Actuele stand van de kennis over mogelijke effecten van klimaatverandering op rivierecosystemen en de biodiversiteit in het Rijnstroomgebied

Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn

Rapport Nr. 309

Disclaimer: uitsluiting van aansprakelijkheid in verband met toegankelijkheid

De ICBR streeft ernaar haar documenten zo toegankelijk mogelijk te maken. Om redenen van efficiëntie is het niet altijd mogelijk om alle documenten in de verschillende talenversies volledig toegankelijk beschikbaar te stellen (bijvoorbeeld met alternatieve teksten voor alle afbeeldingen of in begrijpelijke taal). Het onderhavige rapport bevat mogelijk figuren en tabellen. Voor nadere toelichtingen kunt u contact opnemen met het secretariaat van de ICBR via het telefoonnummer 0049261-94252-0 of per e-mail via sekretariat@iksr.de.

Colofon

Uitgegeven door de:

Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn (ICBR)
Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, 56068 Koblenz, Duitsland
Postbus: 20 02 53, 56002 Koblenz, Duitsland
Telefoon: +49-(0)261-94252-0
Fax: +49-(0)261-94252-52
E-mail: sekretariat@iksr.de
www.iksr.org

© IKSR-CIPR-ICBR 2025

Actuele stand van de kennis over mogelijke effecten van klimaatverandering op rivierecosystemen en de biodiversiteit in het Rijnstroomgebied

Samenvatting **4**
Inleiding **5**
1. Effecten van klimaatverandering op aquatische en amfibische leefgebieden in het Rijnstroomgebied **6**
1.1 Algemene interacties 7
1.1.2 Zware neerslag, hoge afvoeren en hoogwater 7
1.1.3 Laagwater 8
1.1.4 Watertemperatuur 9
1.1.5 Richtwaarden voor de gevoeligheid: temperatuur 11
1.1.6 Richtwaarden voor de gevoeligheid: zuurstof 12
1.2 Fytoplankton 13
1.3 Macrofyten / fytobenthos 16
1.4 Macrozoöbenthos 16
1.5 Visfauna 19
1.5.1 Aanvoer van fijn materiaal en bodemmateriaal 19
1.5.2 Laagwater 20
1.5.3 Watertemperatuur 22
1.5.4 Verdeling van de visgemeenschappen over de lengte van de rivier 25
1.5.5 Vismigratie 26
1.5.6 Ziektes 27
1.6 Exoten 28
1.6.1 Macrofyten 28
1.6.2 Macrozoöbenthos 29
1.6.3 Visfauna 30
2. Effecten van de klimaatverandering op semiaquatische en terrestrische leefgebieden in het Rijnstroomgebied **32**
3. Mogelijke handelingsperspectieven voor de mitigatie van negatieve effecten van de klimaatverandering op het ecosysteem van de Rijn **35**
3.1 Versteviging van ecosystemen door bescherming en aaneenschakeling van leefgebieden 36
3.2 Mitigatie van de effecten van verhoogde watertemperaturen 38
3.3 Mitigatie van de effecten van laagwater 40
3.4 Mitigatie van bodemerosie en sedimentaanvoer als gevolg van zware neerslag en hoogwater 41
Bibliografie **43**
Bijlagen **50**

Samenvatting

Voor de meeste organismen in aquatische ecosystemen verergert de klimaatverandering de invloed van stressoren die al bestaan als gevolg van uiteenlopende antropogene belangen. Dit geldt in het bijzonder voor het Rijnstroomgebied met zijn grote bevolkingsdichtheid, sterke industrialisatie en intensieve landbouw.

De effecten van klimaatverandering zijn wijdverspreid en hebben een cumulatieve en gelijktijdige impact op de ecosystemen.
Klimaatgerelateerde veranderingen in de watertemperatuur en de waterbeschikbaarheid hebben een direct effect op de stofwisseling en de habitats van organismen, maar ook een indirect effect via de beschikbaarheid van zuurstof en voedingsstoffen. Veranderingen in het neerslagregime hebben daarenboven een direct effect op de stofhuishouding en de hydrodynamiek van aquatische leefgebieden.

De datasets voor waterbeheer geven vooralsnog geen volledig beeld van de veranderingen en effecten van klimaatverandering op de aquatische biologie. Laagwatergebeurtenissen zoals in 2018 laten echter zien dat klimaatgerelateerde effecten op aquatische ecosystemen veel sneller en ernstiger om zich heen grijpen dan uit de prognoses kon worden afgeleid. Dit betreft in het bijzonder droogte en laagwater. De meest recente afvoerprognoses voor de Rijn laten voor de komende decennia een toename van de afvoer in de wintermaanden en een afname in de zomermaanden zien, met een versterking van deze trend richting het einde van de 21^{e} eeuw. Prognoses van de watertemperatuur in de Rijn verwachten voor het hele stroomgebied een stijging van de jaargemiddelde watertemperatuur tussen +1,1 en +1,8 °C in de nabije toekomst en een stijging tussen +2,9 en +4,2 °C in de verre toekomst. Het aantal dagen per jaar waarop de drempelwaarde van 25 °C wordt overschreden, zal in de nabije toekomst toenemen tot 1-2 weken. In de verre toekomst zal het aantal dagen waarop 28 °C wordt overschreden schommelen tussen 1 ± 0,5 week per jaar.

Van het behoud en de vergroting van bestaande beschermde gebieden, de aanwijzing van nieuwe beschermde gebieden en de verbetering van de kwaliteit, de diversiteit en de aaneenschakeling van leefgebieden door middel van verschillende maatregelen voor natuurlijk herstel zullen zowel soorten profiteren die nu al bedreigd zijn als soorten die als gevolg van de klimaatverandering bedreigd zouden kunnen raken.

Voor de ecologische veerkracht van aquatische soorten moet het aaneenschakelen van leefgebieden worden benadrukt. Daarbij gaat het naast de longitudinale passeerbaarheid, waar meestal de nadruk op ligt, ook om de laterale en de verticale ecologische passeerbaarheid. Alleen zo kunnen aaneengeschakelde riviercompartimenten functioneel worden gebruikt als route richting beter geschikte habitats of als refugium. Op het niveau van het stroomgebied is het creëren van schaduw door het beplanten van oevers en het verbeteren van de waterhuishouding van de omgeving een centraal onderdeel van de adaptatie aan klimaateffecten.

In het ICBR-programma Rijn 2040 worden verdere maatregelen en concrete doelen genoemd die in de landen moeten worden uitgevoerd of als geheel gerealiseerd om de Rijn en zijn stroomgebied veerkrachtiger te maken tegen de effecten van klimaatverandering. Daartoe behoren onder meer de verruiming van waterafhankelijke, in de buurt van de rivier gelegen leefgebieden door 200 km² uiterwaard te herstellen en 100 strangen en nevengeulen opnieuw aan te takken aan de Rijn, en de vergroting van de structuurrijkdom aan 400 km oever.

Naast maatregelen op lange termijn kunnen ook maatregelen op korte termijn als onderdeel van een noodplan helpen om bijvoorbeeld de gevolgen van verhoogde watertemperaturen voor de visfauna te verzachten.

