aanwijzingen zijn of de waterkwaliteit kwetsbaar is als gevolg van klimaatverandering.

AFBEELDING 3.3

De belangrijkste systeemkenmerken (lichtblauw), drukfactoren en processen (donkerblauw) en toestandsparameters (groen). Rondom het bollendiagram komen dikgedrukte parameters overeen met NKWK, de dungedrukte betreffen overige relevante informatie. De zes indicatoren van het NKWK zijn aangegeven in de rechthoekige vakken met overeenstemmende kleuren voor systeemkenmerken, drukfactoren en toestanden.



Per (invoer)parameter wordt de beoordeling uitgedrukt in een kleine, gemiddelde of grote kans op kwetsbaarheid van de waterkwaliteit onder klimaatverandering. Parameters worden los van elkaar beoordeeld. Een volledige lijst van vereiste (en gewenste) invoerparameters is terug te vinden in bijlage 3.

Hieronder volgt het stappenplan dat de gebruiker doorloopt om de quickscan uit te voeren. Bij de stappen wordt casuïstiek toegepast om de stappen concreter te maken.

3.2.2 Stap 1 - Afbakening projectgebied

In de eerste stap wordt bepaald voor welk projectgebied een stresstest voor de waterkwaliteit nodig is. Dit kan variëren van een enkele vijver of sloot tot een wijk met hetzelfde peilniveau of een vrij afwaterend gebied. Het gebied zal eerst afgebakend worden op basis van hydrologische eigenschappen (Tanis *et al.*, 2018).

Het is belangrijk dat het te analyseren gebied zoveel mogelijk een hydrologische afgesloten eenheid is of een (deel van) een vrij afwaterend stroomgebied. Als gebiedsgrens is het logisch om te kiezen voor kunstwerken bij in- of uitlaatpunten, bijvoorbeeld stuwen, sluizen, gemalen of startpunten van waterlopen.

Maak gebruik van een watersysteemkaart om de gebiedsbegrenzing goed te bepalen. Maak indien nodig onderscheid tussen deelgebieden en teken in de kaart in hoe deze deelgebieden met elkaar en met het omliggende gebied verbonden zijn. Het gebied kan schematisch als een blokkenschema worden getekend, waarbij ieder blok bijv. een peilvak representeert. Wanneer het peilregime per peilvak verschilt, valt het aan te raden om het als aparte eenheid te beschouwen. Voor vrij afwaterende gebieden is het goed om naar afwateringseenheden en/of deelstroomgebieden te kijken. Ook deze zijn nog vaak begrensd door een kunstwerk.

Vragen die kunnen helpen om een projectgebied af te bakenen op basis van de hydrologische eigenschappen, zijn bijvoorbeeld:

- waar komt het water vandaan tijdens een periode van wateroverschot? Water uit het gebied zelf en/of uit een aangrenzend gebied en/of tijdens een watertekort? Water uit een aangrenzend gebied en/of inlaat van water van buiten?
- hoe stroomt het water door het gebied tijdens een periode van wateroverschot en tijdens een watertekort?

Voor een enkele vijver is het projectgebied redelijk gemakkelijk af te bakenen. Het desbetreffende projectgebied omsluit het waterlichaam zelf en de nabije omgeving die afwatert op het waterlichaam. Voor een stedelijk (deel)gebied kan de afbakening wat uitdagender zijn. Begrip van de waterstromen helpt om de puzzel makkelijk te leggen.

Daarnaast is het van belang dat het water binnen een afgebakend (deel)gebied vergelijkbare systeemkenmerken (bijv. diepte, bodemtype en doorstroming) en drukfactoren (bijv. bladval, recreatievaart en inlaat) heeft. Dit kunnen losse

vijvers zijn die niet direct met elkaar in verbinding staan, maar bijvoorbeeld allemaal eenzijdig zijn aangetakt aan eenzelfde rivier of kanaal. Anderzijds kunnen dit aaneengesloten waterlichamen zijn met ongeveer dezelfde dimensies, doorstroming en oeverinrichting.

Daarnaast is de wijze van afbakenen afhankelijk van de specifieke vraag en het gewenste detailniveau van de analyse. Wenst een provincie bijvoorbeeld een eerste beeld te krijgen van de mogelijke opgave in zijn gebied, dan past hierbij een ander detailniveau dan als een gemeente eenzelfde vraag stelt. Net zoals bij het aanwijzen van de KRW waterlichamen betreft het afbakenen maatwerk.

In kader 3.2 (volgende pagina) is een suggestie gegeven voor het afbakenen van deelgebieden binnen de gebouwde omgeving geïllustreerd voor de Middelpolder in Amstelveen.

3.2.3 Stap 2 - Partijen betrekken

Als tweede stap worden de juiste partijen en personen met gebiedskennis betrokken in een projectteam. Dit is nodig om (1) de juiste informatie boven tafel te halen en (2) om de juiste mensen aan tafel te hebben voor het voeren van de risicodialoog. Je wilt een groep formeren van mensen die eigenaarschap toont op het onderwerp. Je wilt in ieder geval dat het waterschap en de gemeente betrokken zijn. Maar je kan uiteraard ook denken aan medewerkers van de provincie, of andere mensen met gebiedskennis (burgers, lokale organisaties, etc).

Om eigenaarschap te creëren betreft de uitvoering van de stresstest idealiter een gezamenlijk initiatief van de gemeente en het waterschap.

Bij de gemeente gaat het o.a. om medewerkers die werken aan de volgende thema's: water en riolering, waterkwaliteit en biodiversiteit, klimaatadaptatie, groen en de inrichting van de openbare ruimte. Afhankelijk van de grootte en type organisatie kan het zijn dat voor thema's specifieke medewerkers aanwezig zijn of dat deze zijn gecombineerd en samen komen bij enkele medewerkers.

KADER 3.2**GEBIEDSAFBAKENING MIDDELPOLDER AMSTELVEEN**

Het gebied Middelpolder ligt bij Amstelveen ten zuiden van Amsterdam. De Middelpolder bestaat uit een aantal grote eenheden, namelijk een lager gelegen droogmakerij waar in het verleden veen is weggegraven (zie kaart in afbeelding k.3.2, rood: stedelijk; groen: landelijk) en een hoger gelegen veengebied (paars) dat thans in het oosten gebruikt wordt als grasland en in het westen als een park. Amstelveen is gelegen in de droogmakerij en wordt voornamelijk gevoed met inlaatwater vanuit het westen uit de nabijgelegen plas “de Poel” van goede kwaliteit. Het hogere veengebied en overige graslanden in de droogmakerij in het oosten worden met name gevoed met nutriëntenrijk water vanuit de Amstel. Al het water wordt afgewaterd op de Amstel met behulp van een gemaal.

Binnen het stedelijke gebied (rood) zijn de dimensies van de watersystemen en de doorstroming vergelijkbaar. Alle wateren zijn smalle langwerpige sloten met een vergelijkbaar diepteprofiel en kleibodem. Het is daarom mogelijk om het hele gebied in de quickscan als één projectgebied te beschouwen. Desondanks zijn er een paar doodlopende watergangen aanwezig die op een schaal van een gehele stad niet worden meegenomen.

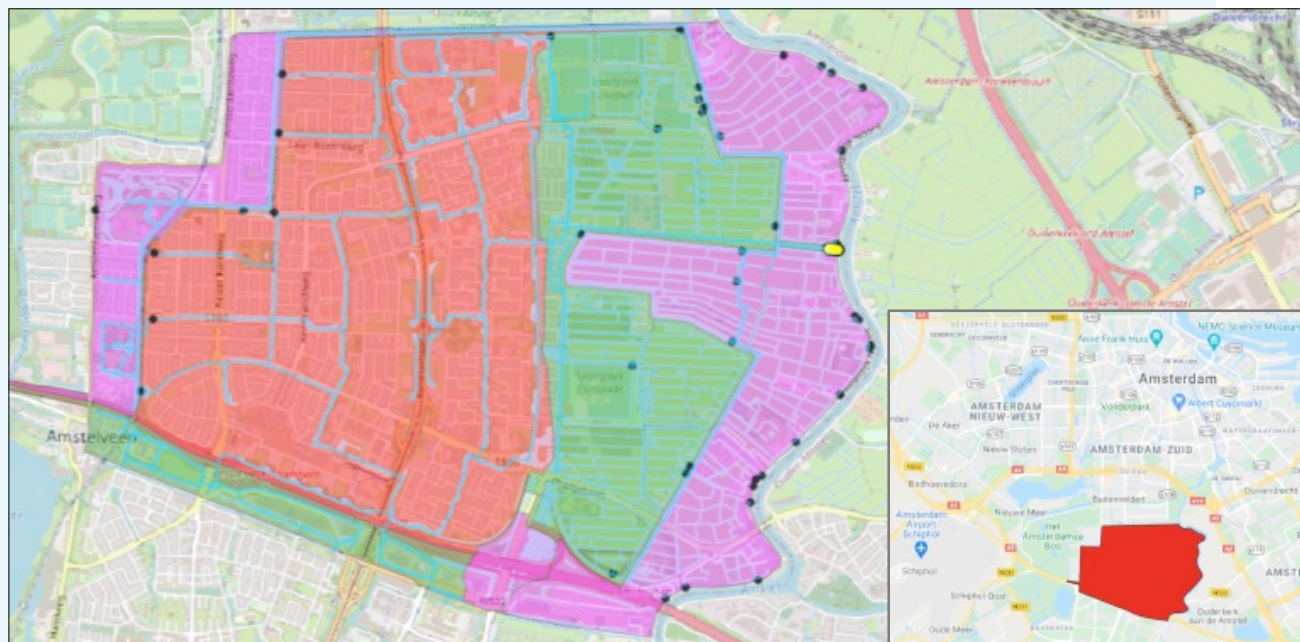
Als de beheerder bekend is met problematiek in doodlopende watersystemen of er is de behoefte

om een representatievere (maar meer inspannende) quickscan uit te voeren, kan het stedelijk gebied worden opgedeeld naar deelgebieden. Alle doorstromende sloten vormen een deelgebied, en alle eenzijdig aangetakte sloten vormen een deelgebied. Hierbij is het uitgangspunt dat andere verschillen in dimensie, beheer en gebruik niet significant zijn.

Indien er meer verschillen zijn (bijv. wel/geen bomen langs watergang, recreatievaart), dient hiermee rekening gehouden te worden bij het verder onderverdelen van de gebieden. Het maken van meer deelgebieden leidt tot een gedetailleerdere uitkomst, maar vergt ook meer gegevens en inspanning die misschien niet voorradig zijn.

AFBEELDING K.3.2 GEBIEDSOVERZICHT MIDDELPOLDER

Gebiedsoverzicht Middelpolder met onderverdeling in drie gebieden: bovenlanden (paars), droogmakerij stedelijk (rood) en droogmakerij landelijk (groen). Hoofdwatersysteem in blauwe lijnen, inlaten als zwarte punten en in het geel het poldergemaal dat afvoert op de Amstel Bron: Waternet.



KADER 3.3**PARTIJEN BETREKKEN CASUS SCHIEDAM**

Bij het in beeld brengen van de casus Schiedam bleek er vraag te zijn naar een integrale kijk op klimaatuitdagingen. Hierbij gaat het niet om het aanleveren van kant-en-klare oplossingen, maar om het versterken van de dialoog tussen verschillende disciplines. Bijvoorbeeld tussen de hydroloog en de ecooloog of tussen uitvoerende werknemers en planvormende werknemers.

Zo waren er bij de casus Schiedam meerdere werknemers van het Hoogheemraadschap van Delfland betrokken en een werknemer van Irado, een uitvoerende organisatie van de gemeente. Bij het bespreken van de thematiek verzilting, met Schiedam als concreet voorbeeld, bleek dat mensen met verschillende expertises elkaars kennis mooi aanvulden. Het samenbrengen van mensen binnen of buiten een organisatie is een eenvoudige, maar waardevolle stap om het totaalbeeld van uitdagingen duidelijker te maken.

Daarnaast motiveert het om beter samen te werken en vooruit te kijken, en met eigen ogen te zien wat er speelt en dit samen te bespreken. Zo noemden een aantal werknemers van het Hoogheemraadschap van Delfland het een meerwaarde om waterelementen, zoals visvriendelijke oevers en sluizen in het veld te zien en hierover met elkaar en met andere betrokken partijen (bijv. Irado) in gesprek te gaan. Zulke gesprekken waren voor alle partijen inzichtelijk en droegen bij aan kennisuitwisseling en kennisverrijking.

Bij de waterschappen gaat het om medewerkers op het gebied van: stedelijk water, afvalwaterketen, klimaatadaptatie, hydrologie, waterkwaliteit en ecologie. Een operationeel gebiedsbeheerder is vaak op de hoogte van meerdere thema's binnen zijn of haar gebied. Bij de meeste waterschappen worden de specialisa-

ties gedekt door een hydroloog, ecooloog en iemand met de portefeuille klimaatadaptatie. In kader 3.3 is een voorbeeld gegeven voor het betrekken van verschillende partijen in de casus Schiedam.

3.2.4 Stap 3 - Gegevens verzamelen

Na het installeren van het projectteam / de begeleidingsgroep is de volgende activiteit het verzamelen van informatie en gegevens die relevant zijn voor het uitvoeren van de quickscan. Deze benodigde informatie is onder te verdelen in drie groepen die noodzakelijk zijn om een beeld te krijgen van de waterkwaliteit en de mogelijke oorzaken: systeemkenmerken, drukfactoren en ecosysteemtoestand (afbeelding 3.3). De informatie gebruiken we als invoerparameters bij de stresstest. Voor elk van deze drie groepen is een minimale set aan invoerparameters vereist om altijd tot een beoordeling van de kwetsbaarheid van waterkwaliteit te komen. Door gebruik te maken van praktijkkennis en veldbezoeken is het ook indien er weinig tot geen gegevens beschikbaar zijn, mogelijk om een stresstest uit te voeren. Een volledige lijst van vereiste (en gewenste) invoerparameters is terug te vinden in bijlage 3.

Bestaande gegevens gebruiken

Om de kwetsbaarheid van de waterkwaliteit in kaart te brengen zijn veel gegevens nodig. Het is daarom aanbevolen om zoveel mogelijk gebruik te maken van reeds bestaande gegevens, omdat er niet altijd tijd en/of budget beschikbaar is om nieuwe gegevens te verzamelen. Een voorbeeld is het gebruiken van de resultaten van een ecoscan als deze voor het afgebakende projectgebied gemaakt is. Een ecoscan bevat veel kwantitatieve gegevens over bijvoorbeeld de dimensies van de watergang, de aan-/afwezigheid van drukfactoren en het vóórkomen van soorten flora en fauna. Naast ecoscans biedt de [Klimaat-effectatlas](#) een eerste indruk van mogelijke problematiek van abiotische factoren op de waterkwaliteit. Ook kan gebruik gemaakt worden van leggergegevens of een bomenkaart. Deze gegevens zijn beschikbaar via het kennisdossier stedelijke waterkwaliteit: [Stedelijke waterkwaliteit - Klimaatadaptatie \(klimaatadaptatienederland.nl\)](#).

Veldbezoek en praktijkkennis

Praktijkkennis van de verschillende waterbeheerders van het projectgebied kan maximaal worden benut bij het verzamelen en verrijken van gegevens. Een aanbevolen manier om (meer) gegevens te verzamelen is het afleggen van een veldbezoek met het projectteam. Zo zijn we in staat om ook als er nauwelijks meetgegevens aanwezig zijn toch tot een oordeel te komen. Het uitvoeren van een veldbezoek gaat op een vergelijkbare wijze als het uitvoeren van een ecoscan. Per projectgebied worden algemene gegevens verzameld van systeemkenmerken, drukfactoren en toestanden die gemakkelijk in het veld waar te nemen of te meten zijn. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de dimensies van het watersysteem, de hoeveelheid schaduw, de doorstroming en de aanwezigheid van kroos en ondergedoken waterplanten. In bijlage 11 is een interviewlijst bijgevoegd met een aantal voorbeeldvragen.

Zowel in het geval dat een veldbezoek is uitgevoerd als dat een veldbezoek niet haalbaar is, is het relevant om gebiedsbeheerders te betrekken. Beheerders beschikken vaak over een gedegen praktijkkennis die kan worden ingezet. Beheerders beschikken bijvoorbeeld over kennis van problemen die spelen of zich hebben afgespeeld in het projectgebied. Zijn er klachten (geweest) over stank, blauwalg of een rare kleur? Functioneert de duiker naar het afvoergebied goed? Het actief betrekken en ondervragen van beheerders levert extra inzicht op die kan worden ingezet in de quickscan. Idealiter zijn deze personen al onderdeel van het projectteam dat is opgesteld in stap 2.

Benodigde gegevens

In bijlage 3 is aangegeven welke invoerparameters vereist zijn en welke handig zijn. Ook wordt aangegeven waarom de invoerparameters gekozen zijn en hoe deze de waterkwaliteit beïnvloeden. De invoerparameters zijn gebaseerd op resultaten van het NKWK (Limaheluw *et al.*, 2021) en onderzoek van TAUW (Sollie *et al.*, 2022) en Witteveen+Bos (Van der Kamp *et al.*, 2021; Van der Kamp *et al.*, 2022) en zijn verder aangevuld op basis van resultaten van ecoscans en expertkennis. Omwille van de praktische toepasbaarheid van de quickscan, zijn

alleen invoerparameters vereist die gemakkelijk in het veld kunnen worden waargenomen en beïnvloed kunnen worden door klimaatverandering. Alle overige parameters die iets zeggen over de waterkwaliteit die moeilijk(er) te bepalen zijn en niet altijd voorhandig, zijn niet vereist, maar kunnen uiteraard worden meegenomen in de quickscan (zie bijlage 4). Voor het onderdeel verzilting wordt een uitzondering gemaakt. Hiervoor worden kaartverhalen van de [Klimaat-effectatlas](#) gebruikt.

In de quickscan worden voornamelijk kwalitatieve en een aantal kwantitatieve gegevens gebruikt. Een waterbeheerder zal in de meeste gevallen kunnen aangeven of er sprake is van doorstroming (kwalitatief beheerdersoordeel) en wat het doorzicht is (kwantitatief beheerdersoordeel). Als vereiste gegevens ontbreken, dienen op z'n minst deze vereiste gegevens te worden opgehaald bij waterbeheerders of aangevuld middels een veldbezoek. Pas dan kan worden overgegaan naar stap 4. In kader 3.4 (volgende pagina) is een voorbeeld gegeven van het verzamelen van gegevens voor de casus grachten Utrecht.

3.2.5 Stap 4 - Het maken van een beoordeling

In de vierde stap wordt de daadwerkelijke beoordeling van kwetsbaarheden gemaakt. Hierbij wordt er gekeken of er vanuit de beschikbare informatie aanwijzingen zijn dat het watersysteem zal verslechteren onder klimaatverandering (afbeelding 3.4). Er zal onderscheid gemaakt worden tussen aanwijzingen vanuit (1) systeemkenmerken, (2) drukfactoren en (3) ecologische en fysisch/chemische toestand. Er zal dus sprake zijn van een meervoudige beoordeling.

Voor elke invoerparameter zal er worden bepaald hoe de actuele waarde zich verhoudt tot één of meerdere grens/indicatiewaarde(s). Hierbij wordt per parameter beoordeeld of de kans op een verslechtering van de waterkwaliteit onder klimaatverandering klein, gemiddeld of hoog is. De categorisatie en de grens/indicatiewaardes zijn bepaald op basis van NKWK onderzoek, modelberekeningen met het model PCditch en expertkennis.

KADER 3.4 GRACHTEN UTRECHT

Voor waterschappen en gemeenten is het vaak per casus verschillend welke informatie al beschikbaar is. Zo kan voor het ene systeem al een uitgebreide waterbalans beschikbaar zijn en voor het andere systeem nog veel onduidelijk zijn. Bij het terugbrengen van een gedempte gracht in Utrecht bleek dat het effect van het project op de waterkwaliteit niet op voorhand was onderzocht. Onderzoek op voorhand is niet altijd nodig. Bestaande kennis is echter vaak onderverdeeld in bestaande rapporten van projecten. In dergelijke gevallen mist het overzicht. Ook kan een deel van de kennis bij het waterschap te vinden zijn en het andere deel bij de gemeente. Het delen van kennis is daarom ook belangrijk. Verder is het vaak waardevol om stroomopwaarts te kijken naar mogelijkheden om de waterkwaliteit te verbeteren, buiten het projectgebied. De plek waar problemen zich voordoen is niet altijd de plek waar de problemen ontstaan.

Voor de casus van de grachten in het centrum van Utrecht is middels een veldbezoek nagegaan welke gegevens op dit moment bekend zijn bij de waterbeheerder. Tijdens dit veldbezoek zijn gegevens gevraagd die onder te verdelen zijn naar systeemkenmerken, drukfactoren en (ecosysteem)toestanden (zie ook paragraaf 2.3). Hiernaast zijn de bekende kwalitatieve en kwantitatieve gegevens van dit veldbezoek gepresenteerd in een tabel.

De tabel K.3.4 geeft een korte lijst weer met gegevens die bekend en onbekend zijn. Het valt op dat tijdens het gesprek vanzelfsprekend veelal kwalitatieve gegevens opgehaald zijn. Het kan lonen om kwalitatieve en kwantitatieve gegevens van verschillende instanties te bundelen om tot een meer volledig beeld te komen van wat er bekend is over het projectgebied. Denk hierbij aan de gemeente, de waterbeheerder, maar ook gesprekken met de lokale bevolking (sportvissers, vaarrecreanten, e.d.) kunnen het inzicht vergroten.

TABEL K.3.4

Opgehaalde gegevens van systeemkenmerken, drukfactoren en (ecosysteem)toestanden tijdens een veldbezoek bij de Utrechtse grachten.

PARAMETER	TYPE PARAMETER	VRAAGSTELLING	WAARDE
bodemtype	systeemkenmerk	Wat is het dominante bodemtype van het waterlichaam?	zand/klei
diepte	systeemkenmerk	Wat is de gemiddelde diepte van het waterlichaam?	2 m
flauw talud (onder water)	systeemkenmerk	Is er een flauw talud onderwater aanwezig? Dit is een flauw, gradueel aflopende bodem vanaf de oever.	nee
% open water	systeemkenmerk	Wat is het percentage open water in het projectgebied?	onbekend
% verhard oppervlak	systeemkenmerk	Wat is het percentage verhard oppervlak in het projectgebied?	onbekend
bladval in water	drukfactor	Is er sprake van bladval in het waterlichaam?	ja
hondenpoep	drukfactor	Worden de oevers van het waterlichaam gebruikt als honden uitlaatplaats (ook als dit officieel niet de bedoeling is)?	ja
kwel	drukfactor	Is er sprake van kwel?	nee
riooloverstort	drukfactor	Zijn er sinds 2018 een of meerdere riooloverstorten in het waterlichaam geweest?	ja
recreatievaart	drukfactor	Wordt de watergang gebruikt voor recreatievaart?	ja
schaduw	drukfactor	In hoeverre staat het waterlichaam in de schaduw?	half
verblijftijd	drukfactor	Wat is de verblijftijd?	2 dagen

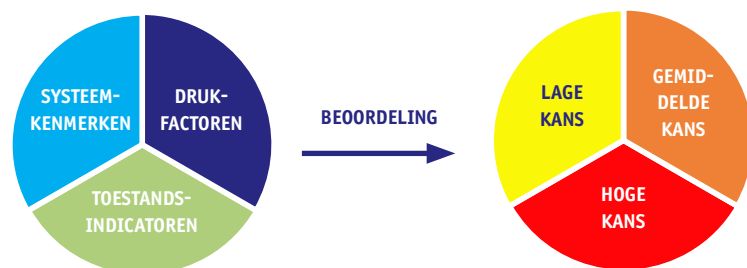
PARAMETER	TYPE PARAMETER	VRAAGSTELLING	WAARDE
zwemmers	drukfactor	Wordt de watergang gebruikt (al dan niet bedoeld) door recreatieve zwemmers?	ja
blauwalgen	toestand	Zijn er sinds 2018 blauwalgen voorgekomen?	ja (2022)
botulisme	toestand	Heeft zich sinds 2018 botulisme voorgedaan?	nee
doorzicht	toestand	Wat is het gemiddelde doorzicht in de watergang?	0,7 m
droogval	toestand	Is de watergang sinds 2018 wel eens droog gevallen?	nee
EST	toestand	Wat is onder normale omstandigheden de ecosysteemtoestand eind lente/ begin zomer?	EST 1
klachten stank	toestand	Zijn er sinds 2018 klachten geweest over stank?	ja (soms)
klachten rare kleur	toestand	Zijn er sinds 2018 klachten geweest over een rare kleur?	ja (2022)

PARAMETER	TYPE PARAMETER	VRAAGSTELLING	WAARDE
klachten dode vissen	toestand	Zijn er sinds 2018 klachten geweest over dode vissen?	ja (soms)
kroosbedekking	toestand	Wat is procentueel de kroosbedekking van het waterlichaam?	onbekend
O ₂	toestand	Wat is de zuurstofconcentratie?	niet gemeten, maar hoog genoeg
slibdikte	toestand	Is er een sliblaag van minimaal 10 cm dik aanwezig op de bodem van de watergang, dan wel moet er eens per jaar of vaker worden gebaggerd?	onbekend, eens per zoveel jaar baggeren
toxiciteit / chemische verontreiniging	toestand	Zijn er meldingen geweest van chemische verontreiniging in of nabij het waterlichaam? Ligt de watergang op een locatie waar vroeger vervuilende industrie heeft gestaan?	onbekend
zoutconcentratie	toestand	Zijn er gevallen bekend sinds 2018 van (tijdelijke) verzilting?	onbekend

De volledige lijst van waardes en onderbouwingen zijn opgenomen in bijlage 3¹. Voor interpretatie is het echter verstandig om in de analyse een expert waterkwaliteit en aquatische ecologie te betrekken. De indicatiewaardes zijn geselecteerd op basis van de best beschikbare kennis, maar vormen geen absolute waarheid. Zo zal in het ene watertype een parameter en bijbehorende waarden meer bepalend zijn dan in een ander watertype. Van de default grenswaardes kan indien gemotiveerd afgeweken worden.

AFBEELDING 3.4

Fictief voorbeeld van een meervoudige beoordeling van de waterkwaliteit op basis van aanleidingen vanuit de systeemkenmerken, drukfactoren en toestand. De beoordeling is naar drie klassen, namelijk een lage, gemiddelde of grote kans op kwetsbaarheid van de waterkwaliteit voor klimaatverandering. In het voorbeeld is het eindoordeel met de kleuren geel t/m rood weergegeven. Afhankelijk van de doelgroep kan er ook voor een andere set aan kleuren gekozen worden.