Inleiding

De werkgroep ''Ecologie'' (WG B) en zijn expertgroepen BMON, FISH en BIOTOP hebben actuele wetenschappelijke inzichten in verband met de effecten van klimaatverandering op de aquatische ecosystemen en de biodiversiteit verzameld en ICBR-rapport 204 uit 2013 geactualiseerd, dat was getiteld ''Actuele stand van de kennis over mogelijke effecten van veranderingen in het afvoerregime en de watertemperatuur op het ecosysteem van de Rijn en mogelijke handelingsperspectieven''.

Er werd rekening gehouden met nieuwe bevindingen uit recente onderzoeken en ervaringen op basis van droge periodes in de voorbije jaren, bijv. 2018, en er is een inventarisatie uitgevoerd van de op nationaal niveau beschikbare syntheses van de effecten van klimaatverandering op de ecologie.

In het onderhavige rapport wordt een beschrijving gegeven van de verwachte effecten op de vier groepen waterorganismen fytoplankton, macrofyten/fytobenthos, macrozoöbenthos en vissen. Ook wordt het thema exoten behandeld evenals de effecten van klimaatverandering op semiaquatische en terrestrische leefgebieden. Tot slot wordt er een overzicht gegeven van mogelijke handelingsperspectieven om de te verwachten negatieve klimaateffecten te mitigeren.

De resultaten van deze werkzaamheden van de WG B zijn voorgesteld tijdens de ICBR-workshop over klimaatadaptatie op 19 en 20 maart 2025 in Arnhem (Nederland) en vormen een belangrijke bijdrage aan de actualisering van de ICBR-klimaatadaptatiestrategie, die in 2025 zal worden gepubliceerd.

1. Effecten van klimaatverandering op aquatische en amfibische leefgebieden in het Rijnstroomgebied

Voor de meeste organismen in aquatische ecosystemen verergert de klimaatverandering de invloed van stressoren die al bestaan als gevolg van uiteenlopende antropogene belangen.[1] Dit geldt in het bijzonder voor het Rijnstroomgebied met zijn grote bevolkingsdichtheid, sterke industrialisatie en intensieve landbouw.

Bijzonder gevaarlijk zijn veranderende milieuomstandigheden over het algemeen voor
- zeldzame soorten;
- soorten met een klein tot middelgroot areaal;
- endemische soorten, die uitsluitend voorkomen in één bepaald, ruimtelijk duidelijk afgebakend gebied;
- stenoeke of stenotope soorten, die slechts zeer beperkte schommelingen in de milieufactoren kunnen verdragen.

Leefgebieden die gevoelig zijn voor klimaatverandering zijn naast moerassen, bossen, droge graslanden en heidegebieden vooral bronnen, de bovenloop van rivieren, rivieroevers, meren en kusthabitats[2].

Figuur 1: Schraal grasland in natuurreservaat Taubergießen (Foto: Regeringspresidium Freiburg)

Het schaderisico van een ecosysteem hangt af van de intensiteit van de klimaatverandering in het gebied in kwestie en van het aanpassingsvermogen van het ecosysteem en de hierin voorkomende soorten.
In het Rijnstroomgebied wordt aangenomen dat de ecosystemen in de volgende regio's zijn blootgesteld aan een groot schaderisico:
- In de Boven-Rijnslenk zullen de levensomstandigheden voor organismen waarschijnlijk veranderen als gevolg van hogere temperaturen, hogere verdampingssnelheden, frequenter hoogwater en zware neerslag en een verschuiving van de neerslag van de zomer naar de winter. Hierdoor zal de totale waterbeschikbaarheid afnemen en de hete en droge fases in de zomer zullen toenemen in aantal, intensiteit en duur[3].
- In de Alpen zal de klimaatverandering vermoedelijk bijzonder uitgesproken zijn en een groot aantal endemische planten- en diersoorten treffen, die gebonden zijn aan de klimatologische omstandigheden in specifieke, soms kleine, biotopen en amper vluchtmogelijkheden hebben.

In het kader van het KLIWA-project[4] zijn directe en indirecte effecten van de klimaatverandering op een rij gezet voor abiotische factoren en voor (groepen van)

[1] Diverse auteurs in RABITSCH et al. 2010
[2] RABITSCH et al. 2010
[3] SCHMIDT et al. 2023
[4] KLIWA 2010, https://www.kliwa.de/gewaesseroekologie.htm

organismen. Omdat grote stroomgebieden op verschillende manieren worden beïnvloed door een grote verscheidenheid van factoren en gebruiksfuncties, zijn de effectrelaties in de benedenloop van rivieren complexer dan in de midden- en bovenloop. De hoofdstroom van de Rijn behoort grotendeels tot de categorie ''benedenloop van een rivier''. Eenduidige reacties in één richting (versterking/afzwakking) kunnen hier vaak niet worden afgeleid, omdat bij onderzoeken veelal tegenstrijdige fenomenen worden waargenomen. Directe effecten van de klimaatverandering, zoals bijvoorbeeld temperatuurstijgingen, worden veelal overschaduwd door andere factoren (bijv. stofconcentraties) of antropogene gebruiksfuncties. In tegenstelling tot in midden- en bovenlopen speelt vooral in door stuwen gereguleerde trajecten het mogelijke zuurstofgebrek een belangrijke rol.
De resultaten van deze omvangrijke literatuurstudie naar de waargenomen effectrelaties in de boven-, de midden- en de benedenloop van rivieren zijn weergegeven in de figuren in bijlage 1.

1.1 Algemene interacties

Klimaatveranderingen leiden via verschillende effectroutes tot veranderingen in de leefgebieden. De klimaatverandering beïnvloedt de water- en nutriëntenhuishouding in leefgebieden. Zo hebben temperatuur en waterbeschikbaarheid een direct effect op de stofwisseling en de habitats van organismen, maar ook een indirect effect via de beschikbaarheid van zuurstof en voedingsstoffen. Veranderingen in het neerslagregime hebben daarenboven een direct effect op de stofhuishouding en de hydrodynamiek van aquatische leefgebieden.

Hoog- en laagwater, die in uitzonderlijke gevallen door de mens als ernstig verstorende en rampzalige gebeurtenissen worden ervaren, zijn in beginsel natuurlijke processen die kenmerkend en belangrijk zijn voor het ecosysteem van rivieren. De dynamische variatie van de waterstand geeft organismen in en om het water steeds nieuwe mogelijkheden voor kolonisatie en verspreiding; veel soorten hebben specifieke overlevingsstrategieën ontwikkeld. Naar de veranderingen in de peildynamiek als gevolg van klimaatverandering en de effecten van steeds vaker voorkomende extreme waterstanden[5] op organismen is nog maar weinig onderzoek gedaan. De gevolgen van dit recente verschijnsel zouden verstrekkend kunnen zijn. Omdat levensgemeenschappen in grote rivieren (afhankelijk van de soortgroep) ongeveer één tot twee jaar nodig hebben om te regenereren, kan een toename van het aantal en de duur van hoge en lage waterstanden op middellange en lange termijn leiden tot een verandering in de kolonisatiestructuren van rivieren[6].

Naast kortstondige, extreem hoge watertemperaturen, die vaak letaal kunnen zijn voor organismen, moeten ook langdurig of zelfs blijvend verhoogde watertemperaturen worden bekeken, omdat de watertemperatuur veel vitale processen in organismen stuurt (zie hoofdstuk 1.1.4). Verhoogde temperaturen veranderen de biocenose op lange termijn en zijn bevorderlijk voor soorten die tolerant zijn voor warmte en zich gemakkelijk aanpassen.

1.1.2 Zware neerslag, hoge afvoeren en hoogwater

Bij hoge afvoeren, hoogwater en zware neerslag en de daaropvolgende erosie- en afspoelingsprocessen komen er grote hoeveelheden organische stoffen, nutriënten en verontreinigende stoffen in het water terecht. In combinatie met hoge temperaturen kan dit de microbiële afbraak doen toenemen, waardoor het zuurstofverbruik in het water stijgt, vooral benedenstrooms van rwzi's als gevolg van regenwateroverstorten.[7]

[5] STAHL et al. 2022
[6] KOOP et al. 2007
[7] KOOP et al. 2007

Als de sneeuw vroeger begint te smelten, of als gevolg van hoosbuien, kunnen er - in het bijzonder als het daarvóór vrij lang droog is geweest - grote hoeveelheden slib, nutriënten en pesticiden (uit behandelingen voorafgaand aan het inzaaien) van de akkers worden gespoeld en in het water terechtkomen. Door emissies van fijn materiaal kunnen leefgebieden in het grindbed op de waterbodem (paaigebieden van fytofiele soorten) dichtslibben (''verstopt raken''), met als mogelijk resultaat zuurstofgebrek. Daartegenover staat dat sedimentverschuivingen plaatselijk ook de omvang van doorstroomde grindbanken kunnen vergroten of nieuwe grindbanken kunnen doen ontstaan.

Een ander positief effect van hogere afvoeren zou, op plekken waar de verbinding tussen rivier en uiterwaard dit toelaat, een (tijdelijke) uitbreiding van het aquatische en semiaquatische leefgebied in de uiterwaarden kunnen zijn, waar watergebonden biotopen, zoals moerassen, rietvelden en ruigten, grasland en ooibossen zouden profiteren van de hydrologische dynamiek en de verspreiding van plantenzaden. Als de uiterwaard beter verbonden is met de rivier, zou er eventueel bij kleine en middelgrote hoogwatersituaties vaker kunnen worden overgegaan tot de ecologische inundatie van overstromingsgebieden. Door klimaatverandering zullen ook vaker onvoorspelbare zomerse hoosbuien optreden zoals in de zomer van 2021. Hoogwatergolven die daardoor worden veroorzaakt, kunnen met name in door waterbouwkundige maatregelen aangepaste en gekanaliseerde riviertrajecten, waar het water snel en bijna zonder aangrenzende gebieden te overstromen wordt afgevoerd, visbroed en jonge vissen meesleuren en hun verdere ontwikkeling belemmeren. Als er echter een permanente of periodieke (bijv. bij zomerhoogwater) verbinding bestaat tussen de hoofdstroom en de uiterwaard kunnen vissen en visbroed tijdens hoogwater de hoofdstroom verlaten en zich terugtrekken in aangrenzende uiterwaardwateren, om daar bescherming te vinden. Als het hoogwater voorbij is, kunnen ze weer terugkeren naar de rivier. Zo kan de populatiedichtheid behouden blijven. Inundatie in het voorjaar en langzaam uitzakken van het water gedurende de zomer biedt in deze overstromingsgebieden de beste kansen voor ecologische ontwikkeling.

1.1.3 Laagwater

In laagwaterperiodes vallen er in de oeverzone van rivieren grotere gebieden droog, waardoor er nieuwe terrestrische biotopen en van de rivier geïsoleerde strangen ontstaan, althans als de oeverstructuur dit toelaat. Tegelijkertijd neemt het volume en het oppervlak van de natte biotoop af.

Mobiele waterorganismen volgen zoveel mogelijk (als gebieden passeerbaar zijn) de dalende waterspiegel, terwijl sessiele (vastzittende) organismen de droogte moeten zien te trotseren (bijv. door de vorming van overlevingsstadia), opgegeten worden (bijv. door meeuwen en kraaien) of door uitdroging en hoge temperaturen sterven.

In het resterende waterlichaam in het midden van de rivier stijgt zowel het aantal soorten als de abundantie (het aantal individuen per oppervlakte- of volume-eenheid). Omdat de stroomsnelheid hier meestal hoger is dan in de nu drooggevallen leefgebieden dichtbij de oever, lopen veel organismen het risico om af te drijven of om opgegeten te worden door predatoren die zich in dieper water ophouden.

In laagwaterperiodes raken uiterwaardwateren steeds verder geïsoleerd van de rivier en vallen geheel of gedeeltelijk droog. In gestuwde rivierpanden (bijv. Nederrijn/Lek) nemen de stroomsnelheden in de hoofdstroom van de rivier in de loop van laagwaterperioden duidelijk af. Dat kan ervoor zorgen dat de populaties van ongewervelde dieren en vissen, die aan stromend water zijn aangepast en sowieso al negatief worden beïnvloed door regulering van de afvoer met stuwen, nog verder afnemen.

Vogels, zoals de kleine plevier en de oeverloper, gebruiken kale grindbanken in de oeverzone om te broeden; loopkevers en spinnen vinden er een voedselrijk leefgebied.

Figuur 2: Schalen van korfmosselen (*Corbicula*) op de oever van de Rijn in Oberwesel op 24 augustus 2003 (foto: W. Wiechmann, BfG)

Laagwater kan de belasting door schadelijke stoffen en nutriënten doen toenemen, omdat de stofvrachten die bijvoorbeeld met het effluent van rwzi's worden geloosd minder worden verdund. Hierdoor nemen de eutrofiëring en zoutbelasting toe, hetgeen schadelijk kan zijn voor gevoelige organismen. Laagwater kan ook leiden tot een toename van de concentratie van ziekteverwekkers, zeker als in het kleinere watervolume tegelijkertijd de temperatuur en het zuurstofverbruik toenemen (zie hoofdstuk 1.1.4). Lage waterstanden hebben bovendien effect op de grondwaterspiegel in de uiterwaarden, waardoor diverse amfibische, maar ook terrestrische grondwaterafhankelijke vegetatietypen met bijbehorende fauna in de knel komen.

In een onderzoek van het Nederlandse Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (OBN)[8] naar de effecten van klimaatverandering op rivierecologie worden verlaagde rivierafvoeren in voorjaar en zomer beschreven als een van de grootste klimaateffecten op de Nederlandse grote rivieren die met name van belang zijn voor de visgemeenschappen. Naarmate het proces van de door waterbouwkundige ingrepen veroorzaakte verticale erosie van het rivierbed vordert, evenals de hiermee gepaard gaande verregaande loskoppeling tussen rivier en uiterwaard, zullen het uitblijven van inundaties in het voorjaar en lage afvoeren in de zomer steeds meer leiden tot het droogvallen van de uiterwaarden. Immers, als gevolg van dit proces verliezen de uiterwaarden hun belangrijke functie van wateropslag.