Om een voorbeeld te geven: de gebruiker geeft op dat het dominerende bodemtype 'klei' is. Dit betekent impliciet dat er veel nalevering plaats vindt, wat leidt tot een hogere belasting. Onder klimaatverandering zal nalevering toenemen door gemiddeld warmer water en dit zorgt voor een verhoogde kans (nl. grote kans [rood]) op omslag naar een troebele ecosysteemtoestand. Een tweede voorbeeld: de gebruiker geeft aan dat de doorzicht/diepte verhouding 0,9 is, oftewel, het water is nagenoeg kristalhelder.

Dit betekent dat er voldoende licht op de bodem valt om een rijke biodiversiteit aan ondergedoken waterplanten te ondersteunen. Onder klimaatverandering is de verwachting dat algen gemakkelijker kunnen groeien in warmer water. Desondanks is de huidige doorzicht/diepte verhouding groot genoeg (boven de grenswaarde van 0,6) dat er voor deze parameter weinig aanleiding (kleine kans [geel]) is op een kwetsbare waterkwaliteit.

Alle beoordelingen worden vervolgens gegroepeerd naar de drie blokken van systeemkenmerken, drukfactoren en toestand (afbeelding 3.4). Vervolgens wordt per blok de hoogst bevonden kans als leidend genomen. En omdat er voor de quickscan een minimale set aan invoerparameters is vereist, produceert de quickscan altijd een meervoudig oordeel.

Voor de interpretatie van de analyse is het zinvol dat het uiteindelijke eindoordeel herleidbaar is. Ter ondersteuning hiervan kan het zinvol zijn om voor de separate parameters en/of deelblokken ruimtelijke visualisaties te maken en/of overzichten in tabelvorm. Ook is het zinvol om in beeld te brengen waarvoor geen informatie beschikbaar was.

¹ De lijst met grenswaardes is tot stand gekomen op basis van de meest recente beschikbare kennis. In het NKWK onderzoek 2023 vindt echter een verdieping plaats i.r.t. een nadere categorisering van 'watertypen' en 'functies'.

KADER 3.5

BEOORDELING VAN DE KWETSBAARHEID VAN WATERKwaliteit VOOR DE SINGELS VAN BREDA

Het stimuleren van zwemmen in de singels van Breda is een discussiepunt voor de waterbeheerder. Aan de ene kant stimuleert de gemeente Breda het benutten van het stadswater voor activiteiten als city-swims en Breda-drijft. Aan de andere kant is het classificeren van het stadswater als zwemwater weer aan hele andere eisen gebonden en wordt volksgezondheid opeens een belangrijke factor. Iets waar gemeenten en waterschappen veelal geen expertise in hebben. Er is dus vraag naar een goede balans tussen wat mogelijk en wat reëel is. Tegenwoordig kan goed worden gemeten wanneer het water niet geschikt is om in te zwemmen, maar het is nog lastig dit vooraf met metingen te bepalen en met metingen te bepalen wanneer de waterkwaliteit weer op orde is.

Beschikbare gegevens o.b.v. veldbezoek

Het stadswater van de binnenstad van Breda bestaat uit een singel, een voormalige haven en een gracht om het kasteel van Breda. Daarnaast zijn er nog een aantal vijvers. Het centrum van Breda ligt op de overgang van de hoge zandgrond in het zuiden naar kleigronden in het noorden. Het water stroomt het centrum binnen vanuit de Mark en de Aa of Weerijds vanuit het zuiden met een gemiddelde afvoer van 5 m³/s, waarvan 3,1 m³ afkomstig vanuit de Mark. Desondanks kan de aanvoer van deze rivieren flink variëren tussen de 1 en 30 m³/s, wat sterk afhankelijk is van de hoeveelheid neerslag in het stroomgebied. De oude haven is een doodlopende watergang. Onder normale omstandigheden geldt een waterdiepte van 1,7 m in de oude haven bij een normaal peil van 0 m NAP, maar dit kan oplopen tot een waterpeil van 1,9 m NAP (en dus een waterdiepte van 3,6 m). De oude haven is een doodlopende watergang die aan weerszijden is begrensd door kademuuren. De singels rondom het centrum hebben daarentegen flauwe, groene oevers.

Problematiek die langs de wateren in het centrum van Breda speelt, zijn drukfactoren zoals externe nutriëntenbelasting door bladval, riooloverstorten, hondenpoep, zwerfvuil en nutriëntenrijk aanvoerwater vanwege bovenstroomse landbouwactiviteiten. Andere drukfactoren die een invloed uitoefenen op de waterkwaliteit, zijn halfschaduw van nabije bomen, zwemmers en recreatievaart.

Deze combinatie van systeemkenmerken en drukfactoren uit zich in de singels en oude haven in troebel water met weinig algen (EST 1) en in de kasteelgracht in water met drijfbladplanten (EST 5). De bacterie E. coli is sinds 2018 wel eens gemeten in de waterlichamen.

Uitvoeren analyse

Op basis van de hydrologische situatie, is een mogelijke opdeling van de singels:

- de oude haven - een doodlopende watergang;
- de zuidelijke singels op een zandbodem;
- de noordelijke singels op een kleibodem;
- de kasteelgracht;
- vijvers op zandgronden;
- vijvers op kleigronden.

Hieronder (tabel K.3.5) volgt een voorbeeld voor het uitvoeren van de quickscan voor de zuidelijke singels op een zandbodem. Per bekende parameter wordt bepaald hoe groot de kans is dat deze parameter vanwege klimaatverandering zal leiden tot een verslechtering van de waterkwaliteit. In onderstaand voorbeeld zijn alleen parameters meegenomen die tijdens het veldbezoek zijn opgehaald.

TABEL K.3.5

Opgehaalde gegevens over systeemkenmerken, drukfactoren en toestand, uitgedrukt in hoe groot de kans is dat elke individuele parameter zal leiden tot een verslechtering van de waterkwaliteit onder klimaatverandering. NB. niet alle vereiste parameters zijn in het voorbeeld uitgewerkt.

PARAMETER	WAARDE	KANS OP KWETSBAARHEID
Systeemkenmerken		
Bodemtype	zand	klein
Diepte	1,7 m	klein
Doodlopende watergang	nee	klein
Flauw talud onderwater	ja	klein
Drukfactoren		
Bladval	ja	groot
Hondenpoep	ja	groot
Riooloverstort	ja	groot
Schaduw	half	gemiddeld
Zwerfvuil	ja	gemiddeld
Fysisch-chemische en ecologische toestand		
E. coli	ja	groot
Ecologische systeemtoestand (EST)	5	groot

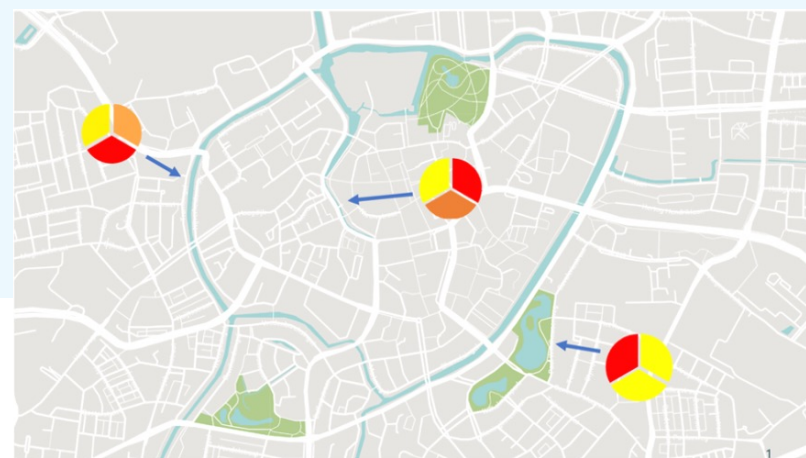
Per blok van systeemkenmerken, drukfactoren en toestand wordt de grootst berekende kans op kwetsbaarheid als eindoordeel genomen. In dit voorbeeld voor de singels van Breda op een zandbodem, komt dit op het volgende neer:

- vanuit de systeemkenmerken is er een **kleine kans** op kwetsbaarheid van de waterkwaliteit;
- vanuit de drukfactoren is er een **grote kans** op kwetsbaarheid van de waterkwaliteit;
- vanuit de toestand is er een **grote kans** op kwetsbaarheid van de waterkwaliteit.

Een fictief voorbeeld van een ruimtelijke weergave van een meervoudige beoordeling van drie deelgebieden in Breda is weergegeven in afbeelding K.3.5.

AFBEELDING K.3.5

Fictief voorbeeld van een ruimtelijke weergave van een meervoudige beoordeling van de waterkwaliteit op basis van aanwijzingen vanuit de systeemkenmerken, drukfactoren en toestand voor verschillende deelgebieden (doorlopende singels [links], doodlopende singels [midden] en eenzijdig aangetakte vijvers [rechts]) in Breda.



Voor de interpretatie van de stresstest dienen de uitkomsten in een GIS omgeving gepresenteerd te worden. Hierdoor wordt het duidelijk welke aanwijzingen er zijn dat systemen kwetsbaar zijn voor klimaatverandering. Ter ondersteuning van de analyse kan het zinvol zijn om gebruik te maken van tooling in een GIS omgeving. Deze tooling dient: (a) een meervoudig oordeel van de kwetsbaarheid te geven op basis van aanwijzingen vanuit de (1) systeemkenmerken, (2) drukfactoren en (3) ecologische en fysisch/chemische toestand, (b) de eindoordeelen grafisch weer te geven en (c) de metadata te verschaffen op basis van welke parameters tot een eindoordeel is gekomen. Te denken valt aan het gebruik van GIS veldformulieren en/of geautomatiseerde analyses o.b.v. de in deze handreiking gepresenteerde stelregels. In kader 3.5 (hiervoor) is een suggestie gegeven voor het uitvoeren van een beoordeling voor de singels van Breda.

3.2.6 Stap 5 - Rapportage

De uitkomsten van de quickscan en de risicodialoog kunnen worden vastgelegd in een rapportage na welbevinden van de betrokken partijen. De inzichten in kwetsbaarheden, knelpunten en kansen omtrent het klimaatthema waterkwaliteit kunnen worden aangevuld met eerste ideeën over mogelijke adaptatie-opgaven en kansen. Verder vormt de rapportage een basis voor verdere besprekingen met betrokken partijen over vervolgacties in het kader van de voorwaarden gesteld in het DRPA en de KRW.

Vervolgstappen nodig?

Op basis van de rapportage (stap 5) en de daaropvolgende risicodialoog (zie paragraaf 3.5) kan worden besloten om de uitkomsten van de quickscan verder te onderzoeken met een meer uitvoerige globale analyse. De globale analyse neemt de cumulatieve effecten op de waterkwaliteit mee en maakt gebruik van rekenkundige klimaatscenario's waardoor een nauwkeurigere beoordeling van de kwetsbaarheid van de waterkwaliteit gegeven kan worden voor het onderdeel voedselrijkdom. Met name in systemen waar het ogenschijnlijk op basis van de beschikbare informatie nog 'goed' lijkt te gaan kan het zijn dat door gebruik te maken van kwantitatieve scenario's bepaald kan worden dat de robuustheid toch overschreden wordt.

3.3 GLOBALE ANALYSE

De globale analyse is de vervolgstap in de stresstest waterkwaliteit met als doel om op basis van de inzichten uit de quickscan een nadere beoordeling te maken van of de waterkwaliteit kwetsbaar is voor klimaat. In de globale analyse zoomen we in op de aspecten die in de quickscan aanwijzing geven dat het systeem mogelijk kwetsbaar is. Deze facetten zullen in de quickscan beoordeeld worden met een 'grote kans op kwetsbaarheid'.

Dit kunnen bijvoorbeeld facetten zijn rondom de:

- 1 voedselrijkdom / nutriënten;
- 2 temperatuur;
- 3 zuurstofsituatie;
- 4 vervuiling / toxiciteit;
- 5 bacteriologische situatie;
- 6 verzilting.

Voor uitwerking van de relevante facetten sluiten we aan bij de tools en methoden die reeds in de ESF methodiek beschikbaar zijn. Onderstaand volgt per facet een korte beschrijving.

In vergelijking met de quickscan kan het noodzakelijk zijn meer informatie te verzamelen. In bijlage 4 is een overzicht gegeven van informatie die kan helpen bij het maken van een nadere duiding.

Voedselrijkdom / nutriënten (1)

Een te hoge voedselrijkdom van het water en de bodem ligt ten grondslag aan veel waterkwaliteitsproblemen. Daar komt bij dat bronnen voor nutriënten ook vaak bronnen voor bacteriële vervuiling (riool, vogels en honden) zijn. Daarnaast heeft klimaat een direct negatief effect op de voedselrijkdom (afbeelding 3.5):

- een verandering van neerslag en verdamping heeft direct invloed op de belasting ('1', in de afbeelding) (bijv. door een toename van uit- en afspoeling van nutriënten en/of een toename van inlaat neemt de belasting vaak toe);

- een verandering van temperatuur heeft invloed op de kritische grens ('2' in de afbeelding) (bijv. doordat algen sneller groeien en hiermee een competitief voordeel hebben en ten opzichte van waterplanten neemt de kritische grens vaak af).

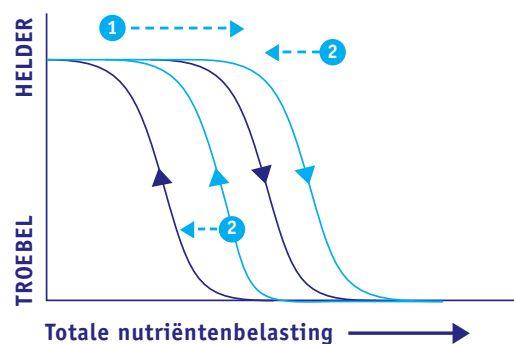
De effecten op de voedselrijkdom zijn niet altijd waarneembaar en daarom niet altijd op voorhand herkenbaar en 'beoordeeld' in de quickscan. In de globale analyse zal dan ook altijd een uitwerking op het aspect voedselrijkdom gemaakt moeten worden. Dit doen we door op basis van relatief simpele kwantitatieve klimaatscenario's inzicht te krijgen in de robuustheid en kwetsbaarheid van het watersysteem voor klimaatverandering. We toetsen of als gevolg van klimaat 'kritische grenzen' overschreden worden (zie paragraaf 2.3). Om in ESF termen te praten, er wordt gefocust op ESF 1, 2 en 3.

Door het doen van deze analyse worden cumulatieve effecten van een drietal klimaatdrukfactoren (warmer, natter, droger) in beeld gebracht.

NB: Bovenstaande analyse is niet goed toepasbaar op systemen die droogvallen. In het geval van droogval (behalve bij wadi's) maakt de hydrologische situatie het systeem kwetsbaar voor klimaat.

AFBEELDING 3.5

Hysteresis effecten. De weg van helder naar troebel is anders dan van troebel naar helder. Klimaat heeft via neerslag en verdamping (1) en temperatuur (2) een effect op de kritische grens en beplating.



Temperatuur (2)

In onderdeel (1) zit de temperatuur verwerkt. De effecten van een toenemende watertemperatuur op de groei van algen en hiermee de competitie met waterplanten is meegenomen. Echter het directe effect van een te hoge temperatuur op de groei van blauwalgen en de mortaliteit van soorten is niet meegenomen. Blauwalgen zijn zeer gevoelig bij warme watertemperaturen en leiden bij hogere temperaturen (>23 graden) tot toename van bloei. Veel vissoorten hebben daarnaast een lage tolerantie voor warmte tijdens het paren. De watertemperatuur in hun paaigebieden bepaalt in hoge mate hoe succesvol ze zich voortplanten. In de globale analyse duiken we bij vermoedens van negatieve hogere watertemperaturen (blauwalgenbloei, happende- of dode vissen) in dit aspect. Een eerste globaal beeld kan verkregen worden door het doen van metingen in de zomerperiode. Daarnaast kan er met behulp van een simpel rekenkundig model (TREV) voorspellingen gedaan worden over de toename van de watertemperatuur op de langere termijn. In bijlage 5 is de werking van het temperatuur model nader toegelicht. Voorspelde en gemeten temperaturen kunnen desbetreffend naast tolerantiegrenzen van voorkomende vissoorten gelegd worden. Op het moment bestaat er nog geen overzicht van soort specifieke tolerantiegrenzen.

Zuurstofcyclus (3)

De zuurstofcyclus verandert als gevolg van klimaatverandering. Zuurstofloosheid of langere perioden tegen kritische zuurstofgrenzen aan kunnen vaker voorkomen. Het kan zeer zinvol zijn om op dit mechanisme in te zoomen indien er aanwijzingen zijn voor zuurstofloosheid (dode- of happende vis, riooloverstorten). ESF7 (organische belasting) richt zich specifiek op dit vraagstuk, m.n. in de stedelijke context (STOWA, 2018). Ten behoeve van de uitwerking is de tool 'OXYVAL' ontwikkeld, waarmee de bijdrage van bronnen van organische belasting inzichtelijk kunnen worden gemaakt en de zuurstofcyclus en kritische zuurstofgrenzen nader verkend kunnen worden. Net zoals bij (1) voedselrijkdom kan aan de hand van scenario's de effecten onderzocht worden. Bijvoorbeeld scenario's waarbij er sprake is van meer overstorten vanuit gemengde riolering (eventueel in combinatie met een hogere watertemperatuur).

Als onderdeel van deze handreiking zijn de scenario's niet nader uitgewerkt. Als input voor OXYVAL dient een waterbalans met inzicht in water- en stofstromen.

Vervuiling / toxiciteit (4)

De transmissie van (milieuvreemde) stoffen is een ander onderwerp dat negatief kan veranderen als gevolg van klimaatverandering. Met name bij (oude) bedrijventerreinen, deels gesaneerde gronden en intensieve landbouw speelt dit onderwerp. Om een goed oordeel te maken van een toegenomen risico als gevolg van klimaatverandering is een gedegen kennis nodig van de desbetreffende stoffen en de transmissieroutes. Bij vermoedens van emissies van probleemstoffen, kan het zinvol zijn om (extra) in de bodem, het poriënvocht en het water te gaan meten. De ESF Toxiciteit is door STOWA ontwikkeld om inzicht te geven in de mate waarin toxische stoffen het waterleven bedreigen: [Ecologische Sleutelfactor Toxiciteit. Hoofdrapport, deelrapporten en rekentools | STOWA](#). De kennis uit deze sleutelfactor kan benut worden voor het in beeld brengen van toxiciteitseffecten. Hiervoor geldt dat het als basisbouwsteen essentieel is om mogelijke (toename van) emissieroutes in beeld te brengen.

Bacteriologische situatie (5)

Ook microbiologische vervuiling treedt als gevolg van klimaatverandering vaker op. De kans op overstorten vergroot immers, maar ook een toename van de temperatuur beïnvloed dit mogelijk negatief. Voor het inschatten van mogelijke effecten is het goed om de bronnen nader in beeld te brengen. Het verkennen van de mogelijke emissiepaden betreft werk van een microbiologisch expert.

Saliniteit / verzilting (6)

Saliniteit is een relatief lastig onderwerp en hangt sterk samen met het toekomstperspectief voor Nederland. Voor met name West-Nederland is dit een belangrijk onderwerp (Zeeland, Noord- en Zuid-Holland) maar ook voor de kustgebieden in Groningen en Friesland. Verzilting kan een catastrofaal effect hebben op de zoete onderwaternatuur. Brakke natuur kan op zichzelf ook floreren. Vooral incidentele wisselingen tussen zoet en zout zijn desastreus.

Om grip te krijgen op het onderwerp saliniteit is het aan te raden om nauwkeurig zicht te krijgen op de ruimtelijke verspreiding van zout in ruimte en tijd. Om dit te bewerkstelligen kunnen hydrologische modellen zoals SOBEK, maar ook Delft3D ingezet worden. Kaarten uit de [atlas natuurlijk kapitaal](#) kunnen helpen om een eerste beeld te krijgen of verzilting een mogelijk probleem is. Voor de globale analyse gaat dit vaak te ver.

3.3.1 Methode

De globale analyse richt zich minimaal op het nader uitwerken van het onderdeel voedselrijkdom / nutriënten (1). Door middel van deze analyse wil je nader onderzoeken of onder invloed van een veranderend neerslagpatroon, andere instraling en een toename van de watertemperatuur er problemen ontstaan met eutrofiëring. Op basis van de quickscan heb je een beeld gekregen voor de huidige situatie en kenmerken die mogelijk ongunstig zijn voor de waterkwaliteit in het licht van klimaatverandering. Met de globale analyse voor het onderdeel voedselrijkdom maak je ook rekenkundig inzichtelijk of de toestand op termijn in orde blijft. In sommige gevallen is het zinvol om naast de analyse van voedselrijkdom te focussen op één van de andere aspecten: temperatuur (2), zuurstofcyclus (3), vervuiling / toxiciteit (4), bacteriologische situatie (5) en saliniteit (6). In de quickscan heb je aanwijzingen gekregen of 1 van de onderwerpen mogelijk speelt en relevant is.

In het geval van droogval voldoet de voorgestelde globale analyse voor voedselrijkdom niet. Het is dan aan te raden om het functioneren van hydrologische systeem middels de nadere analyse in kaart te brengen (paragraaf 3.4).

Onderstaand is het onderdeel voedselrijkdom nader uitgewerkt. De andere aspecten zijn in deze handreiking niet nader uitgewerkt. Het staat de gebruiker vrij hier eigen invulling aan te geven. Het doel is echter om middels de globale analyse in beeld te brengen of het onderwerp inderdaad speelt: rood- ja of groen- nee op een relatief eenvoudige wijze. In de nadere analyse duiken we meer in detail middels uitgebreide data-analyse en/of ruimtelijke modellen.

Voedselrijkdom / nutriënten (1)

Voor uitwerking van het onderdeel voedselrijkdom wordt gebruik gemaakt van een relatief eenvoudige ‘modelketen’. In bijlage 5 is een toelichting opgenomen. In deze bijlage wordt ingegaan op de werking van de modelketen en de gebruikte rekenkundige klimaatscenario's (een referentie, WH2085 en WH2085extreem).

Ten behoeve van het gebruiksgemak zijn voor een groot bereik aan stedelijke watersystemen reeds berekeningen gemaakt en zijn de berekeningen ontsloten in een Excel metamodel (bijlage 9). Hierdoor wordt het ook voor mensen zonder ervaring met onderstaande instrumenten mogelijk om de globale analyse - voedselrijkdom uit te voeren.

3.3.2 Stap 1 - Afbakening projectgebied

In de eerste werkstap van de stresstest wordt gereflecteerd of het geselecteerde projectgebied dat is gebruikt in de quickscan overeenkomt met het gewenste gebied voor de globale analyse. In de basis werken we in de uitvoering van de stresstest van grof naar fijn. In de quickscan hebben we zaken geleerd over het functioneren van het watersysteem en over de wensen en ambities van het gebied (in de risicodialoog). Beide zaken kunnen aanleiding zijn om het projectgebied opnieuw te begrenzen en bijvoorbeeld meer in detail naar een deelgebied te kijken. In de basis gelden dezelfde stelregels als voor de quickscan zie paragraaf 3.2.2 en kader 3.1. Er wordt met name op basis van hydrologische kenmerken en overeenkomsten in de systeemkenmerken, drukfactoren en (ecologische) toestand afgebakend.

3.3.3 Stap 2 - Partijen betrekken

Ook voor het uitvoeren van de globale analyse is het verstandig een integraal projectteam samen te stellen.

In de basis kan dit hetzelfde projectteam zijn als bij de quickscan. Dit komt ten gunste van de continuïteit en behoud van eigenaarschap bij zowel de gemeente als de waterbeheerder.

3.3.4 Stap 3 - Gegevens verzamelen

Voor de quickscan zijn al veel gegevens opgehaald, waarvan een aantal ook nodig zijn voor het maken van de globale analyse. Voor de globale analyse zijn gegevens van de parameters in tabel 3.1 (volgende pagina) nodig (alle gegevens mogen een grove schatting zijn, daar het bij voorspellingen gaat om het verkrijgen van een indicatie en niet gaat om een exact getal).

Daarnaast kan ervoor gekozen worden om specifieke gegevens over de P en N-concentratie van mogelijke bronnen te verzamelen. Dit doe je als je vanuit gebiedservaring weet dat er iets speelt op het gebied van nutriënten. Anders voldoet het om de defaultwaarden, voor de P-concentraties van neerslag, uitspoeling, overstort riolering, afstroming, verhard, gedraineerd en inlaat (zie paragraaf 3.3.1) te gebruiken. In Schoumans *et al.*, 2008 zijn kentallen en hun onderbouwing gepresenteerd. Met name bij uitvoering van de nadere analyse kan dit relevant zijn.

3.3.5 Stap 4 - Het maken van een beoordeling

In de vierde stap wordt de modelketen doorlopen. Afhankelijk van de ervaring van de gebruiker kunnen de originele instrumenten (waterbalans, TREV en PCDitch), zie bijlage 5, worden toegepast of wordt het metamodel ‘ingevuld’ (bijlage 9). Het toepassen van de volledige modelketen stelt de gebruiker in staat meer maatwerk te leveren. In paragraaf 3.3.1 zijn reeds de werking van het model en de benodigde werkstappen toegelicht.

Bij het ‘invullen’ van het metamodel (bijlage 9) is het van belang dat de gebruiker ingaat op de volgende twee vragen:

- Wat zijn de uitgangspunten die (het meest) passen bij het systeem?
- Wat zijn dan de uitkomsten bij het (referentiescenario, WH2085 en extreme situatie)?

In het metamodel zijn de invoervelden gemarkeerd. Deze invoervelden komen overeen met de benodigde informatie uit stap 3.

TABEL 3.1

Overzicht van te verzamelen gegevens die nodig zijn voor het uitvoeren van een globale analyse (alle gegevens mogen een grove schatting zijn, daar het bij voorspellingen gaat om het verkrijgen van een indicatie en niet om een exact getal).

PARAMETER	TOELICHTING	EENHEID	MOGELIJKE WAARDEN
Gemiddelde waterdiepte in de zomer	<ul style="list-style-type: none"> de waterdiepte kan afgeleid worden door in de legger te kijken of te meten met behulp van een peilstok. De leggerdiepte betreft een grove inschatting meetwaarde betreft precieze informatie een verdient de voorkeur (indien beschikbaar) 	m	
Bodemtype	<ul style="list-style-type: none"> Grondsoortenkaart: Grondsoortenkaart - WUR of actuele gegevens over de waterbodem 	-	zand, klei, veen
Oppervlak van het peilgebied	<ul style="list-style-type: none"> het oppervlak van het gebied dat op één peil gehouden wordt. Bij vrij afstromende systemen tel je het oppervlak dat afwatert bovenstrooms (afwateringsgebied) 	ha	
Fractie open water	<ul style="list-style-type: none"> fractie oppervlak open water t.o.v. het gehele peilgebied. Dit kan gedaan worden door schattingen of een nauwkeurigere analyse in GIS middels de BGT viewer (https://bgtviewer.nl/) is een eenvoudige inschatting te maken 	-	[0,01 0,02 0,05 0,10 0,20 0,50 0,75 1,00]
Fractie verhard	<ul style="list-style-type: none"> fractie verharde oppervlak uitmaakt t.o.v. het gehele peilgebied. Dit kan gedaan worden door schattingen of een nauwkeurigere analyse in GIS onder verhard oppervlak valt bestrating, daken en wegen, e.d. - niet of slecht permeabel oppervlak infiltratietegels vallen niet onder verhard oppervlak. BGT viewer (https://bgtviewer.nl/). Of De verhardingsmonitor (neo.nl) 	-	[0,01 0,02 0,05 0,10 0,20 0,50 0,75 1,00]
Fractie gemengde riolering	<ul style="list-style-type: none"> fractie gemengde riolering (wijk opp.) t.o.v. het peilgebied. Dit kan gedaan worden door schattingen of een nauwkeurigere analyse in GIS. In het geval van woonwijken zegt de leeftijd van een woonwijk veel over de aanwezigheid van gemengde riolering of gescheiden stelsels de stelregel geldt: hoe ouder, hoe meer kans op een gemengd stelsel 	-	[0,01 0,02 0,05 0,10 0,20 0,50 0,75 1,00]
Peilfluctuatie (toegestane peilmarge, verschil tussen maximum- en minimumpeil)	<ul style="list-style-type: none"> schattingen van peilfluctuatie. De minimale peilfluctuatie zit tussen de 2 en 5 cm indien er strak beheerd wordt op één vast peil 	cm	
Kwel	<ul style="list-style-type: none"> gemiddelde kwelintensiteit negatieve getallen betreffen wegzijging, positieve getallen betreffen kwel 	mm/dag	[-1 -0,5 -0,25 0 0,25 0,5 1]
Doorspoeldebiet zomer (hoe groot is het debiet dat wordt gebruikt als extra inlaat, naast het debiet dat nodig is voor peilhandhaving)	<ul style="list-style-type: none"> inschatting van de maximale hoeveelheid water dat wordt ingelaten ten behoeve van doorspoelen in de zomerperiode. De capaciteit van het inlaatgemaal en ongeveer het aantal dagen waarop wordt doorgespoeld zegt iets over de hoeveelheid. In de praktijk is het vaak moeilijk exact te achterhalen wat het doorspoeldebiet is schattingen zijn dan ook voldoende 	m ³ /dag	

Belangrijk is om indien nutriëntenconcentraties worden aangepast dit door te voeren voor zowel de referentiesituatie, scenario 1 (WH2085) als scenario 2 (WH2085extreem).

Het metamodel is alleen geldig binnen de grenzen en randvoorwaarden waarvoor ze zijn afgeleid. In bijlage 9 is het bereik aangegeven.

Na het invoeren van de juiste waarden in het metamodel is het zaak de gegevens te visualiseren. In afbeelding 3.6 is een voorbeeld van een grafische weergave gegeven. In de afbeelding zijn de drie scenario's (referentiescenario, WH2085 en extreem) weergegeven. De blokken geven een indicatie van de actuele P-belasting ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{d}$) en de zwarte streepjes voor de kritische belasting ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{d}$). Een overschrijding van de kritische belasting duidt op een kwetsbaar systeem waar de voedselrijkdom beperkend is voor het ecologisch functioneren. In de afbeelding is de balk rood weergegeven zodat de lezer snel inzichtelijk krijgt dat het systeem als gevolg van klimaatinvloeden kwetsbaar wordt. De balken waar de externe belasting onder de kritische grens ligt, zijn groen weergegeven.

In de globale analyse wordt de kleur groen toegevoegd aan het beoordelingspakket, daar er met de globale analyse op het aspect voedselrijkdom benaderd kan worden of het systeem kwetsbaar is voor klimaat. Een groene kleur doet ons inziens recht aan het feit dat de waterkwaliteit ook bij extreme klimaatscenario's zeer waarschijnlijk in orde blijft voor de groei van ondergedoken waterplanten.

Een belangrijke toetsende vraag is of het beeld van het referentiescenario dat uit het model komt past bij het beeld van de actuele toestand (bij een belasting lager dan de kritische grens verwachten we een relatief heldere plantenrijke situatie, bij een belasting hoger dan de kritische grens verwachten we een situatie met kroos, algen, blauwalg, e.d.). Als het beeld afwijkt kan ervoor gekozen worden om na te gaan of andere factoren een rol spelen (zoals driehoeksmossel die het water helder houdt ondanks een te hoge belasting) en/of een reflectie te maken op de gehanteerde invoerwaarden (gevoeligheidsanalyse).

Bij een gevoeligheidsanalyse bekijk je wat de invloed is van de invoerparameters op het resultaat. Door deze reflecterende stap krijgt de gebruiker meer zicht op de waarschijnlijkheid van de voorspellingen. Een voorbeeld voor het uitvoeren van een globale analyse voor de casus grachten Utrecht is weergegeven in kader 3.6.

AFBEELDING 3.6

Mogelijke visualisatie voor de resultaten van de globale analyse. In de afbeelding zijn de drie scenario's (referentiescenario, WH2085 en WH2085extreem) voor een deelgebied weergegeven. De blokken geven een indicatie van de P-belasting en de zwarte streepjes voor de kritische belasting ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{d}$). Een groene kleur geeft aan dat het watersysteem robuust is (de belasting is lager dan de kritische grens), een rode kleur geeft aan dat het watersysteem niet robuust is (de belasting is hoger dan de kritische grens).



KADER 3.6**VOORBEELD TOEPASSING GLOBALE ANALYSE
CASUS GRACHTEN UTRECHT**

Voor de Binnenstad van Utrecht is een grove globale analyse op het onderdeel voedselrijkdom uitgevoerd. In tabel K.3.6 zijn de gebruikte uitgangspunten opgesomd en staat gemotiveerd hoe deze uitgangspunten tot stand zijn gekomen.

Deze uitgangspunten zijn met een minimale inspanning opgewerkt en dienen ter illustratie van de kracht van de globale analyse. Alle uitgangspunten zijn afkomstig uit openbare data of zijn aannames aan de hand van expert judgement.

De uitgangspunten hiernaast leveren de gebiedsverdeling in afbeelding K.3.6.3 op. Hierbij is te zien dat het water en onverhard oppervlak grofweg 20% van het totale oppervlak beslaan. Het overige oppervlak bestaat uit verhard gebied, waarbinnen een fractie van 0,8, nog uit een gemengd rioolstelsel heeft, resulterend in een verhard oppervlak met gemengd stelsel van 55% en een verhard oppervlak met gescheiden stelsel van 14%.

TABEL K.3.6

Uitgangspunten waterkwaliteitstresstest Binnenstad Utrecht.

PARAMETER	WAARDE	BRON	MOTIVATIE
Fractie open water;	0,14;	Open Data Portaal - Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (https://data-hdsr.opendata.arcgis.com)	Waterpeilen kaart: Hierin het peilgebied van Stadspeil Utrecht geselecteerd en oppervlakte afgelezen (15.582.998,52 m ²); Watervlak kaart: oppervlakte van peilgebied Stadspeil Utrecht geselecteerd als filter. Vervolgens de watervlakken gedownload en oppervlaktes opgeteld (2.272.938 m ²) en fractie open water berekend; zie afbeelding k.3.6.1.
Peilfluctuatie;	0,05 (m);	-	Peilgebied Stadswater Utrecht hanteert een vast peil. Door de stedelijk omgeving hebben wij de aanname gedaan dat er een strak peilbeheer wordt gehanteerd. In vele gevallen is een peilfluctuatie van 5 cm de minimaal haalbare fluctuatie.
Doorspoel zomer;	10 mm/dag;	-	Aanname. Stedelijk water wordt in de zomermaanden vaak doorspoeld om overlast te voorkomen (algenbloeien, drijfvuil).
Kwel;	0,00 mm/dag;	-	Door de menselijke invloeden in het stedelijk gebied is er uitgegaan van de afwezigheid van kwel.
Fractie verhard;	0,8;	BGT viewer (https://bgtviewer.nl)	Grove (visuele) inschatting van optelling pand, erf, overige bouwwerk, wegdeel autoverkeer, overige wegdeel ten opzichte van onverhard, gras, bomen, oever oppervlak, zie afbeelding k.3.6.2.
Fractie gemengd gerioleerd;	0,8;	-	Aanname. De binnenstad van Utrecht bestaat uit zeer veel oude panden waarbij vermoedelijk nog grotendeels een ouderwets rioolstelsel ligt. Echter zijn er ook nieuwbouw ontwikkelingen geweest. Uitgegaan van een fractie van 0,8.
Diepte;	2,00 m;	-	Het water is bevaarbaar voor pleziervaart. Hierdoor is de aanname gedaan dat de waterdiepte 2,0 m bedraagt.
Sedimenttype;	zand;	Toelichting Peilbesluit Utrecht-Maarssenbroek 2013;	De bodemopbouw in de stad Utrecht blijkt heterogeen te zijn. Er is veelal een dikke deklaag (enkele meters) op zware klei.

AFBEELDING K.3.6.1

Peilgebied Stadspeil Utrecht (zwarte lijn) en waterlichamen binnen dit peilgebied (lichtblauwe vlakken).

**AFBEELDING K.3.6.2**

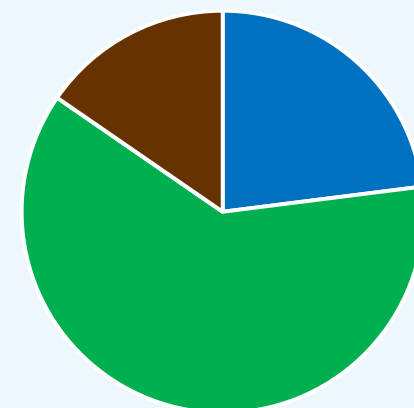
Voorbeeld van verhardingsmonitor.
Ingezoomd op de grachten van Utrecht.



De stresstest met de uitgangspunten uit tabel k.3.4 levert de onderstaande resultaten op. Te zien is dat met de huidige uitgangspunten de referentie niet te hoog belast is voor de draagkracht van het systeem. De beide scenario's, WH2085 en WH2085-extreem resulteren in hogere belastingen en een kleine afname in de kritische grens. De hogere belastingen zijn te verklaren door de hogere debieten die in de scenario's berekend zijn. In de scenario's wordt namelijk aangenomen dat het streefpeil behaald wordt. Dit betekent dat er in de zomermaanden, wanneer er meer verdamping plaatsvindt door de hogere temperaturen, er meer water wordt ingelaten voor peilbeheer. Ook komen er meer piekbuien voor. Deze piekbuien resulteren in een grotere bijdrage van uit- en afspoelingswater op het watersysteem.

AFBEELDING K.3.6.3

Gebiedsverdeling binnenstad Utrecht.

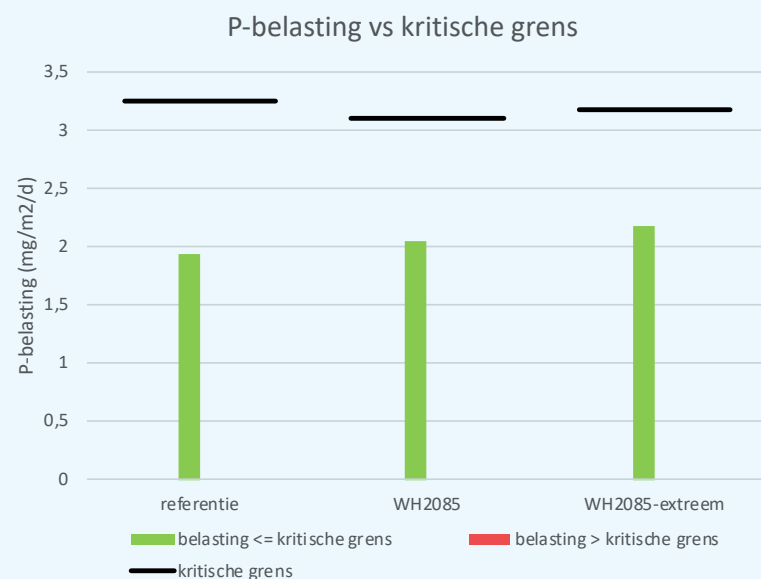


- water
- onverhard
- verhard
- gemengd gerioleerd

Door het gemiddeld hogere debiet neemt ook de kritische grens van het systeem toe. De achterliggende oorzaak daarvan is dat bij kortere verblijftijden, door een hoger debiet, er minder snel risico op algenbloeien is.

AFBEELDING K.3.6.4

Visualisatie van de resultaten van de globale analyse voor de casus binnenstad Utrecht. In de afbeelding zijn de drie scenario's (referentiescenario, WH2085 en WH2085extreem) weergegeven. De blokken geven een indicatie van de P-belasting en de zwarte streepjes voor de kritische belasting (mg/m²/d). Een groene kleur geeft aan dat het watersysteem robuust is (de belasting is lager dan de kritische grens), een rode kleur geeft aan dat het watersysteem niet robuust is (de belasting is hoger dan de kritische grens).



3.3.6 Stap 5 - Rapportage

De uitkomsten van de quickscan en de globale analyse inclusief de risicodialoog kunnen worden vastgelegd in een rapportage na welbevinden van de betrokken partijen. De inzichten in kwetsbaarheden, knelpunten en kansen omtrent het klimaatthema waterkwaliteit kunnen worden aangevuld met eerste ideeën over mogelijke adaptatie-opgaven en kansen, ook vanuit de andere stresstesten (e.g. wateroverlast). Verder vormt de rapportage een basis voor verdere besprekingen met betrokken partijen over vervolgcacties in het kader van de voorwaarden gesteld in het DRPA en de KRW.

Vervolgstappen nodig?

Op basis van de rapportage (stap 5) en de risicodialoog kan worden besloten om de uitkomsten van de quickscan en globale analyse verder te onderzoeken in een nadere analyse. De nadere analyse zoomt verder in op de problemen of onduidelijkheden.

3.4 NADERE ANALYSE

De nadere analyse is de laatste stap van de stresstest waterkwaliteit. In de quickscan en de globale analyse is een beeld gekregen of de waterkwaliteit kwetsbaar is voor klimaatverandering en aan welke facetten dit grofweg kan liggen, waarbij het aspect nutriënten diepgaander is beschouwd.

In de nadere analyse wordt ingezoomd op openstaande vragen, relevante facetten en wordt een nauwkeuriger beeld verkregen van de mogelijk omvang van het klimaatteffect en de sensitiviteit van de voorspellingen. Daarnaast is het doel van de nadere analyse om input te geven richting het ontwerp van verbeterings- of behoud maatregelen. Tot slot kan de input uit de nadere analyse gebruikt worden voor de evaluatie (haalbaarheid) van waterkwaliteitsdoelen- en maatregelpakketten. Hiermee kan de analyse een bevestiging geven van de reeds voorziene maatregelen of een urgentie duiden voor het nemen van aanvullende maatregelen.

3.4.1 Methode

De nadere analyse sluit aan bij de methodiek voor het uitvoeren van een ecologische watersysteemanalyse. In zo'n systeemanalyse wordt een diagnose gesteld met als doel om de vinger op de zere plek te leggen. Een 'systeemanalyse voor klimaatverandering' gebruikt in de basis dezelfde werkwijze op basis van ESF's en tools: zoals de waterbalans, temperatuur model (TREV), ecologische voedselwebmodel, e.d. (zie toelichting bijlage 5) maar richt zich specifiek op zaken die relevant zijn voor klimaatscenario's.

Waar in de globale analyse gebruik werd gemaakt van een algemene inzichten o.b.v. inschattingen en kentallen, wordt dit in de nadere analyse verfijnd. Hiervoor geldt hetzelfde als bij de globale analyse dat er ingezoomd kan worden op:

- 1 voedselrijkdom / nutriënten;
- 2 temperatuur;
- 3 zuurstofsituatie;
- 4 vervuiling / toxiciteit;
- 5 bacteriologische situatie;
- 6 verzilting.

De bedoeling is echter dat er één integraal beeld van het gebied en de problematiek gevormd wordt. Onderstaand is voor het onderdeel nutriënten een voorzet voor een mogelijke nadere analyse gegeven. Voor de overige facetten is het aan de gebruiker om in te zoomen op hetgeen dat van belang lijkt.

Voedselrijkdom

Hoe het klimaat precies gaat ontwikkelen is onzeker. In de globale analyse zijn een tweetal (extreme) klimaatscenario's verkend, namelijk WH2085 en WH2085 extreem. Uiteraard is er veel meer maatwerk mogelijk. Voor waterkwaliteit is onder andere de timing, maar ook de opvolging van warm, droog en nat relevant. Uit de nadere analyse, waarin meer detail en maatwerk wordt gevraagd, kan blijken dat de effecten meevallen (rood wordt dan weer oranje of zelfs groen).

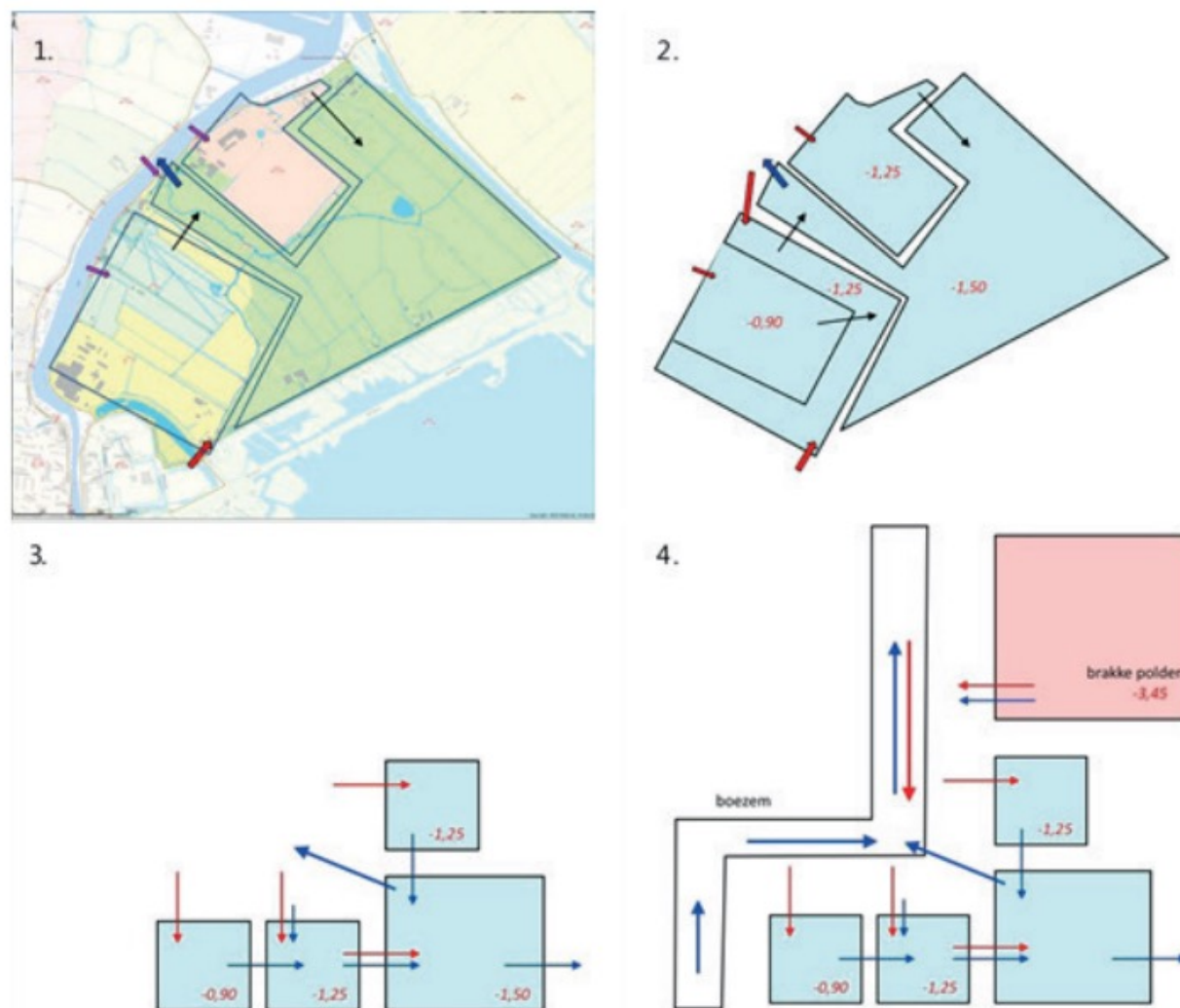
Onderstaand is een aantal suggesties voor klimaatscenario's gegeven (naar voren gekomen uit de werkgroep stresstest waterkwaliteit) met hun toepassing in de modelketen:

- Klimaatscenario's met een jaarronde aanpassing, zoals:
 - een veel warmere jaargemiddelde temperatuur van +4 graden;
 - het toepassen van 0,5 m zeespiegelstijging, met name relevant voor kustnabije watersystemen die te maken hebben met zoute kwel en (ongewenste) zoute inlaat;
 - een veel grotere of juist kleinere externe belasting van inlaatwater.
- klimaatscenario's met een kortstondige aanpassing (extremen) of verschuiving van droogte, hitte en wateroverlast (timing), zoals:
 - een 200 mm bui in 48 uur;
 - veel neerslag of juist extreme droogte aan het begin van het groeiseizoen;
- klimaatscenario's met een ander beheer of (land)gebruik, zoals:
 - een scenario met een natuurlijk uitzakkend peil (geen waterinlaat om peil te handhaven);
 - een scenario met andere af- en uitspoelingskentallen, omdat klimaatverandering ook een effect op mineralisatie- en demineralisatie heeft (Ursem *et al.*, 2021);
 - een scenario's met toegenomen beheer (maaien van waterplanten);
 - een scenario met veranderend gebruik (bijv. toegenomen vaarrecreatie).

We raden in ieder geval sterk aan om op deelgebiedsniveau eigen waterbalansen te maken en deze toe te passen in samenspraak met een ecologisch model. Bij gedetailleerde vragen omtrent verspreiding van nutriënten en bronnen kan een ruimtelijk model raadzaam zijn.

AFBEELDING 3.7

Voorbeeld van een blokkenschema voor meerdere deelanalyses (Tanis, et al., 2018).



3.4.2 Stap 1 - Afbakening projectgebied In de eerste werkstap van de nadere analyse wordt gereflecteerd of het geselecteerde projectgebied dat is gebruikt in de globale analyse (en/of quickscan) overeenkomt met het gewenste gebied voor de nadere analyse. Zeer waarschijnlijk is het abstractieniveau te hoog en is het wenselijk om het systeem in kleinere deelenheden op te knippen. Mogelijk kan het nuttig zijn om voor elke deeleenheid een analyse (bijv. waterbalans) te maken en deze aan elkaar te koppelen. Vooral hydrologische- en systeemkenmerken vormen een argument voor de afbakening. Vragen als: Wat is de verblijftijd? Welke invloeden zijn er van buitenaf?, e.d. zijn relevant. Het kan helpen om een zgn. blokkenschema te maken om je gebied in beeld te brengen (afbeelding 3.7).

Ook voor specifieke analyses i.r.t. zuurstof, verzilting, toxiciteit kan het handig zijn om een dergelijk ruimtelijk oorzaak-gevolgschema te maken om duidelijk te krijgen op welk detailniveau de analyse zich zal moeten toespitsen.

3.4.3 Stap 2 - Partijen betrekken

Ook voor het uitvoeren van de nadere analyse is het verstandig om een integraal projectteam samen te stellen. In de basis kan dit hetzelfde projectteam zijn als bij de quickscan en/of globale analyse. Dit komt ten gunste van de continuïteit en behoud van eigenaarschap bij zowel de gemeente als de waterbeheerder. Voor de meeste onderwerpen kan het echter zinvol zijn om aanvullende expertise te betrekken. Afhankelijk van het onderwerp of onderwerpen waarop je inzoomt kan het zinvol zijn om een expert uit tabel 3.2 te betrekken.

3.4.4 Stap 3 - Gegevens verzamelen

In de derde stap worden de gegevens verzameld. De benodigde gegevens hangen sterk af van je focusonderwerp.

In tabel 3.1 (paragraaf 3.3.4) zijn de benodigde gegevens weergegeven voor het maken van een waterbalans voor het onderdeel nutriënten. Voor de verfijning kan het zinvol zijn om hier een detailleringsslag in te maken en bijvoorbeeld de nutriënten kengetallen voor af- en uitspoeling aan te passen.

TABEL 3.2

Overzicht van te raadplegen experts per onderwerp.

ONDERWERP	EXPERT
verzilting	sydroloog / geohydroloog / ruimtelijk modelleur
zuurstof	waterkwaliteitsdeskundige / modelleur
toxiciteit	geohydroloog / toxicoloog
bacteriologische kwaliteit	bicriobioloog

Daarnaast kan het nodig zijn om extra metingen te verrichten, gericht op het onderwerp van interesse. Bijvoorbeeld extra zuurstof- of toxiciteitsmetingen als er vermoedens zijn van zuurstofloosheid of lozingen van stoffen.

STOWA heeft ten behoeve van het uitvoeren van een systeemanalyse een overzicht gegeven van mogelijke inputparameters: [esf inputparameters](#). Deze parameters kunnen ter inspiratie dienen bij de nadere analyse.

3.4.5 Stap 4 - Het uitvoeren van de analyse

In de vierde stap wordt de analyse uitgevoerd. In deze analyse wordt er ingezoomd op de facetten die voor dit watersysteem relevant zijn. Hierbij wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van kwantitatieve scenario's en beschikbare modellen en tools. Op deze manier krijgt de gebruiker in gedetailleerd beeld welke zaken maken dat het systeem 'kwetsbaar' is voor klimaatverandering. Inzicht in deze facetten is nodig om maatregelen en doelen te kunnen evalueren en formuleren.

We hebben in deze handreiking geen nadere uitwerking gemaakt van de te maken werkstappen van een uitgebreide systeemanalyse, omdat de wijze waarop je een analyse wil vormgeven zeer afhangt van het gebied en de problematiek. Gemakshalve verwijzen wij in deze handreiking naar de bestaande STOWA-rapportages over de ecologische sleutelfactoren en systeemanalyses.

3.4.6 Stap 5 - Rapportage

De uitkomsten van de nadere analyse kunnen worden vastgelegd in een rapportage na welbevinden van de betrokken partijen. Ten behoeve van de leesbaarheid is het zinvol om de informatie (1) ruimtelijk weer te geven, of (2) weer te geven aan de hand van verschillende scenario's. Op welke wijze de gebruiker de informatie exact weergeeft staat vrij.