De voorbije jaren heeft het Rijnstroomgebied meerdere extreme laagwatergebeurtenissen meegemaakt, onder andere in 2018 en 2022. De effecten daarvan, ook op de ecologie en de waterkwaliteit, zijn vastgelegd in twee ICBR-rapporten.[9] De meest recente afvoerprognoses voor de Rijn laten zien dat de afvoer in de zomermaanden de komende decennia zal afnemen, terwijl de afvoer in de wintermaanden zal toenemen. Deze trend zal richting het einde van de 21e eeuw steeds sterker worden.[10]

1.1.4 Watertemperatuur

De omgevingstemperatuur is voor planten en dieren een van de belangrijkste milieufactoren die onder andere de voortplanting, groei, ontwikkeling en migratie stuurt. Dit geldt vooral voor koudbloedige (poikilotherme) organismen, zoals vissen en macrozoöbenthos, die geen eigen lichaamswarmte produceren, maar waarvan de

[8] DORENBOSCH et al. 2022
[9] ICBR 2020a en ICBR 2024b
[10] ICBR 2024a

lichaamstemperatuur bepaald wordt door de omgevingstemperatuur, en voor stenotherme soorten met een klein tolerantiegebied voor watertemperaturen.

Stijgende watertemperaturen kunnen de soortensamenstelling en de dominantiestructuur in rivieren veranderen. Bijzonder gevoelig zijn koud-stenotherme soorten, die alleen in een smalle temperatuurrange voorkomen en doorgaans alleen lage maximumtemperaturen verdragen (bijv. de vissoorten vlagzalm *Thymallus thymallus* en kwabaal *Lota lota*). Hun arealen kunnen door de temperatuurstijging naar het noorden of naar hoger gelegen wateren verschuiven. Vooral voor soorten in brongebieden en bovenlopen zijn stijgende watertemperaturen problematisch, omdat zij niet nog verder naar boven, naar koelere riviertrajecten kunnen uitwijken. Dit fenomeen van het ''in de val raken'' kan in het ergste geval leiden tot het lokale uitsterven van gevoelige soorten en bijgevolg tot een daling van het aantal soorten in de getroffen wateren. Eurytherme soorten, die bestand zijn tegen grote temperatuurschommelingen, en warmteminnende soorten, waaronder heel wat exoten, die tot dusver eerder voorkwamen in de monding van rivieren, profiteren van de temperatuurstijging en kunnen zich verder stroomopwaarts vestigen. Dit geldt vooral voor macrozoöbenthos en vissen, maar ook voor macrofyten en andere waterplanten. Lage waterstanden verhogen het effect van temperatuurstijging. Ondiepe uiterwaardplassen raken geïsoleerd en warmen sneller op naarmate de waterstand verder daalt. Gestuwde zones met stroomsnelheden die afnemen bij laagwater werken ook de opwarming van het water in de hand en bevorderen de algengroei.

Hoge temperaturen hebben nog een ander effect: ze verhogen het metabolisme van koudbloedige dieren. Een temperatuurstijging met 10 °C komt ongeveer neer op een verdubbeling van het energieverbruik (van't Hoff'sche of RGT-regel). Als er niet genoeg voedsel beschikbaar is, is er sprake van negatieve gevolgen voor de groei en populatiegrootte van koudbloedige dieren. Vissen vertonen gewoonlijk een snelle toename in relatieve groeisnelheid naarmate de temperatuur stijgt. Bij de optimale temperatuur wordt er een maximumwaarde bereikt en bij temperaturen boven deze optimale temperatuur neemt de relatieve groeisnelheid snel af.[11] Er zijn aanwijzingen voor dat de klimaatverandering gunstig zou kunnen uitpakken voor kleinere vissen.[12] De combinatie van voedselschaarste en hoge temperaturen kan bovendien het immuunsysteem verzwakken. Hoge temperaturen bevorderen ook de verspreiding van enkele ziekteverwekkers, parasieten, enz.[13]

Vooral in de benedenloop van grote rivieren worden plantaardige biologische elementen (fytoplankton, macrofyten en fytobenthos) ook getroffen door de toenemende nutriëntenconcentratie en de intensievere zonnestraling. Dit is bevorderlijk voor een krachtige plantengroei, met deels positieve (bijv. toenemende structuurrijkdom voor andere organismen), deels negatieve (bijv. zuurstofverbruik bij de afbraak van plantaardige stoffen) gevolgen voor andere biota.

Een onderzoek naar de watertemperatuur van de Rijn over de periode 1987-2023 laat, op één uitzondering na, voor alle meetstations een progressieve opwarming van de watertemperatuur zien[14]. De grootste opwarmingstrends zijn te zien in de Hoogrijn, de Duits-Franse Bovenrijn en de Middenrijn. In een ander onderzoek worden er op alle Rijntrajecten warmere watertemperaturen verwacht, zowel in de nabije (2045-2065) als in de verre toekomst (2081-2100)[15]. In de nabije toekomst zal de stijging van de jaargemiddelde watertemperatuur voor het hele stroomgebied schommelen tussen +1,1 en +1,8 °C en in de verre toekomst tussen +2,9 en +4,2 °C. De zomer en de herfst warmen sneller op dan het jaargemiddelde, terwijl de opwarming in de winter en de lente trager verloopt. Het aantal dagen per jaar waarop de drempelwaarde van 25 °C wordt overschreden, zal in de nabije toekomst schommelen tussen 1 en 2 weken. In de verre

[11] IMSLAND et al. 2005
[12] ABDOLI et al. 2005, ABDOLI et al. 2007
[13] KOOP et al. 2007, RABITSCH et al. 2010
[14] ICBR 2024C
[15] ICBR 2025

toekomst zal het aantal dagen waarop 28 °C wordt overschreden schommelen tussen 1 ± 0,5 week per jaar.

In een onderzoek van het Nederlandse Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (OBN)[16] naar de effecten van klimaatverandering op rivierecologie wordt ook verwacht dat de watertemperaturen in het voorjaar steeds vroeger zullen stijgen. In 2020 is het rivierwater in de de Rijntak de Waal omstreeks 1 april bijvoorbeeld al 15 °C, in 1990 was dit pas eind april. Het vroeger opwarmen van het water in het voorjaar zal zich waarschijnlijk verder doorzetten. Dit kan ertoe leiden dat de ontwikkelingscycli van verschillende organismen niet meer synchroon lopen (bijv. macrozoöbenthos gaat sneller groeien, waardoor het voedselaanbod voor de visfauna te vroeg komt). Ook kan het effecten hebben op de fenologie van bijvoorbeeld de zalm (bijv. afname van lengte en gewicht).[17] Daarnaast kunnen temperatuurschommelingen ook effect hebben op het moment waarop de paai van verschillende vissoorten plaatsvindt. De stijging van de watertemperatuur tot boven een kritische waarde heeft negatieve gevolgen voor het trekgedrag van de zalm.[18]

1.1.5 Richtwaarden voor de gevoeligheid: temperatuur

Zowel de gemiddelde temperatuur als de maximumtemperatuur zijn relevant. Voorkeuren voor bepaalde watertemperaturen zijn met name voor veel vissoorten goed bekend (zie hoofdstuk 1.5.3).