3.5 AANBEVELINGEN VOOR DE ANALYSE EN RISICODIALOOG

Deze handreiking stresstest waterkwaliteit is de eerste versie van een stresstest waterkwaliteit. De handreiking is gebaseerd op de meest recente kennis rondom klimaatverandering en waterkwaliteit en is tot stand gekomen in uitgebreide dialoog met de werkgroep stresstest waterkwaliteit en de begeleidingscommissie. Door toepassing van de gepresenteerde methode krijgen waterbeheerders in een door hun gekozen projectgebied een eerste beeld van de effecten van klimaatverandering voor de waterkwaliteit. De stresstest is hiermee een bruikbaar instrument als aanvullingen op de reeds bestaande DPRA stresstesten.

Analyse

Ten behoeve van de uitvoering van de methode en analyse hebben wij een aantal aandachtspunten en aanbevelingen:

- 1 de gepresenteerde methode betreft een eerste versie. De methode is met de grootste aandacht samengesteld, maar het kan echter zijn dat facetten minder makkelijk toepasbaar zijn of de methode zich voor enkele gebieden minder leent. Daarnaast kan het voorkomen dat nieuwe kennis beschikbaar komt. Tot slot is het onderdeel nadere analyse in deze handreiking beperkt uitgewerkt. We raden dan ook sterk aan met de methode aan de slag te gaan en te beproeven wat wel werkt en wat niet. Bijgaande handreiking vormt in onze ogen dan ook een groeidocument dat op basis van ervaringen en nieuwe kennis verder aangescherpt kan worden;
- 2 we raden aan de uitvoering van de stresstest waterkwaliteit in gezamenlijkheid vorm te geven, bijvoorbeeld door een CoP stresstest waterkwaliteit op te richten en in deze CoP met en van elkaar te leren en de methode te evalueren op inhoud en toepasbaarheid;
- 3 ten behoeve van het gebruiksgemak raden we aan ondersteunende tools voor uitvoering en presentatie (online) te ontwikkelen:
 - 1 tool ter ondersteuning van de quickscan. Te denken valt aan de constructie van een interactieve kaartomgeving, waarop gebruikers per waterlichaam (in het veld) parameters kunnen invullen. De infrastructuur zou moeten aansluiten op reeds bestaande veldformulieren. De resultaten van de stresstest zouden grafisch op kaartbeeld weergegeven kunnen worden;
 - 2 een online tool voor het uitvoeren van de globale analyse gebaseerd op een zogenaamd metamodel van het modelinstrumentarium. De Excel metamodel die bij deze handreiking beschikbaar is gesteld betreft een vereenvoudiging van de berekeningen. Een online metamodel kan geconstrueerd worden met een groter gebruik. Daarnaast is de Excel metamodel gebaseerd op de klimaatscenario's van het KNMI'14. In het najaar van '23 komen zeer waarschijnlijk nieuwe klimaatscenario's beschikbaar. Het valt aan te raden het metamodel een update te geven aan de hand van deze kennis;
 - 4 we raden aan een landelijk overzicht van maatregelen die uitgevoerd gaan worden ten aanzien van de waterkwaliteit en kwantiteit te genereren. Er is een sterke relatie tussen water in de gebouwde omgeving en het regionale systeem. Maatregelen in het regionale systeem hebben een effect op het lokale systeem. Bij het definiëren van verbetermaatregelen is het noodzakelijk zicht te hebben op de bredere landschappelijke context van het watersysteem.

Risicodialoog

De resultaten van de quickscan, globale analyse en/of nadere analyse vormen samen met de beschikbare gebiedskennis een startpunt voor een risicodialoog met betrokken partijen. Een voorzet van een risicodialoog voor de casus singels van Breda is aanwezig in kader 3.7.

Quickscan

In de quickscan heeft de gebruiker aan de hand van de blokken (1) systeemkenmerken, (2) drukfactoren en (3) ecologische en fysisch/chemische toestand en de onderliggende parameters een kwalitatief beeld gekregen voor de kwetsbaarheden van klimaatverandering en enkele oorzaken hiervan:

- door het blok systeemkenmerken krijgt de eindgebruiker inzichtelijk of er aanleidingen zijn vanuit de inrichting van het watersysteem. Kan de geringe diepte bijvoorbeeld de reden zijn dat het systeem kwetsbaar is voor klimaat? Of is het juist de verhouding tussen verhard oppervlak en open water in het gebied een mogelijke oorzaak waardoor er een te grote afstroming van vervuild hemelwater kan plaatsvinden;
- door het blok drukfactoren krijgt de gebruiker inzicht of er aanwijzingen zijn dat externe factoren en/of direct menselijk handelen bijvoorbeeld als gevolg van beheer, het water kwetsbaar maken voor klimaat. Is er bijvoorbeeld sprake van frequente riooloverstort? Of is er een grote kans dat honden- of vogelpoep (externe belasting) het water in komt?
- door het blok fysisch-chemische en ecologische toestand krijgt de gebruiker inzicht of er aanwijzingen zijn vanuit de huidige toestand dat het watersysteem kwetsbaar is voor klimaat. Is de watertemperatuur nu al hoog?

Is het zuurstofgehalte laag? Is er sprake van stank, vuil of bijvoorbeeld kroos en woekering van waterplanten? De verwachting is dat als gevolg van klimaatverandering al deze facetten zullen toenemen.

Het inzicht in de drie blokken geeft een indicatie voor de zekerheid van het probleem (alle blokken op rood, dan is het systeem vrij zeker kwetsbaar voor klimaatverandering) en ook een mogelijke oplossingsrichting. Op basis van de quickscan kunnen de gebruikers samen bepalen of het erg is dat het systeem kwetsbaar is voor klimaatverandering en/of vervolgacties m.b.t. maatregelen nodig zijn. Als het daadwerkelijk gaat om het ontwerp van maatregelen, dan is het aan te raden om minstens de stresstest niveau 2 (globale analyse) uit te werken.

Wat betreft de beoordeling of het erg is dat het watersysteem kwetsbaar is voor klimaat speelt de gebruiksfunctie en de ambitie vanuit de omgeving mee.

Globale analyse

In de globale analyse heeft de gebruiker een eerste beeld gekregen van de integrale kwetsbaarheid van het huidige watersysteem, mogelijke kli-maateffecten en ten slotte de robuustheid van het watersysteem (kwantitatief) verdiept op het aspect voedselrijkdom in relatie tot risico op kroos en/of (blauw)algen. Mogelijk heeft de gebruiker ook

ingezoomd op andere relevante aspecten zoals toxiciteit.

De informatie tezamen geeft een goed beeld of het systeem kwetsbaar is voor klimaatverandering. Er wordt dan ook daadwerkelijk een beoordeling gemaakt of het systeem kwetsbaar is (rood) of niet kwetsbaar (groen). Hiermee kunnen de verschillende partijen in gesprek of het erg is dat het systeem kwetsbaar is. Bij deze afweging spelen de gebruiksfunctie, de ambitie vanuit de omgeving en de wettelijke taken mee. Voor sommige functies is het bijvoorbeeld niet erg dat er een verschuiving van de ecosysteemtoestand optreedt. Zo kunnen bootjes nog goed varen door algen, maar hebben ze voor hun motoren vooral last van de waterplanten.

Daarnaast speelt ook het bredere toekomstperspectief van het gebied mee. In West-Nederland kan bijvoorbeeld verzilting als waterkwaliteitsprobleem worden aangemerkt. Het betreft een politiek-maatschappelijke discussie in hoeverre ook op de lange termijn je dan wilt vasthouden aan een zoet ecosysteem.

Indien de partijen het eens zijn dat maatregelen ter verbetering of ter voorkoming van waterkwaliteitsproblemen noodzakelijk zijn en deze maatregelen serieuze kosten met zich meebrengen, is het raadzaam om een verdiepende slag te maken middels een nadere analyse. In de nadere analyse

wordt de vinger op de zere plek gelegd, wat eventuele desinvesteringen zou moeten voorkomen. Het kan ook gaan om de evaluatie van de haalbaarheid van doelen, bijvoorbeeld: is de aanwijzing van een zwemwaterlocatie verstandig?

Nadere analyse

In de nadere analyse heeft de gebruiker geleerd wat het systeem nu echt kwetsbaar maakt voor klimaatverandering. Hoe werkt het watersysteem? Wat zijn ingreep-effect relaties? Wat maakt het systeem kwetsbaar? Welke processen liggen hieraan ten grondslag? Waar kan op worden gestuurd?

Voor kwetsbare watersystemen zal een beheerder in veel gevallen maatregelen willen nemen om de huidige en toekomstige gebruiksfuncties te kunnen blijven garanderen en om aan de KRW richtlijnen (doelen overig water) te voldoen. Er is een groot scala aan maatregelen denkbaar om de verschillende oorzaken die maken dat een watersysteem kwetsbaar is voor klimaatverandering, aan te pakken. De ESF's helpen om hierin te structureren. Ter ondersteuning voor de keuze welke maatregelen meer of minder effectief zijn, kan de gebruiker de nadere analyse ook gebruiken om beheersscenario's en maatregelen door te rekenen.

KADER 3.7 VOORZET VOOR DE RISICODIALOOG SINGELS VAN BREDA

In de Bredase singels zien we dat er vanuit de toestand en drukfactoren een grote kans is voor kwetsbaarheid voor klimaat. Daarnaast groeit de vraag naar zwemwater. Deze functie stelt hoge eisen aan de kwaliteit van het oppervlaktewater.

De gemeente kan in gesprek met het gebied omtrent de wensen ten aanzien van de functie. Hierbij kan er op basis van technisch inhoudelijke informatie gekeken worden naar locaties binnen het systeem die makkelijker geschikt te maken zijn ten behoeve van de functie.

➔ HOOFDSTUK 4 REFERENTIES

4

- Dekker, G., & Hamel, A. (2021). *Begeleidingscommissie STOWA. PvA waterkwaliteit en klimaatverandering.*
- Gudde, T., Witteveen+Bos, RoyalHaskoningDHV, & Colibrice Advies. (2018). *Handreiking KRW-doelen. STOWA.*
- H2O. (2022). *Onderzoekers Deltares: Lage rivierafvoeren komen straks vaker voor.* <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/deltares-lage-rivierafvoer-rijn-komt-straks-vaker-voor-H2O>. (2023).
- Klimaatverandering leidt tot groeiende behoefte aan zwemlocaties. <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/klimaatverandering-leidt-tot-groeiende-behoefte-aan-zwemlocaties>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Limaheluw, J., Vreman, B.-J., Van der Meulen, S., Belgers, D., & Bruijns, A. (2021). *SKWK Klimaatbestendige Stad; Stedelijke waterkwaliteit, klimaat en adaptatie; Achtergrondrapport.*
- NKWK. (2022). *NKWK Klimaatbestendige stad - Stedelijke waterkwaliteit, Klimaat en Adaptatie - Tussenrapportage.*
- Schep, S. A., & Verbeek, S. K. (2018). *Ecologische sleutelfactoren. Handvatten voor aquatische systeemanalyses.* Landschap 2018/1.
- Schoumans, O. F., Groenendijk, P., Renaud, L. V., & Bolt, F. J. E. van der. (2008). *Nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater: Vergelijking tussen landbouw- en natuurgebieden.* <https://research.wur.nl/en/publications/nutri%C3%ABntenbelasting-van-het-oppervlaktewater-vergelijking-tussen-natuurgebieden>
- Sollie, S., Osté, A., Ketelaar, H., & Gylstra, R. (2022). *Klimaatstresstest waterkwaliteit stedelijk gebied; kwetsbaarheden en oplossingsrichtingen. H2O.* <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/klimaatstresstest-waterkwaliteit-stedelijk-gebied-kwetsbaarheden-en-oplossingsrichtingen>
- STOWA. (2011). *Een frisse blik op warmer water; over de invloed van klimaatverandering op de aquatische ecologie en hoe je de negatieve effecten kunt tegengaan.*
- STOWA. (2014). *Ecologische sleutelfactoren. Begrip van het watersysteem als basis voor beslissingen. Rapport 2014-19. Amersfoort. STOWA.*
- STOWA. (2018). *Ecologische sleutelfactor Organische Belasting.*
- STOWA (2020). *Ecosysteemtoestanden voor stilstaande wateren. Rapport 2018-23. Tweede versie. Amersfoort. STOWA.*
- Tanis, H. R., Schep, S., & Van Dijk, A. (2018). *Waterstromen in beeld; handleiding bij de excelrekentool waterbalans.*
- Turlings, L., Meier, M., Maandag, H., & De Wildt, B. (2011). *Vierstappanplan voor ecologisch herstel stadswateren Rotterdam. H2O.*
- Ursem, M., Van der Kamp, M., Hendriks, W., & Schep, S. (2021). *Klimaatverandering en de uit- en afspoeling van nutriënten.* <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/klimaatverandering-en-de-uit-en-afspoeling-van-nutrienten>
- Van der Kamp, M., Cals, T., Ouboter, M., & Schep, S. (2021). *Waterkwaliteitstresstest: Gevolgen van klimaatverandering op sleutelfactoren gekwantificeerd. H2O/Waternetwerk.* <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/waterkwaliteitstresstest-gevolgen-van-klimaatverandering-op-sleutelfactoren-gekwantificeerd>
- Van der Kamp, M., de Jonge, H & B. Brederveld. (2022). *Verkennd onderzoek klimaatverandering op de aquatische ecologie en waterkwaliteit in het beheergebied van HHNK. Witteveen+Bos.*
- Van der Meulen, S. (2023). *Functional quality of urban surface water.* <https://doi.org/10.18174/575800>

➔ STOWA IN HET KORT



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

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

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

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

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

DE GRONDBEGINSELEN VAN STOWA ZIJN VERWOORD IN ONZE MISSIE:

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

STOWA

Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

BEZOEKADRES

Stationsplein 89, vierde etage
3818 LE Amersfoort

033 460 32 00
stowa@stowa.nl
www.stowa.nl

➔ BIJLAGEN



BIJLAGE 1

TOELICHTING DROOGVALLENDE INFILTRATIEVOORZIENINGEN

KADER B.1.1

WADI'S ALS VOORBEELD VAN DROOGVALLENDE INFILTRATIEVOORZIENINGEN

Wadi's zijn essentiële watersystemen in het stedelijk gebied. Een wadi is een groene greppel die bij hevige neerslag regenwater bergt en zuivert. Zodra de hevige neerslag voorbij is, zal het ingevangen water in de wadi verdampen en infiltreren in de bodem. Vaak is ondergronds infrastructuur aangebracht om de berging en infiltratie van de wadi te bevorderen, zoals infiltratiekratten, granulaatkorrels en drainagebuizen. Dit maakt dat wadi's helpen tegen wateroverlast en droogte. Eventueel overtollig water dat een wadi instroomt, wordt middels slokops en drainagebuizen afgevoerd naar nabije sloten en vijvers. Door de ligging van wadi's te midden van woonwijken, worden wadi's vaak gebruikt door spelende kinderen en hondenbezitters die daar hun hond uitlaten. Het is belangrijk om dit gebruik mee te nemen bij het bepalen van verwachte veranderingen door klimaatverandering.

Anno 2023 zijn wadi's enkele dagen tot enkele weken per jaar gevuld met water en staan ze de rest van het jaar droog. Door de zuiverende functie van regenwater kan bij het instroompunt van een wadi een centimeters dikke vervuiling aan het oppervlak ontstaan. Deze vervuiling ontwikkelt heel traag en het kost zo'n twintig tot veertig jaar voordat hoge concentraties waarneembaar zijn.

Omdat wadi's ook bij klimaatverandering maar enkele dagen tot enkele weken per jaar gevuld zijn met water, wordt dit watertype niet meegenomen in deze handreiking stresstest waterkwaliteit.

BIJLAGE 2

ACHTERGRONDINFORMATIE GEBRUIKSFUNCTIES STEDELIJK WATER

HOOFDGROUP	SUBGROUP	GEBRUIKSFUNCTIE
Bevoorrading	<ul style="list-style-type: none"> • Voeding • Water voor niet-drinkbare toepassingen • Energie • Overig 	<ul style="list-style-type: none"> • Bevissing Vangen van water nabije dieren (anders dan vissen) Oogsten van planten en algen Drinkwater • Irrigatie agricultuur Irrigatie overig Industrie Brandweer Vullen van plassen Overig • Warmte energie Energieproductie o.b.v. verschillen in zoutgehalte Energieproductie o.b.v. kinetische energie • Oogsten van biomassa (niet voedsel-gerelateerd) Oogsten van abiotisch materiaal
Regulatie & onderhoud	<ul style="list-style-type: none"> • Regulatie & onderhoud 	<ul style="list-style-type: none"> • Waterkwaliteit Waterkwantiteit Globale klimaatregulatie Lokale klimaatregulatie
Cultuur	<ul style="list-style-type: none"> • Recreatie • Spiritueel & symbolisch 	<ul style="list-style-type: none"> • Primair contact recreatie Secundair contact recreatie Pleziervaart Sportvissen Jagen op aquatisch leven Landschap Schaatsen • Cultureel erfgoed Religie
Ruimte	<ul style="list-style-type: none"> • Ruimte 	<ul style="list-style-type: none"> • Bouw op water Wateropslag ondergronds Goederenvervoer Personenvervoer Water als barrière

BIJLAGE 3 QUICKSCAN VEREISTE INVOERPARAMETERS

De vereiste invoerparameters voor de quickscan zijn opgenomen in de onderstaande tabel. Deze tabel is ook te downloaden via de hieronder aanwezige QR-code.



Vereiste invoerparameters voor quickscan waterkwaliteit

	Totale lijst mogelijke input parameters	kwalitatief / kwantitatief	Minimale, vereiste invoer voor quick-scan	Invoer	Grenswaarde voor gemiddelde/hoge kans voor kwetsbaarheid onder klimaatverandering	Incidentele (extremen) of geleidelijke ontwikkeling (alleen drukfactor/toestand)-gnijs is indirect effect	Beoordeling GEEL (lage kans op kwetsbaarheid) (binnen/onder grenswaardes)	Beoordeling ORANJE (gemiddelde kans op kwetsbaarheid)	Beoordeling ROOD (hoge kans op kwetsbaarheid)	Vraagstelling in quick-scan	Onderbouwing. Waarom is dit een probleem bij klimaatverandering?	Referentie
SYSTEEMMERKEN	bodemtype	kwalitatief	X	klei, zand, veen	klei en veen		zand	klei	veen	Wat is het dominante bodemtype van het waterlichaam?	Bij hogere temperaturen neemt de snelheid van processen in de bodem toe, waardoor er meer nutriënten vrij kunnen komen. Dit is vooral van toepassing in bodemtypes die veel nutriënten bevatten, zoals klei en veen. Op veenbodems zijn	STOWA, 2008-04. Van helder naar troebel en weer terug
	diepte	kwantitatief	X	gemiddelde diepte (m)	< 0,5 m > 1,5 m		0,5 m < diepte < 1,5 m		< 0,5 m > 1,5 m	Wat is de gemiddelde diepte van het waterlichaam?	De waterdiepte is een belangrijke voorwaarde voor het voorkomen van ondergedoken waterplanten. Bij een waterdiepte van minder dan 0,5 meter is er sprake van te sterke zuurstoffluctuatie. Overdag produceren planten en algen zuurstof. Door de geringe diepte kan er weinig zuurstof in het water worden opgeslagen, waardoor het 's nachts, als er veel zuurstof verbruikt wordt, zuurstofloos kan worden. Ondiepe wateren warmen ook sneller op, waardoor de temperatuur te hoog kan worden voor planten en dieren. Als het water juist te diep is (meer dan 1,5 meter) kan het lichtklimaat ongunstiger worden voor ondergedoken waterplanten. Vaak is het doorzicht in het water niet voldoende om genoeg licht op de bodem te	STOWA, 2015-17. Ecologische sleutelfactoren voor het herstel van onderwatervegetatie Twisk, W. J. (2000). Effects of ditch management on caddisfly, dragonfly and amphibian larvae in intensively farmed peat areas. Aquatic Ecology, 34, 397-411.
	doodlopende watergang / eenzijdig aangetakt / luwte / doorstromingsknelpunt	kwalitatief	X	ja / nee	ja		nee	ja		Is er sprake van stilstaand water door eenzijdige aantakking, een doorstromingsknelpunt en/of een lokale luwte in stroming?	In een doodlopende of eenzijdig aangetakte watergang kan er een ophoping ontstaan van nutriënten en er zijn lange verblijftijden. Bij toenemende temperatuur kunnen algen hier tot bloei komen. Of er problemen ontstaan in een doodlopende watergang hangt voornamelijk af van de nutriëntenbelasting. Bij een lage nutriëntenbelasting hoeft het geen probleem te zijn. In een transportgestuurd systeem (verblijftijd < 3 dagen) is het belangrijk dat er geen doodlopende watergangen zijn.	STOWA, 2015-17. Ecologische sleutelfactoren voor het herstel van onderwatervegetatie
	flauw talud (onderwater)	kwalitatief		ja / nee	nee (mogelijk risico)		ja	nee	-	Is er een flauw talud onderwater aanwezig? Dit is een flauw, gradueel aflopende bodem vanaf de oever.	Bij een steil talud is er minder ruimte voor water- en oeverplanten. Dit maakt het watersysteem minder robuust, waardoor het kwetsbaarder wordt voor de gevolgen van klimaatverandering.	STOWA, 2018-04. Uitwerking ESF habitatgeschiktheid
	percentage open water	kwantitatief		%	< 10%		> 10%	-	< 10%	Wat is het percentage open water in het projectgebied?	Een laag percentage water, vergeleken met het percentage land dat afstroomt op het water, zorgt ervoor dat het systeem kwetsbaarder is. Bij een (piek)lul krijgt het watersysteem veel water en daarmee is de relatieve hoeveelheid aan watervervulling door uit- en afspoeling groter.	Berekeningen met de modellen PCLake en PCDitch

	Totale lijst mogelijke input parameters	kwalitatief/ kwantitatief	Minimale vereiste invoer voor quick-scan	Invoer	Grenswaarde voor gemiddelde/hoge kans voor kwetsbaarheid onder klimaatverandering	Incidentele (extremen) of geleidelijke ontwikkeling (alleen drukfactor/toestand) - grijs is indirect effect	Beoordeling GEEL (lage kans op kwetsbaarheid) (binnen/onder grenswaardes)	Beoordeling ORANJE (gemiddelde kans op kwetsbaarheid)	Beoordeling ROOD (hoge kans op kwetsbaarheid)	Vraagstelling in quick-scan	Onderbouwing. Waarom is dit een probleem bij klimaatverandering?	Referentie
	verhard oppervlak (hoeveelheid)	kwantitatief		% op catchment niveau	>25%		<25 %	-	>25 %	Wat is het percentage verhard oppervlak in het projectgebied?	Verhard oppervlak vormt een risico voor de waterkwaliteit. Bij een gemengd rioleringsstelsel kan er sprake zijn van overstorten. Ook zitten er vaak foutaansluitingen in rioleringen, waardoor er vervuild water in het oppervlaktewater kan komen. Na een (piek)bui stroomt water (en vaak ook vuil) van het verhard oppervlak af naar het waterlichaam. Hierdoor stijgt de nutriëntenbelasting; met name bij een flinke bui na een lange tijd van droogte. Als meer dan 25 % van het catchment bestaat uit verhard oppervlak dan vormt dit een risico	Berekeningen met de modellen PCLake en PCDitch
DRUMFACTOREN	bladval in water	kwalitatief	X	ja / nee	ja	geleidelijk, incidenteel	nee	-	ja	Is er sprake van bladval in het waterlichaam?	Wanneer ingevallen blad in het water gaat afbreken stijgt de zuurstofvraag, waardoor er minder zuurstof in het water beschikbaar is. Door klimaatverandering laten bomen soms eerder in het jaar hun bladeren vallen, het gaat soms minder geleidelijk (bijvoorbeeld door een storm) en afbraak gaat sneller. Bij het beschouwen van deze parameter is het relevant of de bladeren van bomen daadwerkelijk in het water vallen (m.a.w. is de afstand van de boom tot de waterkant groot genoeg. Deze afstand hangt af van de grootte van de boom. Daarnaast gaat het erom dat het om dat het om serieze hoeveelheden gaat relatief tot het oppervlak. Gaat het om een enkele boom, dan kan bij deze vraag nee worden ingevuld.	STOWA, 2018-27. Ecologische Sleutelfactor organische belasting
	hondenpoep	kwalitatief	X	ja / nee	ja	n.v.t.	nee	-	ja	Worden de oevers van het waterlichaam gebruikt als hondenuitlaatplaats (ook als dit officieel niet de bedoeling is) en is er sprake van afspoeling richting het water?	Als hondenpoep in het water komt dan maakt dit het water extra kwetsbaar voor waterkwaliteitsproblemen. Door de extra nutriënten kunnen bijvoorbeeld algen tot bloei komen.	STOWA, 2018-27. Ecologische Sleutelfactor organische belasting
	kwel	kwalitatief		ja / nee	?	geleidelijk	nee	ja	-	Is er sprake van kwel?	De aanwezigheid van kwel kan positief of negatief zijn voor het watersysteem, afhankelijk van de kwaliteit van de kwel. Het kan zorgen voor extra nutriëntenbelasting en in sommige gebieden tot zoutindringing. Wegzijing wordt beoordeeld als een nee.	STOWA, 2015-17. Ecologische sleutelfactoren voor het herstel van onderwatervegetatie
	lekkage riolering / foutaansluiting	kwalitatief		ja / nee	ja	n.v.t.	nee	-	ja	Zijn er meldingen geweest of zijn er vermoedens van foutaansluitingen van de riolering in de nabije omgeving van het waterlichaam?	Een lekkende riolering leidt tot hogere nutriëntenbelasting en organische belasting. Dit maakt het watersysteem kwetsbaarder voor waterkwaliteitsproblemen.	STOWA, 2018-27. Ecologische Sleutelfactor organische belasting
	maaien/ruimen	kwalitatief		ja / nee	ja	geleidelijk, incidenteel	nee	ja	-	Worden waterplanten (2 keer of meer per jaar) gemaaid in het waterlichaam?	Het verwijderen van waterplanten maakt het systeem kwetsbaarder voor de gevolgen van klimaatverandering. Mogelijk slaat het systeem om naar een toestand met dominantie van algen. De maai frequentie wordt mogelijk ook anders door	STOWA, 2018-26. Ecologische Sleutelfactor verwijdering
	productiviteit bodem	kwantitatief		concentratie	> 500 mg/kg bodem	geleidelijk	<500 mg/kg bodem	>500 mg/kg bodem	-	Wat is het fosforgehalte in de bodem?	Bij een hoog fosforgehalte in de bodem is er kans op woekering van waterplanten. Woekering van waterplanten kan verergeren door hogere temperaturen. Indien er meerdere meetwaarden zijn geldt de hoogst gevonden.	STOWA 2015, Ecologische sleutelfactoren voor het herstel van onderwatervegetatie
	riooloverstort	kwalitatief	X	ja / nee	ja	incidenteel	nee	-	ja	Zijn er sinds 2018 een of meerdere riooloverstorten in het waterlichaam geweest?	Bij piekbuien is de kans op riooloverstorten groter. Dit leidt tot een piek in nutriënten- en organische belasting, wat tot waterkwaliteitsproblemen kan leiden.	STOWA, 2018-27. Ecologische Sleutelfactor organische belasting
	schaduw	kwalitatief	X	geen / half / volledig	volledig = slecht, half-risicovol	n.v.t.	niet	half	volledig	In hoeverre staat het waterlichaam in de schaduw?	Schaduw zorgt voor een ongunstiger lichtklimaat voor ondergedoken waterplanten. Dit maakt het watersysteem kwetsbaarder voor de gevolgen van klimaatverandering.	STOWA 2015-17. Ecologische sleutelfactoren voor het herstel van onderwatervegetatie

	Totale lijst mogelijke input parameters	kwalitatief/kwantitatief	Minimale vereiste invoer voor quick-scan	Invoer	Grenswaarde voor gemiddelde/hoge kans voor kwetsbaarheid onder klimaatverandering	Incidentele (extremen) of geleidelijke ontwikkeling (alleen drukfactor/toestand)-grijs is indirect effect	Beoordeling GEEL (lage kans op kwetsbaarheid) (binnen/onder grenswaardes)	Beoordeling ORANJE (gemiddelde kans op kwetsbaarheid)	Beoordeling ROOD (hoge kans op kwetsbaarheid)	Vraagstelling in quick-scan	Onderbouwing. Waarom is dit een probleem bij klimaatverandering?	Referentie
	scheepvaart/ recreatievaart (ger)	kwalitatief		ja / nee	ja	geleidelijk, incidenteel	nee	ja	-	Is er sprake van gemotoriseerd vaarverkeer?	Scheepvaart kan via opwoeling en het verwijderen van waterplanten een negatief effect hebben op de waterkwaliteit. De exacte effecten hangen af van veel factoren zoals het type vaarverkeer, de frequentie, periode en toestand van het water. Hoe intensiever de vaarbewegingen hoe meer kans op effecten. De negatieve effecten kunnen door klimaatverandering versterkt worden.	Collas, F. P. L. 2021. Effecten recreatieve en commerciële binnenvaart op ecologie. Radboud Universiteit Nijmegen.
	verblijftijd	kwantitatief		dagen	< 3 dagen -> slecht als het inlaatwater slechte kwaliteit heeft. >21 dagen -> slecht als P>kP	geleidelijk, incidenteel	< 3 dagen > 21 dagen	3 dagen < verblijftijd < 21 dagen	-	Wat is de verblijftijd?	De verblijftijd heeft effect op het functioneren van een watersysteem. Het bepaalt of de ecologische toestand vooral door het inlaatwater wordt bepaald (bij korte verblijftijd) of door biologische processen (bij lange verblijftijd). Klimaatverandering kan de verblijftijd beïnvloeden, bijvoorbeeld bij droogte. Het risico is afhankelijk van externe belasting en kan feitelijk niet goed ingeschat worden op basis van de verblijftijd. In de quick-scan worden door inzicht in toestandvariabelen ingeschat of er risico's zijn. Bij volledige processturing verwachten we echter geen effecten van klimaatverandering als de transportsturing onder klimaat ook gehandhaafd kan blijven. Ook verwachten we geen effecten bij een huidig gezond procesgestuurd systeem.	STOWA 2015-17. Ecologische sleutfactoren voor het herstel van onderwatervegetatie
	vogels	kwalitatief	X	ja / nee	ja	n.v.t.	nee	-	ja	Wordt het waterlichaam aangedaan door watervogels?	De aanwezigheid van bepaalde vogelsoorten kan leiden tot hogere nutriënten- en organische belasting en vraatschade aan waterplanten. Dit kan het systeem kwetsbaarder maken.	STOWA, 2018-27. Ecologische Sleutfactor organische belasting
	zwerfvuil in water/tegen oever	kwalitatief		ja / nee	ja	n.v.t.	nee	ja	-	Moet er vaak zwerfvuil worden verwijderd dat in het water of tegen de oever ligt?	De aanwezigheid van zwerfvuil kan flora en fauna negatief beïnvloeden en kan leiden tot een kwetsbaarder systeem. Mogelijk neemt de hoeveelheid zwerfvuil toe bij meer warme dagen.	https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/afval/kunststofafval-in-zee-plastic-soep
TOESTAND	blauwalgen - totaal	kwalitatief	X	ja / nee	ja	geleidelijk, incidenteel	nee	-	ja	Zijn er sinds 2018 blauwalgen voorgekomen?	Bij hogere temperaturen is er meer kans op blauwalgenbloei. Blauwalgenbloei is niet altijd waargenomen. Zijn er geen indicaties of waarnemingen, dan vul je hier nee in.	Paerl, H.W. and Huisman, J. (2009). Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. Environmental Microbiology Reports, 1: 27-37. https://doi.org/10.1111/j.1758-2229.2008.00004.x
	botulisme	kwalitatief		ja / nee	ja	geleidelijk, incidenteel	nee	-	ja	Heeft zich sinds 2018 botulisme voorgedaan?	De bacterie die botulisme veroorzaakt wordt actief bij hogere temperaturen en een laag zuurstofgehalte (daggrond zuurstofloze condities in waterkolom). Dit zal vaker voorkomen bij klimaatverandering. Botulisme is niet altijd waargenomen. Zijn er geen indicaties of waarnemingen, dan vul je hier nee in.	https://www.zwemwater.nl/botulisme
	chloride	kwantitatief		concentratie	>1000mg Cl/liter	incidenteel	<1000 mg Cl/liter	-	>1000 mg Cl/liter	Zijn er sinds 2018 incidenten geweest van de inlaat van zout water en zo ja, wat was de chloride concentratie in het waterlichaam?	De chlorideconcentratie kan toenemen bij klimaatverandering, bijvoorbeeld door inpompings of de aanwezigheid van een zoutzetting. Tot 300 mg Cl/l is er sprake van zoet water en tot 1000 mg Cl/l licht zwaarder. Boven de 1000 mg Cl/l is er sprake van zout water.	Deltafact Brakke wateren (2021). Kennisimpuls waterkwaliteit
	doorzicht	kwantitatief	X	m	< 1 m	geleidelijk, incidenteel	> 1 m	50-100 cm	< 50 cm	Wat is het gemiddelde doorzicht in het waterlichaam?	Het doorzicht kan afnemen door klimaatverandering, bijvoorbeeld als de biomassa van algen toeneemt, of na een piekbui. Het doorzicht is bepalend voor de groei van ondergedoken waterplanten.	STOWA, 2015-17. Ecologische sleutfactoren voor het herstel van onderwatervegetatie Twisk, W., Noordenvliet, M. A. W., & Ter Keurs, W. J. (2000). Effects of ditch management on caddisfly, dragonfly and amphibian larvae in intensively farmed peat areas. Aquatic Ecology, 34, 397-411.

Totale lijst mogelijke input parameters	kwalitatief/kwantitatief	Minimale vereiste invoer voor quick-scan	Invoer	Grenswaarde voor gemiddelde/hoge kans voor kwetsbaarheid onder klimaatverandering	Incidentele (extremen) of geleidelijke ontwikkeling (alleen drukfactor/toestand) - grijs is indirect effect	Beoordeling GEEL (lage kans op kwetsbaarheid) (binnen/onder grenswaardes)	Beoordeling ORANJE (gemiddelde kans op kwetsbaarheid)	Beoordeling ROOD (hoge kans op kwetsbaarheid)	Vraagstelling in quick-scan	Onderbouwing. Waarom is dit een probleem bij klimaatverandering?	Referentie
doorzicht / diepte	kwantitatief		verhouding	<0.6	geleidelijk, incidenteel	>0.6	-	<0.6	Wat is de doorzicht/diepte verhouding?	Als het doorzicht meer dan 60 % is van de diepte dan is het lichtklimaat gunstig voor ondergedoken waterplanten (dit is een vuistregel). Deze verhouding kan veranderen door klimaatverandering. Door meer algengroei kan het water bijvoorbeeld troebel worden.	STOWA, 2008-04. Van Helder naar troebel en weer terug
droogvallend	kwalitatief	X	ja / nee	ja	geleidelijk, incidenteel	nee	-	ja	Is de watergang sinds 2018 wel eens droog gevallen?	Bij droogte is er meer kans op droogval van (een deel van) het watersysteem	
Bacteriologische waterkwaliteit	kwalitatief		ja / nee	ja	geleidelijk, incidenteel	nee	-	ja	Zijn er sinds 2018 klachten geweest of metingen van E coli of IE in het waterlichaam?	Bij hogere temperaturen kan de bacteriologische waterkwaliteit eerder een probleem vormen. Tegelijkertijd is er bij warm weer vaak meer gebruik van het water. E. Coli en IE is een bacterie die voorkomt in de ontlasting van mensen en dieren en is een indicator voor de bacteriologische waterkwaliteit. Zijn er geen indicaties of waarnemingen, dan vulje hier nee in.	https://waterinfo-extra.rws.nl/monitoring/zwemwater/
ecologische toestand	kwalitatief	X	EST 1 t/m 8/11	alles behalve EST 8	geleidelijk, incidenteel	EST 8	EST 7, 9, 10, 11	EST 1, 2, 3, 4, 5, 6	Wat is onder normale omstandigheden de ecosysteemtoestand eind lente/begin zomer?	Door klimaatverandering kan een systeem omslaan naar een andere toestand. Toestanden die het gevolg zijn van hogere nutriëntenbelastingen (bodem en/of water) en waar sprake is van een slecht doorzicht zijn reeds gevoelig voor klimaatverandering.	STOWA, 2018-23. Ecosysteemtoestanden voor stilstaande wateren
fytoplankton	kwantitatief		chlorofyl-a conc.	> 23 µg/l en >46 µg/l	geleidelijk, incidenteel	< 23 µg/l	>23 µg/l	>46 µg/l	Wat is de concentratie van chlorofyl-a (zomergemiddeld) in het waterlichaam?	Door klimaatverandering kan de hoeveelheid fytoplankton toenemen en samenstelling van fytoplankton veranderen	STOWA 2018-49. Referenties en maatlaten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water 2021-2027
klachten (dode vissen)	kwalitatief	X	ja / nee	ja	geleidelijk, incidenteel	nee	-	ja	Zijn er sinds 2018 klachten geweest over dode vissen?	Door lage zuurstofconcentraties en toxiciteit kan er vissterfte plaatsvinden. Dit kan verergeren door klimaatverandering, zowel incidenteel (bijv. riooloverstorten) als geleidelijk (bijv. geleidelijke toename organische belasting)	STOWA, 2018-27. Ecologische Sleutelfactor organische belasting
klachten (rare kleur)	kwalitatief	X	ja / nee	ja	geleidelijk, incidenteel	nee	ja	-	Zijn er sinds 2018 klachten geweest over een rare kleur?	Vervuiling of hoge biomassa van algen of bacteriën kan leiden tot een rare kleur van het water. Bij klimaatverandering kan dit vaker voorkomen	expertoordeel
klachten (stank)	kwalitatief	X	ja / nee	ja	geleidelijk, incidenteel	nee	ja	-	Zijn er sinds 2018 klachten geweest over stank?	Vervuiling of hoge biomassa van algen of bacteriën kan leiden tot een rare geur van het water. Bij klimaatverandering kan dit vaker voorkomen	expertoordeel
kroosbedekking	kwantitatief	X	% bedekking	>30%	geleidelijk, incidenteel	<30 %	-	>30 %	Wat is procentueel de maximale kroosbedekking van het waterlichaam?	Hoge nutriëntenbelasting in combinatie met een lange verblijftijd kunnen leiden tot een hoge kroosbedekking. Klimaatverandering heeft zowel op de nutriëntenbelasting als op de verblijftijd een effect. Voor de KRW ligt bij 30 % de grens tussen de score matig en ontoereikend in sloten. Ga uit van de maximale meetwaarde.	STOWA 2018-50. Omschrijving MEP en maatlaten voor sloten en kanalen voor de kaderrichtlijn water 2021-2027
O2	kwantitatief		% zuurstofverzadiging	<40%, > 130%	geleidelijk, incidenteel	40% < zuurstofconc. < 130%	-	< 40 % > 130 %	Wat is de minimale zuurstofconcentratie overdag?	Klimaatverandering vergroot de kans op zuurstofproblemen. Door hogere organische belasting stijgt bijvoorbeeld de kans op lage zuurstofverzadiging. Ga bij sterke fluctuaties uit van de slechtste meetwaarde	STOWA 2018-49. Referenties en maatlaten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water 2021-2027
slibdikte	kwalitatief		ja / nee	ja	geleidelijk	nee	ja	-	Is er een sliblaag aanwezig op de bodem?	De slibdikte kan toenemen bij klimaatverandering, door hogere productiviteit in het water en meer instroom van bijvoorbeeld organisch materiaal. Een dikke sliblaag kan zorgen voor hogere voedselrijkdom, het zorgt dat waterplanten zich minder goed kunnen vestigen en kan een negatief effect hebben op de biodiversiteit.	STOWA, 2018-27. Ecologische Sleutelfactor organische belasting
toxiciteit of chemische verontreiniging	kwalitatief		ja / nee	ja	geleidelijk, incidenteel	nee	-	ja	Zijn er meldingen of metingen van chemische verontreiniging (normoverschrijding) in of nabij het waterlichaam? Licht de watergang op een locatie waar vroeger vervuulende industrie heeft gestaan?	Problematiek door toxische stoffen kan verergeren door klimaatverandering, en de aanwezigheid van stoffen kan het systeem kwetsbaarder maken	STOWA 2016-15A. Ecologische Sleutelfactor Toxiciteit. Deel 1

Totale lijst mogelijke input parameters	kwalitatief/ kwantitatief	Minimale, vereiste invoer voor quick-scan	Invoer	Grenswaarde voor gemiddelde/hoge kans voor kwetsbaarheid onder klimaatverandering	Incidentele (extremen) of geleidelijke ontwikkeling (alleen drukfactor/toestand) - grijzis is indirect effect	Beoordeling GEEL (lage kans op kwetsbaarheid) (binnen/onder grenswaardes)	Beoordeling ORANJE (gemiddelde kans op kwetsbaarheid)	Beoordeling ROOD (hoge kans op kwetsbaarheid)	Vraagstelling in quick-scan	Onderbouwing. Waarom is dit een probleem bij klimaatverandering?	Referentie
bedekkingspercentage ondergedoken waterplanten	kwantitatief	X	schattingen of metingen van %	10, 30, 50%	geleidelijk	10 - 30 %	30 - 50%	<10% of > 50%	Wat is het bedekkingspercentage ondergedoken waterplanten ongeveer in de zomer?	Het voorkomen van ondergedoken watervegetatie en de bedekkingspercentages geven een goede indicatie van de gezondheid van het water. Te hoge bedekkingspercentages geven een indicatie van hoge nutriëntenbeschikbaarheid in de bodem. Lage bedekkingspercentages geven een indicatie dat de groeiomstandigheden niet optimaal zijn en er iets aan de hand is. Klimaatverandering kan mobilisatie van nutriënten uit de bodem vergroten en huidige problemen versterken. NB. meetwaardes kunnen sterk variëren. Ga bij zeer fluctuerende data uit van de meest recente gegevens of veldwaarnemingen van een veldbezoek in juli / augustus. Je kan hiervoor ook (lucht)foto's e.d. gebruiken of navraag doen bij maai-beheer.	STOWA 2015-17. Ecologische sleutelfactoren voor het herstel van onderwatervegetatie & STOWA 2018-49. Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kadertijdlijn water 2021-2027
watertemperatuur	kwantitatief		metingen	23 C	geleidelijk, incidenteel	<23 C	23 - 26 C	>26 C	Wat is de maximale watertemperatuur?	Bij hoge watertemperaturen kunnen organismen door hittestress en/of verminderde zuurstofbeschikbaarheid sterven of stress ervaren. Zeevissen kennen lagere letale temperaturen, vergeleken met zoetwatervissen. Vissen zijn de minst tolerante organismen die in het water leven. De meest gevoelige soorten betreffen zalm en vlagzalm (23-26 °C). Hierna komen soorten zoals baars, blankvoorn, riviergrondel, winde (26 °C). Dit zijn soorten die dominant voorkomen in zoetwaterecosystemen.	Sportvisserij Nederland (2007), Kennisdocument Atlantische zalm, <i>Salmo salar</i> (Linnaeus, 1758). Bilthoven: Sportvisserij Nederland. Sportvisserij Nederland (2008). Kennisdocument vlagzalm, <i>Thymallus thymallus</i> (Linnaeus, 1758). Bilthoven: Sportvisserij Nederland. Vaate, A. de (2008). Handboek voor ecologisch onderzoek bij thermische belasting van oppervlaktewaterecosystemen. Waterfauna Hydrobiologisch Adviesbureau, rapportnummer 2008/03. Hartholt, J. G., & Jager, Z. (2004). Effecten van koelwater op het zoute aquatische milieu. Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ, rapport RIKZ/2004_043. geraadpleegd van: https://edepot.wur.nl/174520 .
P-concentratie	kwantitatief		metingen	0.1	geleidelijk	<0.1	-	>0.1	Wat is de P-concentratie op basis van zomerhalfjaar?	De P-concentratie is een maat voor de trofiegraad van het water. Hoe hoger de trofiegraad hoe meer kans op algenbloei of kroosproblemen. Klimaatverandering heeft een direct effect op de toename van de trofiegraad. De P-concentratie geeft echter een vertekend beeld daar de nutriënten opgenomen kunnen zijn in algen en waterplanten en daardoor niet meetbaar zijn in het water. Beter is het dan ook om naar de belasting van het water te kijken. Voor de quick-scan voert dit echter te ver.	STOWA, 2008-04. Van Helder naar troebel en weer terug
rivierkreeften	kwalitatief		ja / nee	ja	geleidelijk	nee	-	ja	Komen er Amerikaanse rivierkreeften voor in het water?	Vraat door rivierkreeften kan veel invloed hebben op de waterkwaliteit. Nutriëntenproblemen komen hierdoor eerder tot uiting. Klimaatverandering leidt generiek tot verslechtering van het probleem en maakt watersystemen minder resiliënt tegen exoten. Zeer waarschijnlijk verergeren hierdoor de problemen met exotische kreeften.	Cusell, C., B. Brederveld, L. Doef, M. Jans, D. Lammers, M. Tangerman, ... A. van de Craats (2020). Rode Amerikaanse rivierkreeften in Nederland: Relaties met milieu- en omgevingsfactoren. Rapport 08. STOWA, Amersfoort & Jong, de, B., L. Bovend'aerde, J. Mandemakers, R. van de Haterd, J. Kampen & C. Cusell (2019). Bureauonderzoek naar het effect van uitheemse rivierkreeften, andere grazers en biobouwers op de ontwikkeling van jonge verlandings met een doorkijk naar potentiële maatregelen. Tussenrapportage OBN228-LZ. VBNE, Driebergen.

BIJLAGE 4 QUICKSCAN OVERIGE PARAMETERS RELEVANT VOOR WATERKWALITEIT

Een overzicht van overige relevante parameters voor waterkwaliteit te gebruiken bij de quickscan is opgenomen in de onderstaande tabel. Deze tabel is ook te downloaden via de hieronder aanwezige QR-code.



Overzicht overige relevante parameters voor quickscan waterkwaliteit

	Totale lijst mogelijke input parameters	kwalitatief/ kwantitatief	Meenemen in quickscan	Invoer	Grenswaarde voor gemiddelde/hoge kans voor kwetsbaarheid onder klimaatverandering	Onderbouwing. Waarom is dit een probleem bij klimaatverandering?
SYSTEEMKENMERKEN	breedte (oeverzone)	kwantitatief		m	n.v.t.	Geen grenswaardes te definiëren
	breedte (waterzone)	kwantitatief		gemiddelde breedte (m)	n.v.t.	Geen grenswaardes te definiëren
	doorstromingsknelpunt			deze parameter is ondergebracht onder 'doodlopende watergang / eenzijdig aangetakt / luwte / doorstromingsknelpunt' (invoer van quick-scan)	ja / nee	In een doodlopende of eenzijdig aangetakte watergang kan er een ophoping ontstaan van nutriënten en er zijn lange verblijftijden. Bij toenemende temperatuur kunnen algen hier tot bloei komen. Of er problemen ontstaan in een doodlopende watergang hangt voornamelijk af van de nutriëntenbelasting. Bij een lage nutriëntenbelasting hoeft het geen probleem te zijn. In een transportgestuurd systeem (verblijftijd <3 dagen) is het belangrijk dat er geen doodlopende watergangen zijn.
	flauwe talud (oevers)	kwalitatief		ja / nee	n.v.t.	flauw talud onderwater is ondergebracht in bijlage 3. Bovenwater is relevant voor de algehele biodiversiteit. Voor de waterkwaliteit zijn er echter geen grenswaardes te hanteren.
	kenmerkende vorm / watertype	kwalitatief		vijver, plas, gracht/singel, bovenloop bebouwde kom, midden/benedenloop bebouwde kom, (afvoer)kanaal, bron, zaksloot, diepe plas/meer, kwelsloot, brede sloot, smalle sloot	In het NKWK, 2023 proberen ze watertype specifieke grenswaarden af te leiden. In de stresstest is dit niet gedaan omdat de kenmerken %open water en %verhard oppervlak die zeer relevant zijn ook per watertype zeer verschillen.	De vorm van het water heeft invloed op de hydrologie, afstroming van nutriënten (% open water, % verhard oppervlak), lichtklimaat, e.d. en is zeer relevant.

	Totale lijst mogelijke input parameters	kwalitatief/ kwantitatief	Meenemen in quick- scan	Invoer	Grenswaarde voor gemiddelde/hoge kans voor kwetsbaarheid onder klimaatverandering	Onderbouwing. Waarom is dit een probleem bij klimaatverandering?
SYSTEMEKENMERKEN	luwte			deze parameter is ondergebracht onder 'doodlopende watergang / eenzijdig aangetakt / luwte / doorstromingsknelpunt' (invoer van quick-scan)	ja / nee	In een doodlopende of eenzijdig aangetakte watergang kan er een ophoping ontstaan van nutriënten en er zijn lange verblijftijden. Bij toenemende temperatuur kunnen algen hier tot bloei komen. Of er problemen ontstaan in een doodlopende watergang hangt voornamelijk af van de nutriëntenbelasting. Bij een lage nutriëntenbelasting hoeft het geen probleem te zijn. In een transportgestuurd systeem (verblijftijd <3 dagen) is het belangrijk dat er geen doodlopende watergangen zijn
	natuurlijk/gegraven oeversort	kwalitatief		ja / nee niet gemetselde kademuur, gemetselde kademuur, beschoeide oever of aarden oever	onbekend	De oorsprong van het waterlichaam is relevant i.r.t. de externe gebruiksdruk. Bij een beschoeid talud is er minder ruimte voor water- en oeverplanten. Dit maakt het watersysteem minder robuust, waardoor het kwetsbaarder wordt voor de gevolgen van klimaatverandering.
	oppervlak waterlichaam	kwantitatief		m2	n.v.t.	Geen grenswaardes te definiëren
	plasberm	kwalitatief		ja / nee	onbekend	Geen grenswaardes te definiëren
	strijklengte	kwantitatief		afstand (m)	n.v.t. voor stedelijk water	Bij een langere strijklengte is het watersysteem gevoeliger voor de gevolgen van storm: meer golfwerking en opwerveling van slib op de bodem. Door invloed van klimaatverandering zal de gevoeligheid mogelijk toenemen.
	verhard oppervlak (type)	kwalitatief		dicht asfalt beton (DAB), zeer open asfalt beton (ZOAB), waterdoorlatend	geen grenswaarde wel relevant	Hoe dichter het beton of asfalt, hoe meer water (en vaak ook vuil) er kunnen afspoelen naar het watersysteem. Het % verhard oppervlak is ondergebracht in bijlage 3.
	watervolume	kwantitatief		m3	onbekend	Geen grenswaardes te definiëren
	aanvoer water (zoet, brak, zout)	kwalitatief		ja / nee	ja	Bij droogte is er vaak meer aanvoer van water nodig. Hierdoor stijgt de nutriëntenbelasting. Ook de organische belasting en toxiciteit kunnen toenemen. Door klimaatverandering kan het zijn dat de aanvoer van zoet water niet meer mogelijk is.
aanvoer water (zoet, brak, zout)	kwantitatief		factor overschreiding kritische belasting	inlaatwater overschrijdt kritische belasting >1 keer	Bij droogte is er vaak meer aanvoer van water nodig. Hierdoor stijgt de nutriëntenbelasting. Ook de organische belasting en toxiciteit kunnen toenemen. Door klimaatverandering kan het zijn dat de aanvoer van zoet water niet meer mogelijk is.	
afspoeling van verhard oppervlak	kwalitatief		ja / nee	Er is verharding naast het waterlichaam	a een (piek)bui stroomt water (en vaak ook vuil) van het verhard oppervlak af naar het waterlichaam. Hierdoor stijgt de nutriëntenbelasting; met name bij een flinke bui na een lange tijd van droogte.	
afspoeling van verhard oppervlak	kwantitatief		%	>25%	a een (piek)bui stroomt water (en vaak ook vuil) van het verhard oppervlak af naar het waterlichaam. Hierdoor stijgt de nutriëntenbelasting; met name bij een flinke bui na een lange tijd van droogte.	
bouwwerkzaamheden	kwalitatief		ja / nee	onbekend	bouwwerkzaamheden kunnen leiden tot vervuiling.	