In Nederland mag de temperatuur door warmtelozing niet meer dan 3 °C veranderen t.o.v. de achtergrondtemperatuur. In 2004 is vastgesteld (CIW beoordelingssystematiek warmtelozingen) dat de temperatuur maximaal 28 °C zou mogen zijn, momenteel wordt er gewerkt aan een nieuwe beoordelingssystematiek met daarin de norm van 25 °C. Dit komt overeen met de in Nederland vastgestelde KRW-norm van 25 °C voor een goede ecologische toestand in de rivieren[19].

In Frankijk zijn in het van 25 januari 2010 daterende en op 9 oktober 2023 gewijzigde decreet inzake de beoordeling van de ecologische toestand twee drempelwaarden voor de maximumtemperatuur (90-percentiel) vastgelegd: 21,5 °C voor salmonidenwateren en 25,5 °C voor cyprinidenwateren. Deze drempelwaarden komen overeen met de grens van de goede ecologische toestand en zijn in principe ook van toepassing op sterk veranderde wateren. Echter, op basis van expert judgement kunnen deze drempelwaarden worden aangepast voor de beoordeling van het ecologisch potentieel.

In Duitsland zijn de eisen aan de maximumtemperatuur en de temperatuurstijging voor de zeer goede en de goede ecologische toestand dan wel het goede ecologische potentieel voor verschillende vislevensgemeenschappen, watertypes en periodes gedefinieerd in de Duitse Verordening inzake de bescherming van oppervlaktewater (OGewV 2016). Voor de Rijn is van april t/m november een watertemperatuur van ≤ 21,5 °C nodig in het vlagzalmgebied, ≤ 25 °C in het barbeelgebied en ≤ 28 °C in het pos-/botgebied om een goed ecologisch potentieel te bereiken. De temperatuurstijging mag niet groter zijn dan 1,5 K (vlagzalmgebied) of 3 K (pos-/botgebied). In het kader van project O 10.20 van het door de Duitse deelstaten gefinancierde programma ''Water, bodem en afval'' (2020) zijn de oriënteringswaarden voor temperatuur in de OGewV voor verschillende levensgemeenschappen van vissoorten onderzocht en zijn er aanbevelingen gepubliceerd om deze waarden aan te passen.[20] Deze worden op dit moment in de praktijk getest.

[16] DORENBOSCH et al. 2022
[17] BAGLINIÈRE et al. 2004, BAL 2011
[18] SCHLÄPPI 2021
[19] VAN DER GRINTEN et al. 2007
[20] LAWA 2021

In Zwitserland en in Luxemburg mag de temperatuur van een rivier door warmtelozingen of -onttrekkingen niet meer dan 3 °C, op riviertrajecten in de forellenregio niet meer dan 1,5 °C, veranderen ten opzichte van de toestand die zo weinig mogelijk is beïnvloed; de watertemperatuur mag daarbij niet hoger worden dan 25 °C (CH: Zwitserse Verordening inzake waterbescherming, artikel 12, lid 4; LU: Groothertogelijke verordening van 15 januari 2016 inzake de beoordeling van de toestand van oppervlaktewateren).

Naast de maximumtemperatuur is vooral de duur van de hete periode bepalend voor het overleven van waterorganismen. In de zomer van 2003 was de temperatuur in de hoofdstroom van de Rijn bijvoorbeeld 41 dagen lang hoger dan 25 °C, waardoor schelpdieren en alen in groten getale bezweken.[21] Tussen juli en augustus 2018 is in de Rijn bij Koblenz op eenendertig opeenvolgende dagen de waarde van 25 °C overschreden, die voor veel vis- en macrozoöbenthossoorten in de Rijn als kritische waarde geldt. Er moet van worden uitgegaan dat hete periodes de komende jaren zullen toenemen en dat ook dergelijke massale sterfte zich opnieuw kan voordoen.

Vooral in de uitloop van grote meren en aan grotere stuwen kunnen er hoge temperaturen worden gemeten, omdat het water hier sterker opwarmt dan in rivieren. Zo kwamen er als gevolg van de extreme hitte in de zomer van 2003 in het Rijntraject direct benedenstrooms van de uitloop van het Bodenmeer in de Hoogrijn ongeveer 50.000 vlagzalmen om (20,9 ton vis, ca. 90% van het bestand). Bij Stein am Rhein werd er op 12 augustus 2003 op vier meter diepte een watertemperatuur van 25,9 °C gemeten; in de oeverzone steeg het kwik tot boven de 27 °C[22]. Dergelijke extreme temperaturen komen steeds vaker voor; in 2018 en 2022 werden deze warmterecords nog overschreden, hetgeen in het bijzonder in 2018 weer tot vissterfte leidde, ondanks de aanwezigheid van een noodplan.[23] In 2022 bleef grote vissterfte uit, omdat er geen vissen meer waren die nog konden doodgaan. Immers, in 2018 was de vlagzalmpopulatie in de Rijn bij Schaffhausen al met 90% afgenomen.

Ook in de wintermaanden kunnen verhoogde watertemperaturen leiden tot vissterfte[24] (zie hoofdstuk 1.5.3).

1.1.6 Richtwaarden voor de gevoeligheid: zuurstof

De zuurstofconcentratie in het water is onder andere afhankelijk van de watertemperatuur; warm water kan minder zuurstof opnemen dan koud water. Hoe hoger de temperatuur, hoe slechter zuurstof oplost in water. Zo is bijvoorbeeld bij 100% verzadiging en een normale luchtdruk (1 bar) in koud water met een temperatuur van 5 °C 12,7 mg O_2/l opgelost, terwijl in warm water met een temperatuur van 25 °C nog slechts 8,3 mg O_2/l is opgelost[25].

In Nederland moet voor de goede ecologische toestand de zuurstofverzadiging van een rivier > 60% bedragen (bij 15 graden is dat 6 mg/l).

In Frankrijk is in het decreet van 9 oktober 2023 als grenswaarde voor de goede ecologische toestand 6 mg/l zuurstof vastgelegd. Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen de vissoorten in de rivier. De grenswaarde voor de verzadiging bedraagt 70%.

[21] Koop et al. 2007
[22] Buwal 2004
[23] ICBR 2020a , MeteoSchweiz (2022); https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/publikationen-studien/publikationen-wasser/hydrologisches-jahrbuch-der-schweiz.html; https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/publikationen-studien/publikationen/hitze-und-trockenheit.html
[24] Brodersen et al. 2011
[25] https://www.internetchemie.info/chemie-lexikon/daten/s/sauerstoffgehalt-wasser.php

Waarden onder 3-4 mg O_2/l worden meestal als ''kritisch voor vissen'' beschouwd, d.w.z. dat ervan moet worden uitgegaan dat vissen sterven als deze waarden worden onderschreden. Subletale schade wordt al bij nog iets hogere waarden verwacht. Bovendien hangen drempelwaarden voor vissterfte of subletale schade af van een reeks verschillende factoren, zoals de watertemperatuur of de vissoort. Omdat vissen bij hoge watertemperaturen een hoge zuurstofbehoefte hebben, zijn de kritische drempelwaarden bij hoge watertemperaturen lager dan bij lage watertemperaturen. Sommige vissoorten zijn daarnaast robuuster dan andere (zo zijn alen bijvoorbeeld veel robuuster dan zalmen).