	Totale lijst mogelijke input parameters	kwalitatief/ kwantitatief	Meenemen in quick- scan	Invoer	Grenswaarde voor gemiddelde/hoge kans voor kwetsbaarheid onder klimaatverandering	Onderbouwing. Waarom is dit een probleem bij klimaatverandering?
DRUKFACTOREN	functioneren duiker			deze parameter is ondergebracht onder 'doodlopende watergang / eenzijdig aangetakt / luvte / doorstromingsknelpunt' (invoer van quick-scan)	ja / nee	In een doodlopende of eenzijdig aangetakte watergang kan er een ophoping ontstaan van nutriënten en er zijn lange verblijftijden. Bij toenemende temperatuur kunnen algen hier tot bloei komen. Of er problemen ontstaan in een doodlopende watergang hangt voornamelijk af van de nutriëntenbelasting. Bij een lage nutriëntenbelasting hoeft het geen probleem te zijn. In een transportgestuurd systeem (verblijftijd <3 dagen) is het belangrijk dat er geen doodlopende watergangen zijn.
	hengelen	kwalitatief		ja / nee	onbekend	bodemwoelende vissen hebben een effect op de waterkwaliteit.
	luchttemperatuur	kwantitatief		celsius	geen grenswaarde wel relevant	Hogere luchttemperatuur leidt tot een hogere watertemperatuur. Dit heeft effect op processen in het water en op flora en fauna.
	N belasting	kwantitatief		hoeveelheid	grenswaarde systeemspecifiek	Klimaatverandering kan zorgen voor een hogere N-belasting, wat waterkwaliteitsproblemen kan veroorzaken. Veel systemen zijn echter fosforgelimeerd. Wanneer de belasting de kritische belasting overschrijdt hangt verschilt per systeem en kan berekend worden met het metamodel PCLake en PCDitch.
	N/P gehalte in bodem	kwantitatief		conc	te bepalen via baggernut tool	Het N/P gehalte in de bodem beïnvloed uit- en afspoeling
	N/P-ratio belasting	kwantitatief		hoeveelheid	relevant voor doorrekening met voedselwebmodel	Het N/P ratio belasting in de bodem beïnvloed uit- en afspoeling
	na levering fosfor uit bodem	kwantitatief		concentratie	(Fe-S)/P (mol/mol) >10	De watertemperatuur, droogval en inundatie hebben effect op de hoeveelheid na levering van fosfor uit de bodem. Dit kan leiden tot waterkwaliteitsproblemen.
	onkruidbestrijding	kwalitatief		ja / nee	ja	Onkruidbestrijding bij het water kan zorgen voor een hogere toxische druk, wat het systeem kwetsbaarder kan maken voor de gevolgen van klimaatverandering.
	P belasting	kwantitatief		hoeveelheid	relevant voor doorrekening met voedselwebmodel	Klimaatverandering kan zorgen voor een hogere P-belasting, wat waterkwaliteitsproblemen kan veroorzaken.
	recent gebaggerd	kwalitatief		ja / nee	relevant voor doorrekening met voedselwebmodel	Baggeren zorgt voor een grotere diepte, en kan zorgen voor opwerveling van slib. Door beide factoren kan het lichtklimaat voor ondergedoken waterplanten verslechteren.
	recreatievaart	kwalitatief		ja / nee	ja	Recreatievaart kan ondergedoken waterplantengroei negatief beïnvloeden. Dit maakt het watersysteem kwetsbaarder voor de gevolgen van klimaatverandering. Met meer warme dagen is er mogelijk meer recreatievaart
	riooloverstort - gemengd stelsel N	kwantitatief		kg/jaar	>19,8 kg/jaar	Bij piekbuien is de kans op riooloverstorten groter. Dit leidt tot een piek in nutriënten- en organische belasting, wat tot waterkwaliteitsproblemen kan leiden. In bijlage 3 is het specifiek opgenomen, hier specifiek.

Totale lijst mogelijke input parameters	kwalitatief/ kwantitatief	Meenemen in quick- scan	Invoer	Grenswaarde voor gemiddelde/hoge kans voor kwetsbaarheid onder klimaatverandering	Onderbouwing. Waarom is dit een probleem bij klimaatverandering?
riooloverstort - gescheiden stelsel P	kwantitatief		kg/jaar	>1,9 kg/jaar	Bij piekbuien is de kans op riooloverstorten groter. Dit leidt tot een piek in nutriënten- en organische belasting, wat tot waterkwaliteitsproblemen kan leiden. In bijlage 3 is het specifiek opgenomen, hier specifiek.
scheepvaart / recreatievaart	kwantitatief		n/jaar	onbekend	Scheepvaart kan via opwoeling en het verwijderen van waterplanten een negatief effect hebben op de waterkwaliteit. De exacte effecten hangen af van veel factoren zoals het type vaarverkeer, de frequentie, periode en toestand van het water. Hoe intensiever de vaarbewegingen hoe meer kans op effecten. De negatieve effecten kunnen door klimaatverandering versterkt worden.
stratificatie	kwalitatief		ja / nee	geen grenswaarde wel relevant	Bij stratificatie kan de diepe waterlaag zuurstofloos worden, waardoor er fosfaatnalevering uit de bodem optreedt. Bij destratificatie kan dit tot algenbloei kan leiden. Hogere temperaturen hebben invloed op het tijdstip van stratificatie en de spronglaag. De kwetsbaarheid van het watersysteem kan toenemen door stratificatie
stroomsnelheid	kwantitatief		m/s	geen grenswaarde wel relevant	Na een piekbui kan er sprake zijn van een hogere stroomsnelheid, waardoor ondergedoken waterplanten kunnen ontwortelen of beschadigd kunnen raken. Dit maakt het watersysteem kwetsbaarder.
stroomsnelheid / doorstroming	kwalitatief		deze parameter is ondergebracht onder 'doodlopende watergang / eenzijdig aangetakt / luwte / doorstromingsknelpunt' (invoer van quick-scan)	ja / nee	Bij een gebrek aan doorstroming kunnen nutriënten zich ophopen en kunnen algen tot bloei .
vertrapping	kwalitatief		ja / nee	onbekend	Vertrapping van de oever kan een negatief effect hebben op water- en oeverplanten, wat het systeem kwetsbaarder maakt.
vogels	kwantitatief		aantal ganzen/m ²	>0,025	De aanwezigheid van bepaalde vogelsoorten kan leiden tot hogere nutriënten- en organische belasting en vraatschade aan waterplanten. Dit kan het systeem kwetsbaarder maken.
zoutindringing	kwantitatief		m	<10 m	Tijdens droogte kan er meer sprake zijn van zoutindringing, bijvoorbeeld bij lage afvoer van rivieren, of door zoute kwel.
zwemmers	kwalitatief		ja / nee	ja	Bij meer warme dagen neemt het aantal zwemmers vaak toe. Dit kan leiden tot een hogere nutriëntenbelasting.
buffercapaciteit (zuur)	kwantitatief		concentratie	geen grenswaarde wel relevant	
doorzicht	kwantitatief		fractie SD	<0,45 SD	Het doorzicht kan afnemen door klimaatverandering, bijvoorbeeld als de biomassa van algen toeneemt, of na een piekbui.
drijfbladplantbedekking	kwantitatief		%	>40%	Klimaatverandering kan een negatief effect hebben op ondergedoken waterplanten. De bedekking van drijfbladplanten kan hierdoor toenemen

	Totale lijst mogelijke input parameters	kwalitatief/ kwantitatief	Meenemen in quick- scan	Invoer	Grenswaarde voor gemiddelde/hoge kans voor kwetsbaarheid onder klimaatverandering	Onderbouwing. Waarom is dit een probleem bij klimaatverandering?
	emerse plantbedekking	kwantitatief		%	>50%	Klimaatverandering kan een negatief effect hebben op ondergedoken waterplanten. De bedekking van emergente planten kan hierdoor toenemen
	floatlands	kwalitatief		ja / nee	geen grenswaarde wel relevant	Drijvende moerassen dragen bij aan een goede waterkwaliteit
	macrofauna	kwalitatief		soorten	geen grenswaarde wel relevant voor het verkrijgen van informatie over je systeem	Hogere watertemperaturen kunnen effect hebben op de soortsaamenstelling van macrofauna.
	mosselen (quagga)	kwalitatief		ja / nee	mosselen kunnen het water significant filteren. Het water kan hierdoor helder worden ook bij eutrofe condities. Geen grenswaarde die relevant is voor klimaatverandering.	Hogere temperaturen kunnen leiden tot meer sterfte van mosselen.
	N totaal	kwantitatief		concentratie	geen grenswaarde wel relevant voor het verkrijgen van informatie over je systeem.	De N-concentratie kan toenemen bij klimaatverandering
	ph	kwantitatief		waarde	> 9.0	
	slibdikte	kwantitatief		cm	>5 cm	De slibdikte kan toenemen bij klimaatverandering, door hogere productiviteit in het water en meer instroom van bijvoorbeeld organisch materiaal. De kwalitatieve vraag is gesteld in bijlage 3.
	troebelheid waterkolom	kwantitatief		NTU	>5	Het doorzicht kan afnemen door klimaatverandering, bijvoorbeeld als de biomassa van algen toeneemt, of na een piekbui.
	vis	kwalitatief		ja / nee	ja	Klimaatverandering kan invloed hebben op de visbiomassa en soortsaamenstelling.
	vis	kwalitatief		viswatertype	baars-blankvoorn, ruisvoorn-snoek, snoek-blankvoorn = goed. Blankvoorn-brasem en brasem-snoekbaars = slecht	Klimaatverandering kan invloed hebben op de visbiomassa en soortsaamenstelling.
	vis	kwantitatief		bestandsschattingen	> 100 kg/ha	Klimaatverandering kan invloed hebben op de visbiomassa en soortsaamenstelling.

BIJLAGE 5 GLOBALE ANALYSE MODELKETEN VOEDSELRIJKDOM

In de modelketen wordt gebruik gemaakt van (1) meetdata en getransformeerde meetdata, (2) bestaande en beproefde instrumentaria, zoals de water- en stoffenbalans, (3) een temperatuur model / warmtebalans (TREV) en (4) het ecologische voedselweb model PCDitch voor sloten en vijvers. In afbeelding B.5.1 (zie volgende pagina) zijn de verschillende onderdelen en de relatie tussen de verschillende instrumentaria indicatief weergegeven.

Het krachtige van deze aanpak is dat verschillende (veel reeds gebruikte) instrumenten in een modelketen aan elkaar zijn gekoppeld. Dit maakt het mogelijk om in een kort tijdsbestek verschillende scenario's en bandbreedtes te verkennen. Daarnaast biedt het gebruik van het ecologische voedselweb model PCDitch het voordeel dat er kwantitatief uitspraken gedaan kunnen worden over de (verandering van de) robuustheid, uitgedrukt in de 'kritische belasting'. Dezelfde modelketen is toepasbaar met het ecologische voedselwebmodel PCLake, maar vanwege de scope van de handreiking (het stedelijk gebied) is dit model achterwege gelaten. Onderstaand volgt per onderdeel een nadere toelichting.

5.1 KLIMAATSCENARIO'S

De eerste component betreft de definitie van de te

gebruiken (klimaat)scenario's. Deze scenario's definiëren op welke bandbreedte je klimatologische effecten wilt onderzoeken. De klimaatscenario's vergelijk je met het referentiescenario.

Referentiescenario

Het gebruik van het referentiescenario is tweeledig. Enerzijds is het referentiescenario nodig om een baseline te zetten, zodat andere toekomstscenari'o's in perspectief kunnen worden gezien. Voor de bepaling van het referentiescenario wordt gewerkt met gemeten datareeksen voor neerslag, verdamping en inschattingen op basis van gemeten dagelijkse neerslag in het geval van bijvoorbeeld riooloverstorten en uitspoelingsfactoren.

Voor de gemeten datareeksen wordt gebruikt gemaakt van data van KNMI-stations. Voor het referentiescenario kan afhankelijk van de toepassing een specifieke periode gekozen worden. In deze stresstest gebruiken we meerjarige datareeksen (1991 t/m 2022).

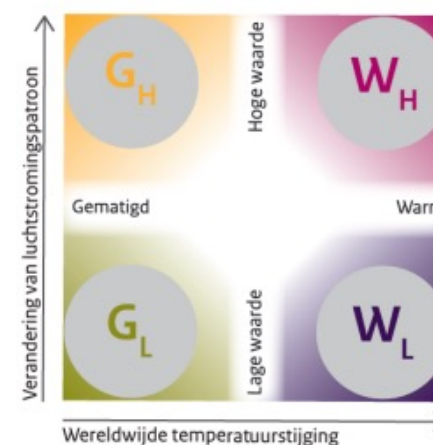
Klimaatscenario's

Het KNMI heeft een set aan klimaatscenario's ontwikkeld om inzicht te krijgen in de klimatologische omstandigheden in Nederland. De meest recente set betreffen de KNMI'14 scenario's. In

deze set worden vier scenario's beschreven langs assen van de wereldwijde temperatuurstijging en de verandering in het luchtstromingspatroon (Afbeelding B.5.2). De wijze en snelheid waarop klimaatverandering zich voltrekt, is aan veel onzekerheden onderhevig. Recent onderzoek (IPCC, 2021) toont aan dat we op koers liggen voor het scenario WH.

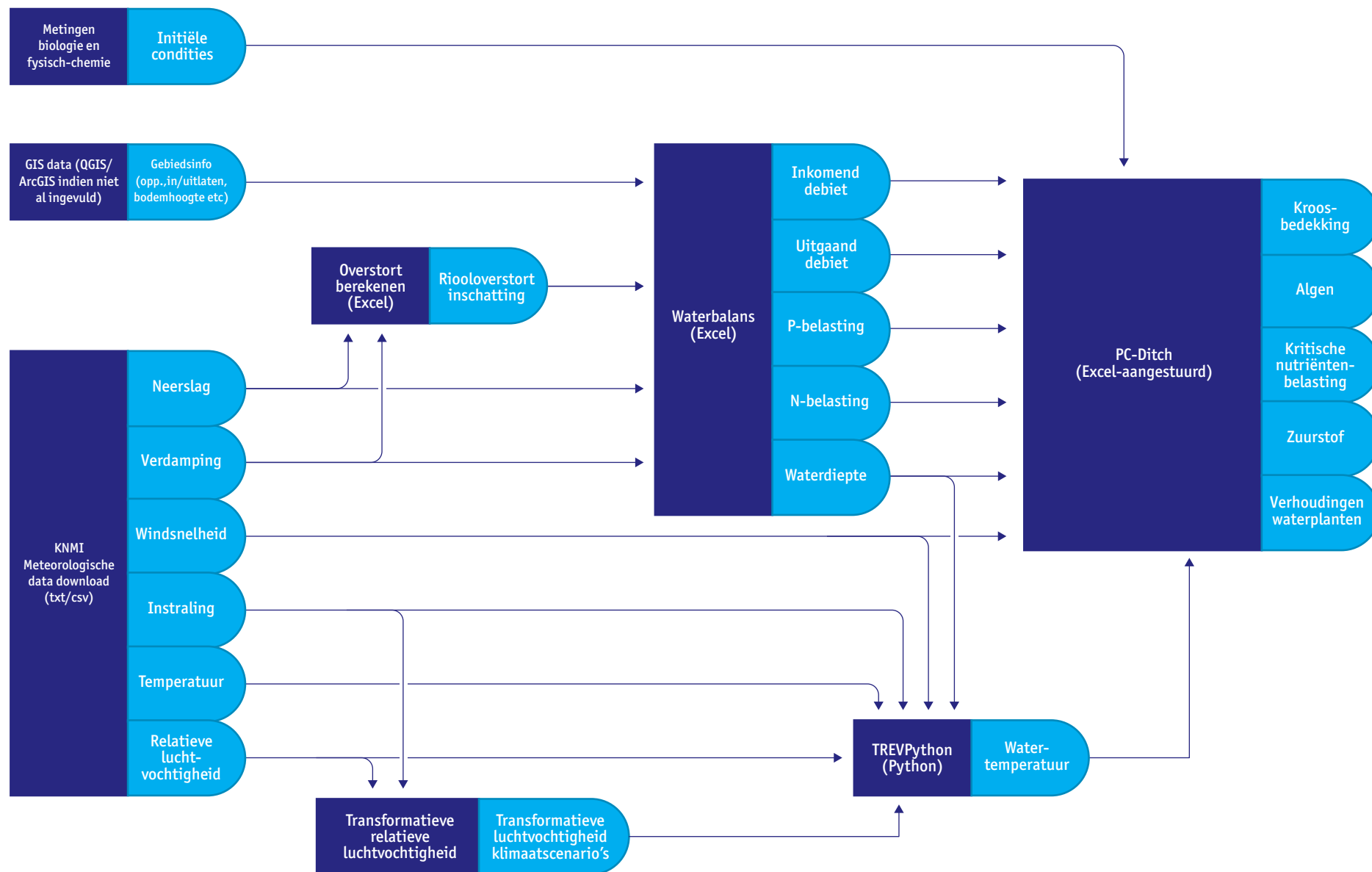
AFBEELDING B.5.2

Overzicht van de KNMI'14 klimaatscenario's langs de assen van wereldwijde temperatuurstijging en de verandering van het luchtstromingspatroon. Bron: Klein Tank et al. (2015).



AFBEELDING B.5.1

Conceptueel model. (1) klimaatscenario's, (2) waterbalans; (3) warmtebalans TREV en (4) ecologisch voedselwebmodel PC-Ditch.



Dit scenario WH geeft op beide assen de meest extreme verandering weer, met de meeste droge zomers en grootste temperatuurstijging. Het KNMI werkt momenteel aan de update van de klimaatscenario's, waarbij er verder wordt gebouwd op de WH-scenario's. De geüpdatete scenario's komen zeer waarschijnlijk in het najaar van 2023 beschikbaar.

Voor de verandering van de meteorologische parameters luchttemperatuur, neerslag, referentieverdamping, en globale instraling in het WH2050-scenario heeft het KNMI inschattingen gemaakt en een [transformatieprogramma](#) beschikbaar gesteld. Middels dit programma wordt de meteorologische data van de referentieperiode 1981 - 2010 op basis van de vier scenario's getransformeerd naar het jaar 2050 en 2085. Dit resulteert in een reeks van 30 en 65 jaar, dat het klimaat rondom 2050 en 2085 uitdrukt. Voor de variabele neerslag heeft het KNMI drie transformaties uitgevoerd. Dit is gedaan omdat neerslag vaak afhankelijk is van lokale processen. Voor een nadere uitleg verwijzen wij naar Klein Tank *et al.*, 2015.

[Aanpak in de globale analyse](#)

In de globale analyse worden drie scenario's doorgerekend:

- 1 een referentie scenario van het huidige klimaat (de baseline);
- 2 het meest extreme KNMI'14 scenario WH 2085;
- 3 een zelfontworpen klimaatscenario.

Onderstaand een uitleg voor de drie scenario's:

- 1 het referentie scenario wordt in beeld gebracht door langjarige reeksen (1992 - 2022) (luchttemperatuur, neerslag, verdamping, en globale instraling) te gebruiken van het KNMI station de Bilt: [KNMI - Dagwaarden neerslagstations](#).
- 2 het meest extreme KNMI'14 scenario WH 2085 is gekozen omdat de gebruikers aangeven zicht te willen krijgen op klimaatextremen. Aangezien het IPCC aangeeft dat we op koers liggen voor WH is dit het meest realistisch. Om beleid te kunnen maken voor de periode 2035 -

2050 is het noodzakelijk zicht te krijgen op klimaateffecten in de periode daarna. Het referentiescenario wordt getransformeerd met behulp van het KNMI transformatieprogramma: [KNMI - KNMI'14 Klimaatscenario's - Transformatieprogramma](#). Met dit transformatieprogramma kunnen bestaande en eigen reeksen getransformeerd worden. Eind 2023 wordt door het KNMI een nieuw transformatieprogramma voor de KNMI'23 Klimaatscenario's beschikbaar gesteld.

- 3 Er is in overleg met de werkgroep gekozen om ten behoeve van de waterkwaliteit zelf een 'extreem' klimaatscenario te ontwerpen. Het WH-scenario gaat uit van de gemiddelden terwijl voor de bepaling van klimaateffecten op de waterkwaliteit incidenten (heel warm, nat, droog) en ook de timing van belang is. Voor het zelfontworpen klimaatscenario is gebruik gemaakt van de kennis over de afgelopen jaren (2018 - 2021), waarin Nederland te maken heeft gehad met weersextremen zoals hevige neerslag, hoge temperaturen en sterke verdamping. De jaren 2018 t/m 2021 waren in vele opzichten extreem en hadden vanwege de afwisseling van warm vroeg in het seizoen, droog en nat een behoorlijk effect op de waterkwaliteit. Om een extreme situatie te simuleren hebben we ervoor gekozen op basis van deze actuele gegevens een tijdreeks te construeren. Deze tijdreeks is daarna wederom getransformeerd met het KNMI transformatieprogramma waardoor er een extreem scenario is gecreëerd. Om het klimaatscenario te maken zijn tijdseries van dagwaarden gebruikt van de gemiddelde dagtemperatuur, de verdamping dagsom en de neerslag dagsom. Voor de dagtemperatuur en verdamping is per dag de hoogste dagwaarde van alle beschikbare KNMI weerstations genomen. Voor neerslag daarentegen is het weerstation gebruikt met de hoogste gemiddelde dagwaarde om een reëel tijdsverloop van buien te behouden.

Ten behoeve van het gebruiksgemak van de stresstest zijn in bijlage 6 de klimaatscenario's te gebruiken bij de globale analyse beschikbaar gesteld.

2. DE WATER- EN STOFFENBALANS

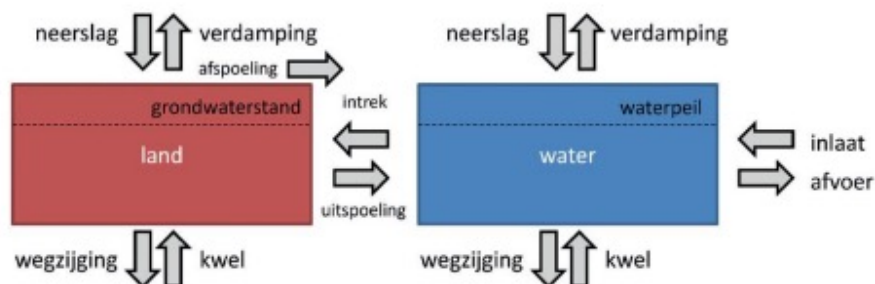
Generieke aanpak

De tweede component betreft de water- en stoffenbalans. Met de water- en stoffenbalans kunnen de water- en stofstromen in beeld gebracht worden. Dit resulteert onder andere in inzicht in het debiet, de verblijftijd en de belasting. Deze informatie is nodig als invoer voor PCDitch.

De waterbalans is een bakjesmodel dat voor een balansgebied de belangrijkste fluxen in kaart brengt (Tanis *et al.*, 2018). Water kan in dit model via horizontale, verticale en kunstmatige processen het waterbakje in- en uitgaan: verticaal via neerslag, verdamping, kwel en wegzijging, horizontaal via uitspoeling, afstroming en intrek, en kunstmatig via in- en uitlaat. Deze waterstromen zijn schematisch weergegeven in afbeelding B.5.3 (Tanis *et al.*, 2018). De verticale waterstromen worden bepaald door de meteorologische omstandigheden. De horizontale waterstromen worden berekend door interactie met maximaal acht landbakjes: twee bakje met verhard land (bakje boven en onder verhard oppervlak), twee bakjes met gedraineerd onverhard land (boven en onder drainage), en vier ongedraineerde onverharde bakjes.

Afbeelding B.5.3

Schematische weergave waterstromen waterbalans (Tanis *et al.* (2018).



Met behulp van de waterbalans kunnen tevens de nutriëntenstromen in kaart gebracht worden. Dit kan door nutriëntconcentraties te koppelen aan waterstromen. Door deze met elkaar te vermenigvuldigen kan de nutriëntbelasting per waterstroom worden berekend. In tabel B.5.1 zijn de belangrijkste in- en outputs van de water- en stoffenbalans weergegeven.

TABEL B.5.1

Belangrijkste in- en output van de water- en stoffenbalans.

SOORT INPUT	NAAM	EENHEID	TYPE
Meetdata	<ul style="list-style-type: none"> neerslag en verdamping; overstort gemengd riool (of berekend op basis van neerslag); in- en uitlaat (of berekend op basis van peil);" 	<ul style="list-style-type: none"> mm dag-1; m3 dag-1 ha-1; mm dag-1; 	<ul style="list-style-type: none"> reeks; reeks; reeks.
Gebiedskenmerken	<ul style="list-style-type: none"> kwel en wegzijging; oppervlakten land- en waterbakjes; maximale pompcapaciteit; bodemhoogte en streefpeil; nutriëntenconcentraties per stroom;" 	<ul style="list-style-type: none"> mm dag-1; m2; m3 dag-1; m; mg L-1; 	<ul style="list-style-type: none"> constante.
Waterstromen	<ul style="list-style-type: none"> in- en uitgaand debiet; verdamping wateroppervlak; berekend waterpeil en waterdiepte; verblijftijd; 	<ul style="list-style-type: none"> mm dag-1; mm dag-1; m. dag; 	
Stofstromen	<ul style="list-style-type: none"> nutriëntenbelasting per waterstroom 	<ul style="list-style-type: none"> g P m-2 dag-1. 	

Aanpak in de globale analyse

Voor de globale analyse gaat het om het verkrijgen van een indicatief beeld van de water- en stofstromen. Hiertoe is het niet noodzakelijk een uitgebreide en gevalideerde water- en stoffenbalans van het gebied te maken. Het toepassen van een generieke waterbalans en deze gebied specifiek te maken op basis van enkele gebiedseigenschappen is voldoende. Het gaat concreet om het percentage

open water, de peilfluctuatie, het doorspoeldebiet tijdens de zomer, de kwel, percentage gemengde riolering, de fractie verhard/onverhard en P-concentraties. Na het uitrekenen van de water- en stoffenbalans weet de gebruiker het debiet, het waterpeil en de totale externe belasting die het watersysteem binnenkomt. De [waterbalans van STOWA](#) kan gebruikt worden als basis. Daarnaast kunnen defaultwaarden voor de P-concentraties (mg/l) (gebruikt worden voor neerslag (0.0016), uitspoeling (0.3), afstroming (0.6), verhard (0.8), gedraineerd (0.6) en inlaat (0.5)).

Ten behoeve van het gebruiksgemak van de stresstest zijn in bijlage 8 de water- en stoffenbalansen beschikbaar gesteld ten behoeve van de globale analyse.

3 TEMPERATUURSMODULE TREV

Generieke aanpak

De derde component in de globale analyse betreft de temperatuursmodule TREV. Dit is een module binnen het hydrologische model DUFLOW dat met een eenvoudige benadering (Edingerbenadering) de watertemperatuur inschat (Aalderink, 1996). Deze inschatting is nodig als inputparameter voor de ecologische voedselweb model PCDitch. De inschatting van de watertemperatuur is gebaseerd op de evenwichtstemperatuur en de warmteoverdrachtscoëfficiënt.

De evenwichtstemperatuur is de temperatuur waarbij het water in evenwicht is met zijn omgeving en er geen warmteoverdracht tussen water en lucht plaatsvindt. Alleen in geval van constante omstandigheden zal de evenwichtstemperatuur dus bereikt worden. In werkelijkheid beweegt de temperatuur in de richting van deze evenwichtstemperatuur, maar zal deze niet (snel) bereiken. De snelheid waarmee het water richting de evenwichtstemperatuur beweegt hangt af van de warmteoverdracht coëfficiënt (in $W m^{-2}$) dat een tijdseenheid bevat (want $W = Joule \cdot s^{-1}$). De warmteoverdracht coëfficiënt wordt bepaald door onder meer het verschil tussen de watertemperatuur en de evenwichtstemperatuur, de instraling en de windsnelheid. Voor berekening van de watertemperatuur wordt er gebruik gemaakt van gegevens omtrent waterdiepte, relatieve

luchtvochtigheid, globale instraling, luchttemperatuur en windsnelheid. De waterdiepte per dag volgt uit de waterbalans en wordt berekend door het peil te vergelijken met de bodemdiepte. De overige variabelen zijn meteorologische variabelen die op dagbasis gemeten of getransformeerd zijn door het KNMI. Deze verschillen per KNMI- scenario.