In Duitsland zijn de eisen aan de zuurstofconcentratie voor de zeer goede en de goede ecologische toestand dan wel het goede ecologische potentieel voor verschillende riviertypes gedefinieerd in de Duitse Verordening inzake de bescherming van oppervlaktewater (OGewV 2016). Afhankelijk van het riviertype liggen de waarden voor de goede toestand tussen ≥ 4 en 8 mg/l. Voor de Rijn is ≥ 7 mg/l vereist.

Als het water is verontreinigd met organische stoffen kan het zuurstofverbruik sterk toenemen, vooral bij hoge temperaturen. Zuurstofconcentraties onder 4 mg/l in water voor karperachtigen en onder 6 mg/l in water voor zalmachtigen hebben de kritische grens voor de visfauna in kwestie bereikt. Als de zuurstofconcentratie onder 3 mg/l daalt, kunnen de meeste vissoorten niet meer overleven, zelfs bij lage temperaturen.[26]

1.2 Fytoplankton

Een verbetering van de levensomstandigheden voor het fytoplankton, d.w.z. tragere stroomsnelheden, hogere nutriëntengehaltes en gestegen temperaturen over een langere periode in het jaar, betekent gewoonlijk een verslechtering van de ecologische kwaliteit van de wateren.
Vooral in stilstaande wateren leidt een sterkere groei van fytoplankton eerst tot zuurstofoververzadiging en dan tot afbraakprocessen die veel zuurstof verbruiken, terwijl de benthische filtreerders, dus de planktoneters, zoals bijvoorbeeld de korfmossel van het geslacht *Corbicula* en de driehoeksmossel van het geslacht *Dreissena* hun activiteit reduceren, wat de planktongroei dan weer aanwakkert.
In modellen wordt er op basis van lagere afvoeren, gestegen temperaturen en eutrofiëringsprocessen meestal een toename van bijv. de chlorofylconcentraties voorspeld[27].
Uit een experiment is echter gebleken dat een temperatuurstijging ook een negatieve invloed kan hebben op de biomassa van fytoplankton, de gemiddelde celgrootte en het aandeel microplankton-diatomeeën en dientengevolge kan leiden tot een lagere energietransfer in de voedselketen van primaire producenten naar vissen[28].

Tijdens droge periodes, zoals bijvoorbeeld in de zomer van 2003, die gepaard gingen met een stijging van de watertemperatuur, is er onder andere in de Rijn een sterke toename waargenomen van zowel fytoplankton als macrofyten.[29] Vooral diatomeeën breidden zich razendsnel uit. In dergelijke situaties wordt de rivier overwoekerd en bestaat het gevaar dat er grote hoeveelheden blauwalgen (cyanobacteriën) tot ontwikkeling komen.[30] In de zomer van 2018 was er, zoals ook in 2017 al, in de gehele Moezel sprake van een bloei van cyanobacteriën van het geslacht Microcystis, dat potentieel toxines kan afscheiden. Pas eind oktober kwam er een eind aan deze algenbloei.

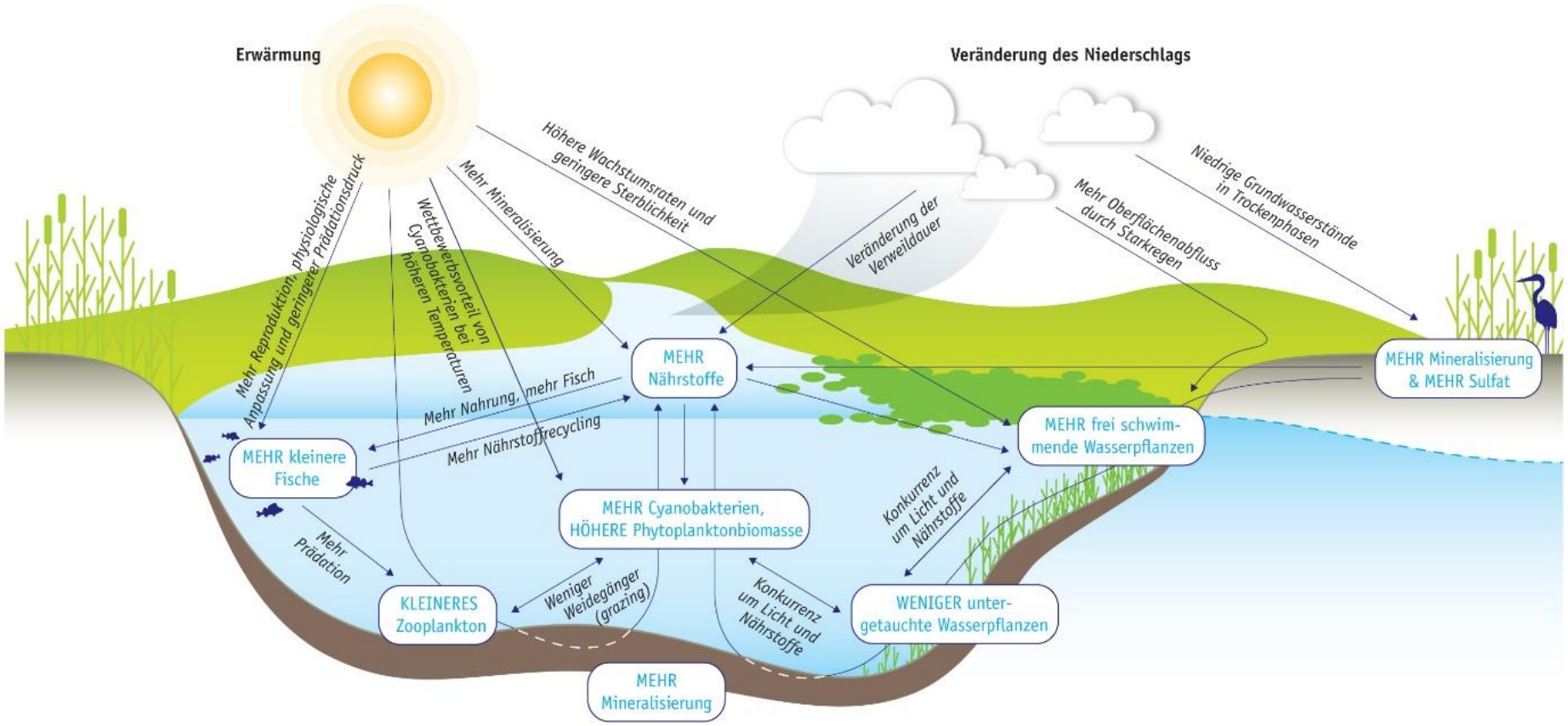
[26] Uit Koop et al. 2007: Casselmann & Harvey 1975
[27] Uit Kliwa 2010: Zebisch et al. 2005; Wagenschein 2006, Stadthagen 2007, Ducharne et al. 2007, Quiel et al. 2008
[28] Uit Kliwa 2010: Sommer & Lengfellner 2008
[29] Bundesanstalt für Gewässerkunde 2006
[30] ICBR 2020a

De cyanobacteriënbloei van 2018 bereikte piekwaarden van meer dan 80 µg/l cyanobacteriën-chlorofyl en was daarmee veel intensiever dan in 2017 en duurde ook langer als gevolg van de lang aanhoudende lage afvoeren.
Het ontstaan van de ''blauwalgenbloeien'' werd tot eind oktober in de hand gewerkt door laagwater en de hierdoor veroorzaakte lange verblijftijd van het zeer traag stromende water in de stuwpanden van de Moezel[31]. De meteorologische situatie met felle zonbestraling en hoge temperaturen versterkte dit nog.

Algenbloei beïnvloedt niet alleen de zuurstofhuishouding van het water (zie hierboven), maar kan ook leiden tot "biogene ontkalking". Als gevolg van de uitscheiding van kalk door de algen wordt het water melkkleurig en ontstaat er schuim, zoals in 2003 is waargenomen in de Hoogrijn. In combinatie met hoge pH-waarden verandert ammonium geleidelijk in ammoniak, dat giftig is voor vissen[32].

Figuur 3: Beelden van wateren met een sterke proliferatie van cyanobacteriën. (Bron: M. Leitão, Guide pratique des Cyanobactéries planctoniques du Grand Ouest de la France)

[31] KLEINTEICH ET AL. 2024
[32] BUWAL 2004



Figuur 4: Belangrijkste effecten van klimaatverandering.
Conceptuele weergave van de belangrijkste effecten van klimaatverandering op eutrofiëring en eutrofiëringseffecten. Bron: STOWA 2011, naar Moss et al. 2011 (International Society for Limnology).

1.3 Macrofyten / fytobenthos

Het afvoerregime en het daarmee samenhangende transport van bodemmateriaal hebben een aanzienlijke invloed op de groei van macrofyten en fytobenthos.[33] Vooral tijdens hoogwater wordt er meer sediment opgewerveld, wat negatieve gevolgen heeft voor zowel fytobenthos als macrofyten. Enkele soorten macrofyten (bijv. de vlottende waterranonkel, *Ranunculus fluitans*) zouden gebaat kunnen zijn bij een toenemende eutrofiëring als gevolg van de diffuse emissie van nutriënten (bijv. bij zware neerslag) en de rivier kunnen overwoekeren[34]. Vaak gaat hier een achteruitgang van de waterkwaliteit en de biodiversiteit mee gepaard. Zeker als er tevens sprake is van hoge temperaturen en een hoge stralingsintensiteit kan het komen tot een snelle ontwikkeling van de biomassa van fytobenthos en macrofyten, wat al even snel kan worden gevolgd door de instorting van het systeem. Het afsterven of vergaan van organisch materiaal leidt tot een verlaging van het interstitiële zuurstofgehalte, d.w.z. het zuurstofgehalte in de holtes in de rivierbedding (''biogeen geïnduceerde dichtslibbing'', zie hoofdstuk over de ''visfauna'')[35].
Een temperatuurstijging raakt vooral de koud-stenotherme plantensoorten in kleine rivieren met veel fijn slib, bronnen en bergmeren; bij zeldzame soorten kan dit een achteruitgang teweegbrengen. Voorbeelden van dergelijke planten zijn groot bronkruid (*Montia fontana*), paarbladig goudveil (*Chrysosplenium oppositifolium*) en rossig fonteinkruid (*Potamogeton alpinus*)[36].

1.4 Macrozoöbenthos

De klimaatverandering heeft ook een invloed op macrozoöbenthos. Uit een onderzoek in zijrivieren van de Middenrijn (Wisper, Gründelbach, Nette, Saynbach, Ahr) is gebleken dat het opstuwende effect van hoogwater in de Rijn de stroomsnelheid in de benedenlopen vertraagt, waardoor de schuifspanning in het water af- en de sedimentatie toeneemt. Onder meer als gevolg van deze storing komen er in deze riviertrajecten minder soorten macrozoöbenthos voor dan in de hoger gelegen gebieden en heerst hier ook een andere dominantiestructuur: het aandeel stromingsminnende (rheofiele) soorten neemt af. In de weken na het hoogwater in de Rijn neemt het aandeel rheofiele soorten in de zijrivieren weer toe en komt er een nieuwe biocenose tot ontwikkeling die duidelijk verschilt van de biocenose in de Rijn.[37] Frequentere hoogwatergebeurtenissen in de Rijn kunnen de herstelfase verkorten, waardoor de biocenose op lange termijn verarmt.
Het droogvallen van substraat bij laagwater kan ervoor zorgen dat soorten, die anders kenmerkend zijn voor het gebied, worden teruggedrongen. De meeste macrozoöbenthossoorten hebben niet de minste moeite met een verandering van het waterpeil als de snelheid waarmee het water stijgt of daalt onder 40 à 50 cm per uur blijft; alleen extreme gebeurtenissen hebben een effect op de levensgemeenschap.
Een fenomeen dat ook al werd waargenomen is de massale migratie van macrozoöbenthos richting de monding van zijrivieren. De dieren ondernemen deze reis om de concentratie-effecten als gevolg van laagwater en hogere watertemperaturen te ontwijken[38].

Een stijging van de temperatuur zal vooral een uitwerking hebben op het macrozoöbenthos in beken, kleine rivieren en bronnen in het hoog- en het middelgebergte. Hier horen veel koud-stenotherme soorten thuis. Er zal een opwaartse

[33] ICBR (2020d) en ICBR (2020e)
[34] KLIWA (2010)
[35] IBISCH 2004
[36] MKUNLV 2010
[37] Uit KLIWA 2010: BECKMANN 2002
[38] KLIWA 2010

verschuiving van de levensgemeenschappen in de rivier plaatsvinden, waarbij koud-stenotherme organismen het gevaar lopen "in de val te raken" en op een gegeven moment niet meer verder stroomopwaarts te kunnen vluchten (zie hoofdstuk over "visfauna")[39].
Voorbeelden hiervan zijn:

- verschillende soorten bronslakken (*Bythinella spp.*);
- de gemaskerde erwtenmossel (*Pisidium personatum*);
- verschillende soorten libellen, bijv. de zuidelijke bronlibel (*Cordulegaster bidentata*), de azuurglazenmaker (*Aeshna caerulea*), de noordse glazenmaker (*Aeshna subarctica elisabethae*) en de taigaglanslibel (*Somatochlora alpestris*);
- larven van een groot aantal soorten steenvliegen (Plecoptera), bijv. *Nemoura marginata*, *Diura bicaudata* of *Brachyptera seticornis*;
- larven van bepaalde soorten eendagsvliegen, bijv. *Baetis alpinus* of alpiene soorten van het geslacht *Rhithrogena*;
- larven van een groot aantal soorten kokerjuffers (Trichoptera), bijv. *Chatopterygopsis maclachlani*, *Ecclisopteryx guttulata*, *Rhyacophila praemorsa* of *Drusus discolor.* [40]