Aanpak in de globale analyse

Voor toepassing in de globale analyse zijn de gegevens uit de waterbalans en de klimaattransformaties van het KNMI relevant. Voor het onderdeel waterdiepte kan het gaan om gemeten of berekende waterdiepten. De overige variabelen zijn meteorologische variabelen. Deze variabelen zijn beschikbaar gesteld door het KNMI en zijn op dagbasis gemeten of getransformeerd. In de globale analyse gaan we uit van gemiddelde situaties en gebruiken we de gegevens bij de Bilt.

Ten behoeve van het gebruiksgemak van de stresstest zijn in bijlage 7 de watertemperatuurreksen beschikbaar gesteld ten behoeve van de globale analyse.

4 HET VOEDSELWEB MODEL PCDITCH

Generieke aanpak

De vierde component betreft het voedselweb model PCDitch. Het model wordt ingezet om de 'kritische nutriëntenbelasting' te bepalen (zie paragraaf 3.3). Afhankelijk van het type watersysteem wordt PCLake (ondiepe meren) of PCDitch (lijnvormige wateren) gebruikt.

Beide modellen beschrijven de belangrijkste ecologische interacties die bepalend zijn voor de toestand (helder of troebel) waarin het watersysteem verkeert (Janse, 2005). De modellen PCLake en PCDitch zijn uitgebreid gekalibreerd en gevalideerd (Janse, 2005) en in verscheidene promotietrajecten verder ontwikkeld (zie onder andere Kuiper, 2016; van Gerven, 2016). Voor stedelijk water is met name het model PCDitch relevant. PCDitch beschouwt in tegenstelling tot PCLake ook toestanden met kroos.

De kritische grens kan worden bepaald op basis van de kenmerken hydraulisch debiet, waterdiepte, N/P-ratio (verhouding tussen de belasting met stikstof en fosfor), bodemtype (zie tabel B.5.2).

TABEL B.5.2

Invoerparameters PCDitch.

GEBIEDSKENMERK	EENHEID	WAARDE OP BASIS VAN
hydraulisch debiet	mm/d	waterbalans
waterdiepte	m	gebiedskenmerk
N/P ratio	g/g	gebiedskenmerk
bodemtype	-	gebiedskenmerk

Met de ecologische modellen PCLake en PCDitch kan naast inzicht in de 'kritische grens' ook inzicht in fysisch-chemische en ecologische parameters zoals zuurstofconcentraties, algenbloei, waterplanten (kroosbedekking (PCDitch)) en vis verkregen worden. Voor een uitgebreide toelichting over de modellen verwijzen we naar Janse, 2005. Voor meer informatie over de modellen en ook het downloaden van de modellen zie: [PCLake en PCDitch | STOWA](#).

Aanpak in de globale analyse

Voor toepassing in de globale analyse zijn de gegevens uit de waterbalans, de TREV module en de gebiedskenmerken bodemtype en gemiddelde waterdiepte in de zomer gebruikt voor de berekeningen.

Ten behoeve van het gebruiksgemak van de stresstest zijn berekeningen voor een groot bereik aan stedelijke watersystemen gedaan en ontsloten in een Excel metamodel (zie bijlage 9).

5 VERGELIJKING BELASTINGEN MET KRITISCHE GRENS

De laatste stap betreft de vergelijking van de belasting (uit de waterbalans) met de kritische grens (uit PCDitch) voor de drie scenario's (afbeelding 3.6). Bij de globale analyse wordt alleen naar de belasting en kritische grens van P gekeken en niet van stikstof. Fosfor is meestal limiterend voor algen en het is gewenst om op fosfor te sturen met maatregelen, omdat hiermee voorkomen wordt dat bijvoorbeeld stikstof fixerende blauwalgen een voordeel krijgen in de concurrentie met andere algen. Niet voor alle systemen houdt dit echter stand en daarom kan het zinvol zijn om in een nadere analyse (paragraaf 3.4) hier verder op in te gaan. Door middel van toepassing van het metamodel kan de vergelijking belasting versus kritische grens eenvoudig gemaakt worden.

BIJLAGE 6 GLOBALE ANALYSE KLIMAATSCENARIO'S

De klimaatscenario's te gebruiken bij de globale analyses zijn te downloaden via de QR-code hieronder.

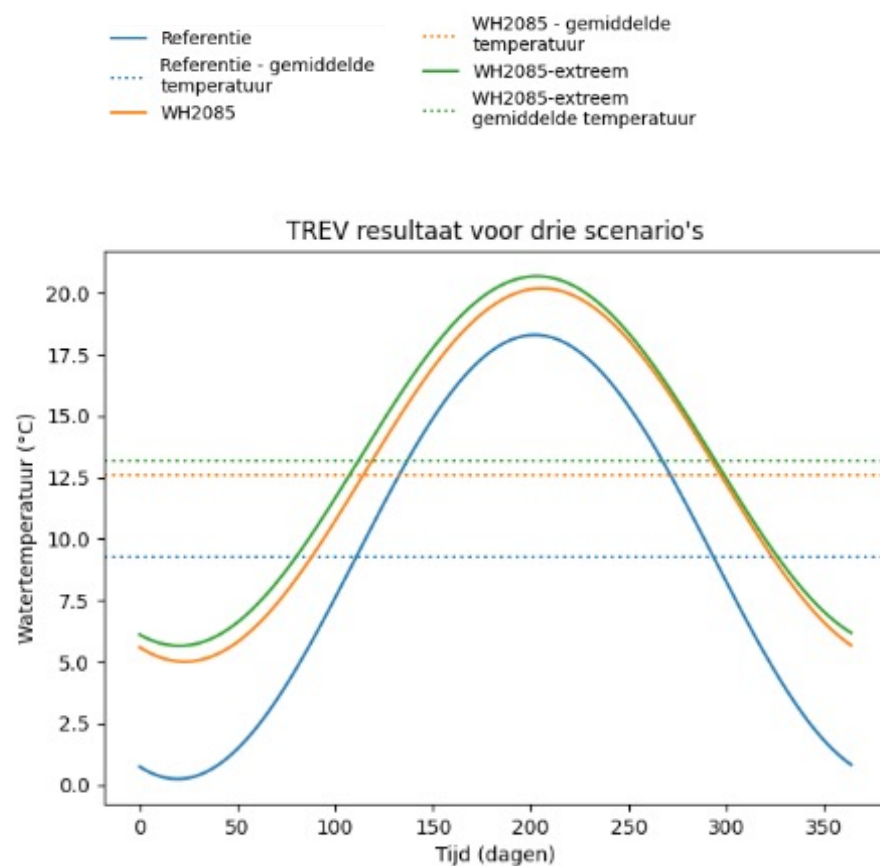


Globale analyse klimaatscenario's

BIJLAGE 7 GLOBALE ANALYSE TEMPERATUUR REEKSEN (TREV)

AFBEELDING B.7.1

Voorbeeldweergave watertemperatuur bij verschillende klimaatscenario's en een gegeven diepte.



TABEL B.7.1

Parameters zoals gebruikt in globale analyse (invoer voor PCditch).

SCENARIO	WATERDIEPTE	GEMIDDELDE WATERTEMPERATUUR [C]	AMPLITUDE WATERTEMPERATUUR [C]
referentie	0,5	9,277888	9,038218
WH2085	0,5	12,60471	7,601234
WH2085-extreem	0,5	13,15687	7,482445
referentie	0,75	9,271955	9,027479
WH2085	0,75	12,60148	7,59213
WH2085-extreem	0,75	13,16784	7,509612
referentie	1	9,269094	9,016375
WH2085	1	12,60094	7,58262
WH2085-extreem	1	13,17918	7,531683
referentie	1,25	9,267338	9,004706
WH2085	1,25	12,60182	7,573049
WH2085-extreem	1,25	13,1879	7,545302
referentie	1,5	9,267829	8,992842
WH2085	1,5	12,60288	7,563112
WH2085-extreem	1,5	13,19537	7,554313
referentie	1,75	9,268628	8,980616
WH2085	1,75	12,60408	7,553115
WH2085-extreem	1,75	13,20362	7,563041
referentie	2	9,27003	8,968063
WH2085	2	12,60599	7,543121
WH2085-extreem	2	13,21026	7,567394

BIJLAGE 8 GLOBALE ANALYSE WATER- EN STOFFENBALANS REEKSEN

Om de resultaten van de waterbalans efficiënter te ontsluiten zijn er formules afgeleid op basis van deze resultaten. De formules staan onderstaand en zijn een resultaat van het trainen van zogenaamde product unit neural networks (PUNNs). Een toelichting op (de theorie) van PUNNs volgt na de formules.

Bereik van de PUNNS

De gebruikte PUNNs zijn getraind op basis van testdata. Hierdoor zijn de PUNNs geschikt voor een bepaald bereik. Dit bereik is als volgt:

- fractie_ow: een waarde tussen 0,01 en 0,75;
- fluct_peil: een waarde tussen 0,02 en 0,15;
- doorspoel_zomer: een waarde tussen 0 en 50;
- kwel_in: een waarde tussen -1 en 1;
- fractie_verhard: een waarde tussen 0 en 1;
- fractie_gemengd: een waarde tussen 0 en 1.

Formules van de PUNNS

Merk op dat de getallen in deze formules zijn afgerond. Het geleverde meta-model (Referentie: bijlage 9) bevat onafgeronde waardes (en meer gebruiksgemak). Het wordt dus aangeraden om het metamodel te gebruiken.

$$\text{ber_inlaat (WH2085)} = 57.968 * (0.006 - 0.002 * 0.5352 * \text{fractie_ow}^{-1.086} - 0.353 * 0.5727 * \text{fractie_ow}^{-0.969} * 0.92945 * \text{fluct_peil}^{-0.019} * 0.31501 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{0.148} * 10.30974 * (\text{kwel_in} + 2)^{-1.062} * 0.9998 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{0.01} * 0.99989 * (\text{fractie_gemengd} + 0.01)^{0.006} - 0.002 * 0.5431 * \text{fractie_ow}^{-1.061} * 0.62033 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{0.061} * 16.90052 * (\text{kwel_in} + 2)^{-1.287} * 0.98801 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{0.606} + 0.017 * 0.62579 * \text{fractie_ow}^{-0.815} * 0.03753 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{0.42} * 10.4796 * (\text{kwel_in} + 2)^{-1.069}$$

$$* 0.97635 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.203} + 0.346 * 0.57151 * \text{fractie_ow}^{-0.972} * 0.92992 * \text{fluct_peil}^{-0.019} * 0.32557 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{0.143} * 10.35054 * (\text{kwel_in} + 2)^{-1.064} * 0.99978 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{0.011} * 0.99989 * (\text{fractie_gemengd} + 0.01)^{0.006}$$

$$\text{ber_inlaat (WH2085_extreem)} = 69.429 * (0.006 - 0.001 * 0.51485 * \text{fractie_ow}^{-1.154} * 9.19466 * (\text{kwel_in} + 2)^{-1.01} * 0.9885 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{0.581} + 0.534 * 0.55376 * \text{fractie_ow}^{-1.027} * 0.95092 * \text{fluct_peil}^{-0.013} * 0.40787 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{0.115} * 3.9886 * (\text{kwel_in} + 2)^{-0.63} * 0.99945 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{0.028} * 0.99994 * (\text{fractie_gemengd} + 0.01)^{0.003} - 0.006 * 0.52823 * \text{fractie_ow}^{-1.109} + 0.285 * 0.65152 * \text{fractie_ow}^{-0.745} * 0.00326 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{0.732} * 0.97704 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.167} - 0.547 * 0.5551 * \text{fractie_ow}^{-1.023} * 0.95047 * \text{fluct_peil}^{-0.013} * 0.39169 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{0.12} * 3.97509 * (\text{kwel_in} + 2)^{-0.628} * 0.99945 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{0.028} * 0.99994 * (\text{fractie_gemengd} + 0.01)^{0.003}$$

$$\text{ber_inlaat (ref)} = 41.901 * (0.006 - 0.263 * 0.55887 * \text{fractie_ow}^{-1.011} * 0.91562 * \text{fluct_peil}^{-0.023} * 0.39054 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{0.12} * 26.01272 * (\text{kwel_in} + 2)^{-1.483} * 0.99618 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{0.192} * 0.99986 * (\text{fractie_gemengd} + 0.01)^{0.007} + 0.576 * 0.56135 * \text{fractie_ow}^{-1.004} * 0.91206 * \text{fluct_peil}^{-0.024} * 0.36441 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{0.129} * 25.45486 * (\text{kwel_in} + 2)^{-1.473} * 0.99666 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{0.168} * 0.99985 * (\text{fractie_gemengd} + 0.01)^{0.008} - 0.001 * 0.5719 * \text{fractie_ow}^{-0.971} + 0.011 * 0.60289 * \text{fractie_ow}^{-0.879} * 0.07166 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{0.337} * 22.40623 * (\text{kwel_in} + 2)^{-1.415} * 0.98677 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{0.669} - 0.322 * 0.56416 * \text{fractie_ow}^{-0.995} * 0.90934 * \text{fluct_peil}^{-0.025} * 0.33575 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{0.139} * 24.93622 * (\text{kwel_in} + 2)^{-1.464} * 0.99703 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{0.15} * 0.99984 * (\text{fractie_gemengd} + 0.01)^{0.008}$$

$$\begin{aligned} \text{debiet (WH2085)} &= 233.107 * (0.009 + 8.495 * 1.03812 * \text{fractie_ow}^{0.065} \\ &* 0.00016 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{1.12} - 0.012 * 0.54591 * \text{fractie_ow}^{1.052} * 0.97852 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.091} * 0.98079 * (\text{fractie_gemengd} + \\ &0.01)^{0.975} + 0.268 * 0.60462 * \text{fractie_ow}^{-0.875} * 4e - 05 * (\text{kwel_in} + 2)^{4.656} \\ &* 1.00603 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{-0.302} + 0.017 * 0.55572 * \text{fractie_ow}^{-1.021} \\ &* 0.53686 * (\text{kwel_in} + 2)^{0.283} * 0.99949 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{0.026} + 0.001 \\ &* 0.57393 * \text{fractie_ow}^{-0.965} * 10.52937 * (\text{kwel_in} + 2)^{-1.071} * 0.9641 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.837} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{debiet (WH2085_extreem)} &= 247.399 * (0.012 - 0.012 * 0.5457 * \text{fractie_ow}^{1.053} * 0.97883 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.075} * 0.98076 * (\text{fractie_gemengd} + \\ &0.01)^{0.976} + 0.014 * 0.54611 * \text{fractie_ow}^{-1.051} * 1.03322 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{-0.004} * 0.6322 * (\text{kwel_in} + 2)^{0.209} * 0.99971 * (\text{fractie_verhard} + \\ &0.01)^{0.015} + 0.312 * 0.63468 * \text{fractie_ow}^{-0.79} * 4e - 05 * (\text{kwel_in} + 2)^{4.575} * \\ &1.00519 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{-0.26} + 0.001 * 0.58655 * \text{fractie_ow}^{-0.927} * \\ &7.871 * (\text{kwel_in} + 2)^{-0.939} * 0.96314 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.887} + 5.288 * \\ &0.0003 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{1.036} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{debiet (ref)} &= 222.149 * (0.011 + 29.875 * 0.54999 * \text{fractie_ow}^{-1.039} * 0.96167 \\ &* \text{fluct_peil}^{-0.01} * 1.05881 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{-0.007} * 0.27466 * \\ &(\text{kwel_in} + 2)^{0.588} * 0.99161 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{0.423} * 0.99993 * (\text{fractie_gemengd} + 0.01)^{0.003} - 59.812 * 0.55007 * \text{fractie_ow}^{-1.039} * 0.96195 * \\ &\text{fluct_peil}^{-0.01} * 1.05879 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{-0.007} * 0.26453 * (\text{kwel_in} + 2)^{0.605} * 0.99186 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{0.411} * 0.99993 * (\text{fractie_gemengd} + \\ &0.01)^{0.003} - 0.012 * 0.5507 * \text{fractie_ow}^{-1.037} * 0.97964 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.033} * 0.98063 * (\text{fractie_gemengd} + 0.01)^{0.983} + 29.966 * 0.55016 * \text{fractie_ow}^{-1.039} * 0.96226 * \text{fluct_peil}^{-0.01} * 1.0587 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{-0.007} * 0.2546 * (\text{kwel_in} + 2)^{0.623} * 0.99213 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{0.397} * 0.99993 * (\text{fractie_gemengd} + 0.01)^{0.003} + 6.084 * 0.00031 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{1.032} \end{aligned}$$

$$\text{inlaat1 (WH2085)} = 25.05 * (-0.0 + 50.02 * 0.0004 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{1.0})$$

$$\text{inlaat1 (WH2085_extreem)} = 25.05 * (-0.0 + 50.02 * 0.0004 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{1.0})$$

$$\text{inlaat1 (ref)} = 25.05 * (-0.0 + 50.02 * 0.0004 * (\text{doorspoel_zomer} + 0.01)^{1.0})$$

$$\begin{aligned} \text{kwel_uit (WH2085)} &= 1.0 * (-2.525 + 6.059 * 1238595.73845 * (\text{kwel_in} + 2)^{-6.385} \\ &- 1043.057 * 0.0 * (\text{kwel_in} + 2)^{5.804} + 52.538 * 0.01001 * (\text{kwel_in} + 2)^{2.096} - \\ &7.247 * 10078852.1814 * (\text{kwel_in} + 2)^{-7.339} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{kwel_uit (WH2085_extreem)} &= 1.0 * (-2.525 + 6.059 * 1238595.73845 * (\text{kwel_in} + 2)^{-6.385} \\ &- 1043.057 * 0.0 * (\text{kwel_in} + 2)^{5.804} + 52.538 * 0.01001 * (\text{kwel_in} + 2)^{2.096} - \\ &7.247 * 10078852.1814 * (\text{kwel_in} + 2)^{-7.339} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{kwel_uit (ref)} &= 1.0 * (-2.525 + 6.059 * 1238595.73845 * (\text{kwel_in} + 2)^{-6.385} \\ &- 1043.057 * 0.0 * (\text{kwel_in} + 2)^{5.804} + 52.538 * 0.01001 * (\text{kwel_in} + 2)^{2.096} - \\ &7.247 * 10078852.1814 * (\text{kwel_in} + 2)^{-7.339} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{riolering (WH2085)} &= 11.67 * (-0.002 + 0.017 * 0.55572 * \text{fractie_ow}^{-1.021} \\ &* 0.98005 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.013} * 0.98005 * (\text{fractie_gemengd} + \\ &0.01)^{1.013} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{riolering (WH2085_extreem)} &= 11.67 * (-0.002 + 0.017 * 0.55572 * \text{fractie_ow}^{-1.021} \\ &* 0.98005 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.013} * 0.98005 * (\text{fractie_gemengd} + \\ &0.01)^{1.013} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{riolering (ref)} &= 11.67 * (-0.002 + 0.017 * 0.55572 * \text{fractie_ow}^{-1.021} * 0.98005 * \\ &(\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.013} * 0.98005 * (\text{fractie_gemengd} + 0.01)^{1.013} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{uitspoeling (WH2085)} &= 202.39 * (-0.003 + 0.004 * 0.57172 * \text{fractie_ow}^{-0.972} \\ &- 0.003 * 0.55175 * \text{fractie_ow}^{-1.034} * 0.98026 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.002} \end{aligned}$$

$$- 0.063 * 0.55239 * \text{fractie_ow}^{-1.032} * 0.04371 * (\text{kwel_in} + 2)^{1.425} * 0.9803 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.0} + 0.063 * 0.55225 * \text{fractie_ow}^{-1.032} * 0.0438 * (\text{kwel_in} + 2)^{1.424}$$

$$\text{uitspoeling (WH2085_extreem)} = 217.523 * (-0.004 - 0.004 * 0.55244 * \text{fractie_ow}^{-1.031} * 0.98028 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.001} + 0.05 * 0.55235 * \text{fractie_ow}^{-1.032} * 0.05956 * (\text{kwel_in} + 2)^{1.284} - 0.051 * 0.55231 * \text{fractie_ow}^{-1.032} * 0.05954 * (\text{kwel_in} + 2)^{1.284} * 0.9803 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.0} + 0.004 * 0.56794 * \text{fractie_ow}^{-0.983})$$

$$\text{uitspoeling (ref)} = 193.242 * (-0.003 + 0.066 * 0.55258 * \text{fractie_ow}^{-1.031} * 0.05236 * (\text{kwel_in} + 2)^{1.342} - 0.062 * 0.55214 * \text{fractie_ow}^{-1.032} * 0.06399 * (\text{kwel_in} + 2)^{1.251} * 0.9803 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.0} + 0.002 * 0.61194 * \text{fractie_ow}^{-0.854})$$

$$\text{verhard (WH2085)} = 191.508 * (-0.002 + 0.017 * 0.55499 * \text{fractie_ow}^{-1.023} * 0.98002 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.014} - 0.016 * 0.55227 * \text{fractie_ow}^{-1.032} * 0.97991 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.02} * 0.9803 * (\text{fractie_gemengd} + 0.01)^{1.0})$$

$$\text{verhard (WH2085_extreem)} = 212.567 * (-0.002 + 0.017 * 0.55499 * \text{fractie_ow}^{-1.023} * 0.98002 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.014} - 0.016 * 0.55227 * \text{fractie_ow}^{-1.032} * 0.97991 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.02} * 0.9803 * (\text{fractie_gemengd} + 0.01)^{1.0})$$

$$\text{verhard (ref)} = 171.134 * (-0.002 + 0.017 * 0.55499 * \text{fractie_ow}^{-1.023} * 0.98002 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.014} - 0.016 * 0.55227 * \text{fractie_ow}^{-1.032} * 0.97991 * (\text{fractie_verhard} + 0.01)^{1.02} * 0.9803 * (\text{fractie_gemengd} + 0.01)^{1.0})$$

Toelichting PUNNS

Kunstmatige neurale netwerken zijn machine learning algoritmes die los gebaseerd zijn op biologische neurale netwerken. Ze worden toegepast om voorspellingen te maken op basis van complexe input. Een kunstmatig neurale netwerk

bestaat uit een set verbonden neuronen. Deze neuronen kunnen een signaal ontvangen, bewerken en doorgeven aan verbonden neuronen. De bewerking bestaat normaal gesproken uit het wegen en sommeren van de inputsignalen:

$$\sum_{u=1}^{n_x} w_u x_u$$

Het resultaat van deze som wordt bewerkt door een zogenaamde transferfunctie voordat het wordt doorgegeven aan andere verbonden neuronen. Vaak zijn de neuronen geordend in lagen, waar de eerste laag de inputvariabelen verwerkt, de tweede laag de output van de eerste laag, enzovoorts. Met betrekking tot het ontwerp (aantal lagen, aantal neuronen per laag, type transferfuncties, e.d.) zijn er veel configuraties mogelijk. Wanneer een kunstmatig neurale netwerk ontworpen is zal het nog niet goed werken. Voordat het goede voorspellingen kan maken dient het netwerk eerst getraind te worden. Veelal wordt de weging voor de neuronen eerst willekeurig gekozen. Tijdens de training wordt het netwerk in een iteratief proces 'geleerd' om de fout (Root Mean Square Error; RMSE) te minimaliseren door voortdurend kleine aanpassingen te maken aan de weging van de inputs van een neuron.

Voor het voorspellen van de waterbalans [uitvoer: debiet, berekende inlaat, inlaat1, kwel_uit, riolering, verhard, uitspoeling] op basis van de inputdata [fractie_ow, fluct_peil, doorspoel_zomer, kwel_in, fractie_verhard, fractie_gemengd] heeft Witteveen+Bos gekozen voor een algoritme verwant aan het eerder beschreven kunstmatige netwerk, namelijk een PUNN. Het verschil tussen een PUNN en een regulier Neuraal Netwerk (NN) is dat in de bepaling van het outputsignaal van een neuron niet gebruik wordt gemaakt van een sommatie maar van een product:

$$\prod_{u=1}^{n_x} x_u^{p_u}$$

Het principe van een PUNN is vergelijkbaar met dat van een gangbaar neuraal netwerk, alleen nu worden de machten in plaats van de gewichten geoptimaliseerd tijdens de training. Een PUNN heeft een aantal voordelen ten opzichte van een regulier kunstmatig neuraal netwerk. Een PUNN is te exporteren als een (relatief) eenvoudige formule. Dit zorgt er voor dat een geproduceerde PUNN makkelijk te gebruiken is in andere applicaties. Daarnaast geeft het inzicht in de verbanden tussen in- en output. Een PUNN kan goed veréenvoudigd worden door de formule te 'snoeien'. En uiteindelijk heeft een PUNN ook een grotere voorspellende kracht in vergelijking met reguliere neurale netwerken.

Zoals bij alle machine learning technieken is het overfitten van de data een risico. Overfitting is het fenomeen dat een model zeer goede voorspellingen maakt op de data waarop het getraind is, maar wanneer het getest wordt met nieuwe onbekende data voor het algoritme, dan zijn de resultaten niet meer goed. Om overfitting te voorkomen wordt een deel van de trainingsdata afzonderlijk gehouden voor het monitoren van de training en wordt de training afgebroken op het moment dat overfitting dreigt. In het geval van de PUNNs voor de waterbalans geldt daarnaast dat ze niet buiten het bereik van de trainingsdata werken.



De PUNNs zijn getraind op de data in de externe bijlage (Excel sheet). Deze is te downloaden via de hiernaast aanwezige QR-code.

BIJLAGE 9 GLOBALE ANALYSE REEKSEN PCDITCH EN METAMODEL WATERKWALITEITSSTRESSTEST

De globale analyse reeksen van PCDitch en het metamodel van de waterkwaliteitsstresstest zijn te downloaden via de links hieronder.



Globale analyse reeksen van PCDitch



Metamodel van de waterkwaliteitsstresstest

BIJLAGE 10 BETROKKEN EXPERTS

TABEL B.10.1

Overzicht van de betrokken experts in de BC en werkgroep stresstest en hun relevantie tot het onderwerp.

M. Collombon	Waternet	Expert aquatische ecologie en waterkwaliteit
M. Ouboter	Waternet	Expert aquatische ecologie , waterkwaliteit en hydrologie
M. van Kruining	UWW	Beleidsadviseur waterbeleid, betrokken bij DPRA
S. Roodzand	HHNK	Expert aquatische ecologie en waterkwaliteit
S. Vulto	HDSR	Expert aquatische ecologie en waterkwaliteit
S. Sollie	TAUW	Expert aquatische ecologie en waterkwaliteit
M. de Haan	RHDHV	Expert aquatische ecologie en waterkwaliteit
B. Vreman	Arcadis	Expert aquatische ecologie en waterkwaliteit
S. van der Meulen	Deltares	Senior onderzoeker stadswater, gebruiksfuncties en aquatische ecologie
E. Rebergen	Gemeente Utrecht	Strategisch beleidsadviseur stedelijk water en klimaatadaptatie
M. Maneschijn	Waterschap Rijn & IJssel	Strategisch adviseur water en ruimtelijke kwaliteit
A. Rijnks	Hoogheemraadschap van Delfland	Beleidsadviseur aquatische ecologie en waterkwaliteit
B. Hoefijzers	Gemeente Breda	Beleidsadviseur stedelijk waterbeheer en klimaatadaptatie
T. van der Wijngaart	STOWA	Programmamanager waterkwaliteit en ecologie

BIJLAGE 11

INTERVIEWLIJST MET VOORBEELDVRAGEN VELDBEZOEK

Introductie

Zie hieronder voor een kort overzicht van de onderwerpen die tijdens een veldbezoek besproken kunnen worden om meer inzicht te krijgen in de werking van het watersysteem.

- 1 **Systeemkenmerken** - Systeemkenmerken zijn de randvoorwaarden van een systeem (denk bijvoorbeeld aan de dimensies van de watergang, het bodemtype, aanwezigheid van verhard oppervlak, e.d.).
- 2 **Toestand** - Dit zijn veelal zaken die waargenomen of gemeten kunnen worden en iets zeggen over de (ecologische) waterkwaliteit, zoals vissterfte, botulisme, kroos, zuurstofloosheid, aanwezigheid van onderwaterplanten.
- 3 **Drukfactoren** - Dit zijn externe factoren, processen en beheerkeuzes die tezamen met de systeemkenmerken leiden tot de waargenomen (ecologische) toestand. Welke drukfactoren spelen er in dit watergebied en zijn daar kwalitatieve en/of kwantitatieve gegevens van? Denk bijvoorbeeld aan externe belasting door hondenpoep, bladval, riooloverstort, maar ook de aanwezigheid van kwel, scheepvaart en de stroomsnelheid.
- 4 **Gebruiksfuncties** - Hoe wordt het water gebruikt?

Het kan zijn dat niet op alle vragen een antwoord te geven is met de huidige kennis waar u over beschikt. Dat is niet erg. Het is belangrijk inzichtelijk te krijgen welke informatie bekend is en welke informatie mogelijk nog bij andere instanties opgevraagd moet worden of moet worden gemeten om uiteindelijk over te kunnen gaan naar het uitvoeren van de stresstest. De volgorde van de vragen is suggestief en mag naar eigen inzicht veranderd worden.

Voorbeeld vragen voor tijdens een veldbezoek

Systeemkenmerken

- 1 Wat is het (dominerende) watertype in dit gebied?
- 2 Hoe is dit watersysteem verbonden met omliggende watersystemen?
- 3 Waar komt het water vandaan (kwalitatief en kwantitatief)? (denk bijv. aan: inlaat, neerslag, aanvoer)
- 4 Hoe verlaat het water dit systeem (kwalitatief en kwantitatief)? (denk bijv. aan: uitlaat, afvoer, verdamping)
- 5 Wat is de verblijftijd?
- 6 Wat is het wateroppervlak en watervolume van de watergang?
- 7 Is er sprake van het rondpompen van water?
- 8 Wat is de invloed van seizoenen op de debieten?
- 9 Is er nabij verhard oppervlak aanwezig?
 - Zo ja, hoeveel in de nabije omgeving is verhard (%)?
 - Om welk type verhard oppervlak gaat het (dicht asfalt beton, zeer open asfalt beton, waterdoorlatend)?
- 10 Wat zijn de dimensies van de watergang? (diepte, breedte, wel/niet flauwe talud onderwater)
- 11 Wat is het dominerende oevertype? (wel/niet gemetselde kademuur, beschoeide oever of aarden oever)
- 12 Wat is het overheersend bodemtype? (veen/klei/zand)
- 13 Is er al eens een water- en stoffenbalans voor dit waterlichaam opgesteld?

Toestand van het systeem (waarnemingen die iets zeggen over de (ecologische) waterkwaliteit)

- 1 Hoe zou u de ecologische toestand van dit systeem beschrijven tijdens de winter en de zomer onder normale huidige condities?
- 2 Wat is de invloed van de seizoenen op de waterkwaliteit?
- 3 Welke waterplanten komen in dit systeem voor? (ondergedoken waterplanten, helofyten (bijv. riet), drijfbladplanten en kroos)
- 4 Zijn er in de laatste paar jaar (ter referentie: vanaf 2018) klachten/problemen gemeld over:
 - Stank
 - Dode vissen
 - Rare kleur
 - Blauwalgen
 - Botulisme
 - Kroos
 - Zuurstofloosheid
- 5 Welke waterdieren/vissen komen in dit systeem voor en hoe beïnvloeden die de waterkwaliteit?
- 6 Wat is het doorzicht? Hoeveel licht bereikt de bodem?
- 7 Is er een sliblaag aanwezig op de bodem?
- 8 Wat vindt u van de huidige waterkwaliteit?
- 9 Beschikt u naast kwalitatieve gedegen kennis van dit watersysteem ook over kwantitatieve gegevens (bijv. metingen van zuurstofconcentratie, bedekkingsgraden vegetatiesoorten, visstandstellingen)?

Drukfactoren (processen en beheerkeuzes die de (ecologische) toestand van het water beïnvloeden)

- 1 Hoeveel lichtinval wordt er belemmerd door bomen, woonboten, bruggen, gebouwen e.d.? (schaduw)
- 2 Hoe is de waterkwaliteit van de inlaten van dit systeem?
- 3 Wat is de gemiddelde stroomsnelheid onder normale condities?
- 4 Welke externe bronnen van belasting spelen er bij dit waterlichaam?

- Bladval
 - Hondenpoep
 - Zwerfafval
 - Riooloverstorten
 - Rioollekkage
 - Andere?
- 5 Zijn de volgende drukfactoren van toepassing op dit waterlichaam?
 - Zoutindringing
 - Kwel/wegzijging
 - Scheepvaart/recreatievaart
 - Zwemmers
 - Sportvissers
 - Baggerwerkzaamheden
 - 6 Heeft u van bovenstaande externe belastingen en andere drukfactoren die spelen in dit waterlichaam ook kwantitatieve gegevens?

Gebruik van het systeem

- 1 Hoe oud is dit systeem?
- 2 Waarom is het destijds aangelegd? (alleen relevant als het door de mens is aangelegd)
- 3 Welke gebruiksfuncties kent dit systeem nu?
- 4 Welke eisen stelt u aan de waterkwaliteit?
- 5 Hoe verandert het gebruik naar verwachting in de toekomst vanwege klimaatverandering?

BIJLAGE 12 CASUSSEN

Waterdiepte	1,7 m
Bodemtype	zand (zuid), klei (noord)
Inlaat	sterk fluctuerend
Externe belasting	riooloverstort
Verblijftijd	onbekend
Vis	onbekend
Problematiek	zwemmers, E. coli

→ Achtergrond

Het stadswatersysteem van de binnenstad van Breda bestaat uit een singel, een voormalige haven en een gracht om het kasteel van Breda. De watergangen zijn te zien op de kaart in Figuur 2 in blauw en groen. Landschappelijk gezien ligt Breda op de Naad van Brabant. Dit is een overgang van zandgrond in het zuiden naar kleigrond in het noorden.

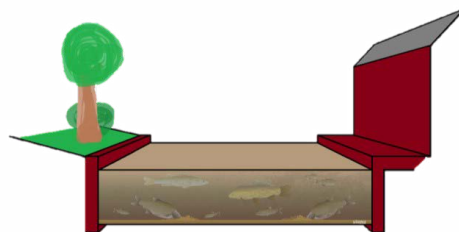
→ Hydrologische situatie

Het water stroomt van het zuiden naar noorden en komt binnen via de Mark en de Aa of Weerij. Samen voeren ze ongeveer $5 \text{ m}^3/\text{s}$ aan waarvan $3,1 \text{ m}^3/\text{s}$ vanuit de Mark afkomstig is. De afvoer is echter erg onregelmatig en kan fluctueren van 1 tot $30 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit debiet hangt samen met de hoeveelheid neerslag in het bekkengebied van de Mark en de Aa of Weerij. Onder normale omstandigheden staat het waterpeil in Breda op 0 m NAP, bij hoogwater kan dit oplopen tot 1,9 m NAP. De waterdiepte in de haven is 1,7 m bij een normaal peil van 0 m NAP.

Bij hoge afvoer wordt zand en slib van bovenstrooms aangevoerd en afgezet in het systeem. Verder is de oude binnenstad van Breda en daarmee ook de watergangen een beschermd stadsgezicht en omgeven door stedelijk gebied. Dit betekent dat de watergangen voornamelijk zijn voorzien van gemetselde kademuren met daarachter bomen en bebouwing.

De zuidelijke singels hebben een overwegend zandige bodem, de noordelijke singels een kleiige bodem.

Figuur 1: Schetsmatige doorsnede van een watergang



→ Drukfactoren in en langs de singels van Breda

Door bovenstroomse landbouwactiviteiten is het aanvoerwater vanuit de Mark en Aa of Weerij voedselrijk. Andere bronnen die leiden tot een hogere externe belasting in Breda, zijn: bladval van bomen, zwerfvuil, afspoeling van verhard oppervlak en riooloverstorten. Ook worden de singels gebruikt voor pleziervaart. Daarnaast wordt het water in de singels aangedaan door zwemmers en dit zou de gemeente Breda ook graag willen faciliteren in de toekomst. Dit vereist natuurlijk een goede waterkwaliteit die er nu nog niet is.

→ Huidige toestand, zwemmers en toekomstplannen

Er zijn nu weinig onderwaterplanten te vinden in de watergangen, op een aantal drijfbladplanten na in de kasteelgracht. Er loopt een onderzoek om de kasteelgracht (groen in Figuur 2) verder te voorzien van waterplanten.

Door riooloverstorten, zwerfvuil en een wisselende aanvoer van zoet water varieert de hygiënische waterkwaliteit in de singels sterk.

Reguliere bemonsteringen van de waterkwaliteit en aansluitende lab analyse geven een goed inzicht in de hygiënische waterkwaliteit in de singel van Breda. De doorlooptijd van de labanalyses en de onzekerheden op de prognoses is echter te lang om te gebruiken bij een goede informatievoorziening van het publiek. Het stimuleren van zwemmen in de singel is een discussiepunt voor de gemeente. Aan de ene kant stimuleert de gemeente Breda het benutten van het stadswater voor activiteiten als city-swims en Breda-drijft. Aan de andere kant gaat de aanwijzing van het stadswater als zwemwater te ver. Dit komt omdat zwemwater aan strenge normeringen gebonden is om negatieve effecten op de volksgezondheid te voorkomen. De gemeente en het waterschap ontbreekt veelal de kennis op het gebied van zwemwater. Voor de gemeente betreft het in Breda een zoektocht naar wat gewenst wordt vanuit de maatschappij en wat technisch-inhoudelijk mogelijk is.

Figuur 2: Kaart van de grachten en singels van Utrecht



Waterdiepte	0,6 m
Waterbreedte	10 m
Bodemtype	klei en veen
Inlaat	voedselrijk water
Externe belasting	bladval, nalevering bodem
Verblijftijd	14 dagen
Vissoorten	brasem & snoekbaars
Overlast	blauwalg

→ Korte achtergrond gebied Middelpolder

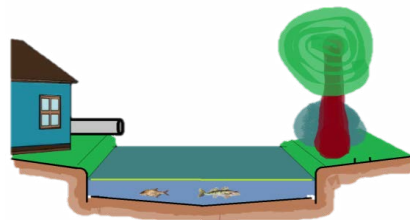
De Middelpolder is een gebied van 585 ha. Het oostelijke en meest westelijke gedeelte is een laagveengebied met originele veenbodem (ook wel het bovenland genoemd); het centrale gedeelte is een droogmakerij waar het veen is weggegraven tot een oude zeeleibodem, waarop Amstelveen is gebouwd zonder ophoging. Het watersysteem van de Middelpolder wordt hoofdzakelijk gevoed door de Amstel en ontwaterd naar de Amstel (Figuur 2). De grootste problematiek van het watersysteem is blauwalg dat volgens de waterbeheerder wordt veroorzaakt door een hoge nutriëntenbelasting.

→ Hydrologische situatie

Figuur 2 laat zien hoe het water de Middelpolder betreedt via diverse inlaten vanuit de Amstel en via een inlaat in het westen vanuit Rijnland. De watergangen van de Middelpolder hebben een gemiddelde diepte van 0,6 m en een gemiddelde breedte van 10 m. De flauwe oeverzone is gemiddeld 5 m breed. Het stedelijk gebied bestaat voor 51% uit verhard oppervlak, waarvan ongeveer de helft is aangesloten op gemengde riolering. 4% van de Middelpolder is oppervlaktewater. Naast groen langs de watergangen is er weinig groen in het stedelijk gebied.

Het projectgebied Middelpolder wordt gevoed door inlaatwater vanuit twee bronnen: voedselrijk inlaatwater vanuit de Amstel aan de oostzijde en helder, voedselarm inlaatwater vanuit Rijnland aan de westzijde. Omdat de aanvoer vanuit Rijnland relatief klein is, is het water in de Middelpolder overwegend voedselrijk door de Amstel. In de Middelpolder stroomt water van het bovenland naar het centrale lageregelegen deel, de droogmakerij. Vanuit het lageregelegen deel wordt het water via eenemaal vervolgens weer teruggepompt naar de Amstel.

Figuur 1: Schetsmatige doorsnede van een kenmerkende watergang.



→ Drukfactoren in het stedelijk en landelijk gebied

Naast dat het polderwater van zichzelf voedselrijk is, vindt er belasting plaats vanuit verschillende bronnen. Met een verblijftijd van 14 dagen wordt het water blootgesteld aan de volgende drukfactoren:

- (1) Bemesting van het landelijk gebied stroomt uit in het oppervlaktewater;
- (2) Bladval en halfschaduw door loofbomen in het stedelijk gebied;
- (3) Nalevering in het hele systeem vanwege klei/veengrond.
- (4) Lozing ammoniumrijk grondwater bij bouwprojecten in het oppervlaktewater.
- (5) Riooloverstorten bij piekafvoeren.
- (6) Verdere belasting in het stedelijk gebied door zwerfvuil, hondenpoep en brood voor eenden.

→ Overlast en toekomstplannen

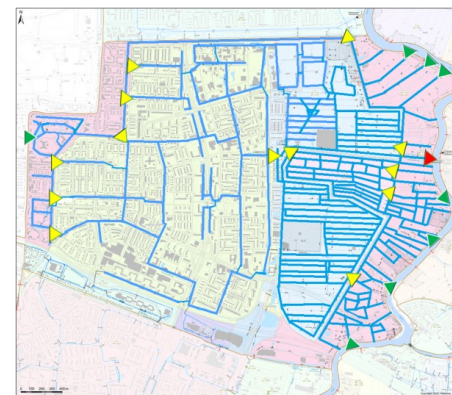
Een groot probleem in de Middelpolder is het optreden van blauwalg als gevolg van de hoge nutriëntenbelasting. Blauwalg vormt een gevaar voor mens en dier. Door klimaatverandering (meer hitte, droogte en wateroverlast) wordt de aanvoer van nutriënten groter en zullen zich vaker warme condities voordoen waarin blauwalg tot uiting kan komen.

De waterbeheerder kijkt daarom al naar het verlagen van nutriënten in de Amstel, waar de Middelpolder van meeprofiteert. Binnen de Middelpolder wil de waterbeheerder alle bronnen van belasting identificeren en bepalen welke bronnen het meest kansrijk zijn om aan te verhelpen zonder dat dit bijvoorbeeld de belevingswaarde negatief beïnvloedt.

Figuur 2: Kaart van de Middelpolder (Waternet, bewerkt)

Legenda:

- ▲ Inlaat Projectgebied
- ▲ Uitlaat (Gemaal)
- ▲ Inlaat Deelgebied
- Watergang



Waterdiepte	1,8 m
Waterbreedte	25 m
Bodemtype	veen
Inlaat	Brielse Meer
Grote drukfactor	zoutindringing
Verblijftijd	niet bekend
Vis	brasem & snoek

→ **Achtergrond**

Om het polderland te beschermen tegen het zeewater werd rond 1220 een dam aangelegd nabij de monding van de Schie. Nu, 800 jaar later, vormt het zoute zeewater opnieuw een bedreiging. Dit keer voor de waterkwaliteit.

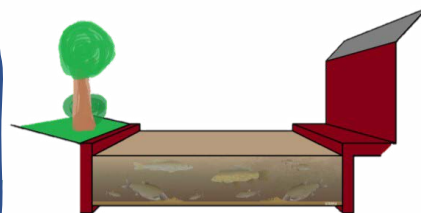
Het stadswater van de historische binnenstad bestaat in Schiedam niet uit grachten, zoals in veel oude steden in West-Nederland, maar uit havens. Op het water vindt recreatievaart plaats, veelal met oude vrachtschepen die zijn omgebouwd tot plezierschip of woonboot.

→ **Hydrologische situatie**

De havens van Schiedam worden tijdens droogte gevoed met water uit het Brielse Meer dat door een gemaal onder de Nieuwe Maas wordt doorgepompt in de richting van Delft met 4 m³/s. Bij Delft buigt het water af naar Schiedam en wordt de aanvoer van zoet water gebruikt als compensatie van verdamping. Een deel stroomt naar de poldervaart en de watergang langs de polderweg, een ander deel naar de grachten van Schiedam centrum (Figuur 2). Alleen als het water in de Nieuwe Maas zoet genoeg is en er is een watervraag, wordt er water uit de Nieuwe Maas ingelaten. Normaal gesproken stroomt het water van noord naar zuid. De Polderwatering stroomt naar de Poldervaart.

Van ongeveer 20 km² landoppervlak is ongeveer 2 km² water. De watergangen zijn ong. 25 m breed en 1,8 m diep. Het overheersende bodemtype in het gebied is veen en in de watergangen wordt op de bodem slib aangetroffen. De oevers zijn gemetselde kademuuren in de binnenstad (rechthoekige doorsnede, Figuur 1) en veelal met hout beschoeid buiten de binnenstad (trapezium doorsnede).

Figuur 1: Schetsmatige doorsnede van een watergang in de havens van Schiedam

→ **Drukfactoren onder normale (zoete) omstandigheden**

Het watersysteem van Schiedam is van oorsprong niet ingericht op waterkwaliteit. De oevers zijn onnatuurlijk en er is weinig ruimte voor waterplanten. De veenbodem met daarop slib zorgen allebei voor nalevering en bomen naast het water zorgen voor bladval en halfschaduw. Ook aangesloten verhard oppervlak en zwerfvuil zijn bronnen van externe belasting. Deze externe belastingen zijn echter wel typerend voor historische binnensteden. Ook is er bij piekafvoer soms sprake van riooloverstort op oppervlaktewater. 10 historische woonboten zijn niet aangesloten op de riolering.

→ **Verziltzing en ecologische waterkwaliteit**

De waterbeheerder beschouwt de ecologische waterkwaliteit als aardig goed met verschillende (jonge) vissen en waterplanten. Tevens is er geïnvesteerd in een vissbos als paaiplaats.

De voornaamste bedreiging voor het watersysteem is verziltzing. Op dit moment komt de vraag naar water in droge zomers nog net overeen met het aanbod. De verwachting is dat klimaatverandering leidt tot (1) minder aanvoer uit de Rijn, (2) hogere watervraag door verdamping en maatschappelijke ontwikkelingen en (3) meer zoute kwel en zoutdruk in rivieren door zeespiegelstijging en een verminderde Rijn afvoer. Dit betekent dat in droge, warme zomers (bijv. 2018 en 2022) de schutsluizen naar Schiedam centrum tijdelijk worden gesloten. In het ergste geval moet zout water worden ingelaten bij het Schiegemaal in Schiedam om te voorkomen dat waterpeilen dalen en de stabiliteit van de waterkeringen afneemt. Via de parksluizen komt zoutwater op de Schie en kan via een omweg ook bij de poldervaart terecht komen. Volgens de waterbeheerder zorgt zo'n zoutpuls voor een reset van het systeem, maar kan het systeem herstellen van een enkele zoutpiek door populaties uit de omgeving. Echter is het nog een open vraag bij welke frequentie en duur van zoutpieken herstel van een watersysteem onmogelijk wordt. In de winter is er een hoge afvoer van zoet water en is het watersysteem in Schiedam dus zoet, ook in de toekomst.

Het gezuiverde rioolwater in het systeem wordt op dit moment op zee geloosd, maar het is de vraag of dit in de toekomst ook zo blijft. Zonder alternatieve aanvoer van zoet water wordt het lozen van gezuiverd rioolwater op het zoetwatersysteem van Delfland serieus overwogen. Ondanks dat het water gezuiverd is, laat de kwaliteit te wensen over, en draagt dit bij aan verhoogde toxiciteit en nutriëntenbelasting.

Figuur 2: Kaart van Schiedam

- Rood:**
Schiedamse Schie
- Geel:**
Polderwatering
- Groen:**
Delftse Schie
- Blaauw:**
Poldervaart



Witteveen - Utrechtse grachten

Waterdiepte	> 2 m
Waterpeil	0,55 m NAP
Waterbreedte	15-27 m
Bodemtype	zand op klei
Inlaat	rijk aan slib
Externe belasting	zwerfvuil, recreatie
Verblijftijd	2 dagen
Vis	brasem & blankvoorn
Doorzicht	0,8 m

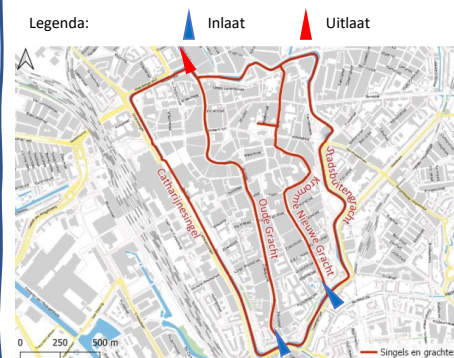
→ Korte achtergrond centrum van Utrecht

Delen van de huidige grachten en singels liggen in trajecten van de historische Rijn- en Vechtloop. Andere delen zijn vanaf de 10^e eeuw gegraven. Globaal bestaat het systeem uit de Oudegracht, de Nieuwegracht en de singel, die weer is onderverdeeld in de Stadsbuitengracht en Catharijnesingel. De grachten werden aangelegd voor efficiënt transport van goederen; de singel diende ter verdediging van de stad.

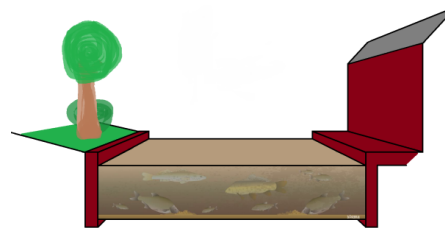
→ Hydrologische situatie

De grachten en singels worden gevoed door water uit de Minstream en de Kromme Rijn in het zuiden met gemiddeld 6 m³/s, maar dat kan oplopen tot 9 m³/s in natter perioden (Figuur 1). Het water stroomt in ongeveer 2 dagen naar de uitlaat: de Vecht in het noorden bij de Weerdsuis. De watergangen zijn veelal 2 m diep, 10 m breed en het gemiddeld waterpeil is 0,55 m NAP (zie Figuur 2 voor een schematische impressie). De bodem-opbouw is wisselend maar bestaat veelal uit klei met daarop zand en slib. De typerende oever betreft een gemetselde kademuur met aan één kant bebouwing en aan de andere kant stadspark. Hoewel het niet overal zo is, geeft dit wel een impressie van de meest voorkomende oevers. Percentages open water en verhard oppervlak waren niet bekend (maar zijn te achterhalen met een GIS analyse). Er is sprake van een eenzijdig aangetakte watergang langs de Nieuwe Gracht.

Figuur 1: Kaart van de grachten en singels van Utrecht



Figuur 2: Schetsmatige doorsnede van een watergang



→ Drukfactoren in de grachten en singel

Het water uit de Kromme Rijn is rijk aan slib en in het grachtensysteem van de binnenstad van Utrecht zet dit slib zich af op de bodem. De grachten worden bij warm weer soms aangedaan door wildzwemmers en de sliblaag wordt veel omgewoeld door boten. Verder is het oppervlaktewater onderhevig aan zwerfvuil, bewoners die eendjes voeren en bladval van bomen. Bomen en bebouwing zorgen voor halfschaduw over de grachten; bij de singel is de schaduw veel minder. Riiooloverstorten tijdens piekneerslag vanuit het gemengde stelsel in de binnenstad leiden soms tot de lozing van onbehandeld rioolwater op het oppervlaktewater. Golfslag veroorzaakt door boten kan ook nadelig zijn voor de groei van waterplanten.

→ Huidige toestand

De drukfactoren suggereren een hoge belasting, maar de chemische kwaliteit van het water is goed vanwege de korte verblijftijd van 2 dagen en het chemisch stabiele inlaatwater uit de Kromme Rijn. Vanwege de korte verblijftijd is de waterkwaliteit grotendeels bepaald door het slibrijke inlaatwater vanuit de Kromme Rijn. Ondanks de gemiddeld goede chemische kwaliteit, is er weleens sprake geweest van stank.

Het doorzicht is gemiddeld 0,8 m, oftewel 1/3 van de totale waterdiepte. Dit is onvoldoende voor de ontwikkeling van een rijke biodiversiteit van ondergedoken waterplanten en drijfbladplanten. Deze planten zijn er nauwelijks of belanden in de schroef van boten en worden kapot gesneden. Werkzaamheden zoals het verwijderen van slib (eens per zoveel jaar) leiden tot het verdwijnen van plantensoorten. Daarnaast bieden de harde kades en beschoeiingen weinig ruimte voor vegetatie en is er weinig habitat voor vis.

Metingen van zuurstof laten zien dat de concentratie zuurstof geen probleem vormt voor de ecologische waterkwaliteit. Er zit weinig fytoplankton in het water en er is geen sprake van algenbloei of kroos.

De waterbeheerder en de gemeente geven aan dat het grootste knelpunt het ontbreken van waterplanten en structuur onder water is. Er is een gezamenlijke ambitie om de waterkwaliteit te verbeteren, bijvoorbeeld door het inrichten van natuurlijke oevers t.b.v. waterplanten en habitat.

stowa

STICHTING
TOEGEPAST ONDERZOEK WATERBEHEER



stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 033 460 32 00 FAX 033 460 32 01
Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort
POSTBUS 2180 3800 CD Amersfoort