Een secundair effect van de achteruitgang van belangrijke grazers, met name larven van eendagsvliegen en kokerjuffers, is een toenemende begroeiing (vorming van een biofilm en algenlagen op stenen; zie hoofdstuk over ''macrofyten / fytobenthos'').
Vooral in de Kalkalpen leven er veel endemische ongewervelde soorten, waarvoor een temperatuurstijging een bedreiging vormt.
Bij extreem hoge zomertemperaturen en hiermee gepaard gaand laagwater moet ervan worden uitgegaan dat schelpdieren sterven, zoals in de zomer van 2003 is gebeurd in strangen en delen van de hoofdstroom van de Rijn.[41] Tijdens de laagwatergebeurtenis van 2018 is een klein deel van de mosselpopulaties afgestorven, maar van grootschalige mosselsterfte was geen sprake.[42]
Soorten die voordeel zouden kunnen ondervinden van de klimaatverandering zijn ubiquisten, zoals bijv. bepaalde warmtetolerante soorten chironomiden, gammariden of warmteminnende soorten, zoals bijv. de puntige blaashoren (*Physella acuta*), maar ook veel exoten, die soms concurrentiedruk uitoefenen op inheemse soorten (zie hoofdstuk over ''exoten''). Er mag worden aangenomen dat de verschuiving van de dominantiestructuur ten gunste van deze soorten over het algemeen zal leiden tot een achteruitgang van de ecologische toestand conform KRW[43].

Voor de ernstig bedreigde populaties van inheemse rivierkreeften (Astacidae), die in ruime zin ook kunnen worden ingedeeld bij het macrozoöbenthos, hadden de extreme droogte en hitte in de jaren 2018 en 2019 gevolgen die het voortbestaan van populaties in gevaar brachten of onmogelijk maakten (zie figuur 5).[44] Beken in het stroomgebied van de Duitse Bovenrijn kregen in 2018 overal te maken met laagwaterafvoeren en vielen deels of volledig droog. De droogte van 2018 werkte in veel beken waar kreeften voorkomen ook in 2019 nog als stressor door, zodat er in het volgende jaar amper sprake was van ontspanning. Vooral kleinschalige, geïsoleerde kreeftenpopulaties leiden onder de gevolgen. Dit is typisch voor de inheemse *Austropotamobius*-soorten (steenkreeft en zoetwaterkreeft) die door invasieve soorten en de kreeftenpest zijn verdrongen naar de bovenloop van beken. Als populaties door extreme droogte en hitte lokaal uitsterven vindt er geen natuurlijke herkolonisatie meer plaats vanwege de sterke vereilanding van de populaties. De

[39] Uit KLIWA 2010: CORDELLIER 2009, LORENZ & GRAF 2008; diverse auteurs in WWF 2009
[40] KLIWA 2018
[41] Uit KLIWA 2010: LUBW 2004
[42] ICBR 2020a
[43] DAUFRESNE et al. 2007, GROß 2003, LUBW 2004 en SCHÖLL 2007 in KLIWA 2010
[44] CHUCHOLL 2019

leefgebieden raken zo permanent verlaten. Als droogtegebeurtenissen zich vaker en heftiger gaan voordoen, zal dit risico alleen maar toenemen. Tegelijkertijd brengen ook toenemende afvoeren als gevolg van zware neerslag een risico met zich mee, in het bijzonder als grof substraat tot op grote diepte in beweging komt, terwijl dit substraat normaal gesproken overwegend stabiel is (meso- tot megalithaal) en door dieren wordt gebruikt om zich te verstoppen of in te graven in spleten en holten.[45]

Figuur 5: A - Dode zoetwaterkreeft (*Austropotamobius pallipes*) in de droge benedenloop van een zijrivier van de Dreisam (stroomgebied van de Duitse Bovenrijn). B - Onlangs overleden zoetwaterkreeft in restwaterplas met sterk opgewarmd, stagnerend water (zelfde rivier als A). C - Levende zoetwaterkreeft (cirkel) in zwak doorstroomde insterstitiële zone (verstopplaats geopend; beek aan de bovenloop van de Duitse Bovenrijn). D - Pas gegraven kreeftenholen (pijlen) in een vochtige oever benedenstrooms van een restwaterplas (zelfde beek als C). Alle foto's uit CHUCHOLL **(2019).**

Een stijging van de watertemperaturen in de winter kan bijv. het voortijdige stopzetten van een rustperiode of veranderingen in de ontwikkelingstijden teweegbrengen[46]. Sommige soorten vertonen ook een hoger voltinisme, d.w.z. dat ze zich vaker voortplanten en er meerdere generaties per jaar zijn.[47] Voor de populatie kan dit nadelig

[45] ROBINSON et al. 2008

[46] MEHLIG & ROSENBAUM-MERTENS 2008, FISCHER 2003, LADEWIG 2004 in KLIWA 2010

[47] Uit KLIWA 2010: BRAUNE et al. 2008

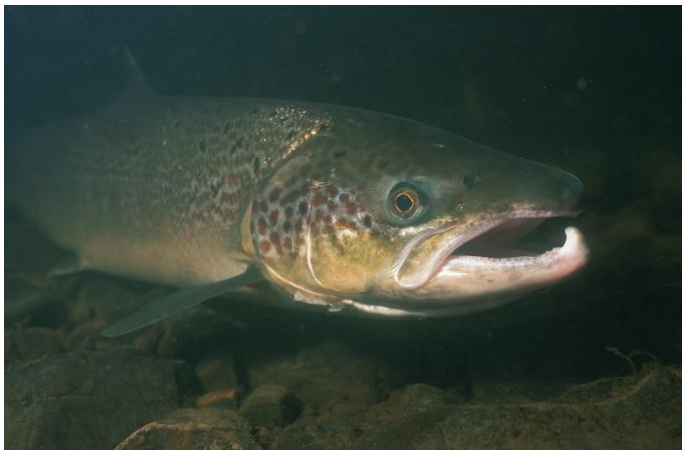
zijn als generaties van nakomelingen op een ongunstig moment tot ontwikkeling komen, bijv. wanneer er niet genoeg voedselbronnen beschikbaar zijn. De nakomelingen kunnen zich als gevolg van de voedselschaarste niet goed ontwikkelen en sterven af. Voor de uitgangspopulatie betekent dit een enorm energieverlies dat kan leiden tot het lokale uitsterven van de gehele populatie.

1.5 Visfauna

1.5.1 Aanvoer van fijn materiaal en bodemmateriaal

Klimaatverandering leidt tot veranderingen in de afvoer. Zo kan hoogwater de sedimenthuishouding van een rivier positief beïnvloeden, doordat meegevoerd sediment op het rivierbed en op de rivieroevers afgezet kan worden. Dit is ook belangrijk voor het ontstaan en de structuur van aquatische habitats. De natuurlijke dynamiek van rivier-zeesystemen zorgt voor een dynamisch evenwicht tussen sedimentatie, resuspensie en het opnieuw afzetten van sedimenten, als de sedimenthuishouding niet verstoord is[48].

De toevoer van fijn bodemmateriaal, bijv. bij zware neerslag, gaat echter vaak gepaard met negatieve effecten. De interstitiële zone kan dichtslibben, d.w.z. dat de ruimtes tussen de zandkorrels en het slib in de grindbedden op de waterbodem, waar grindpaaiers en prikken kuitschieten en jonge vissen die pas uit het ei zijn gekomen verblijven, door het vrijgekomen sediment verstopt raken en dat de resterende zuurstof in het interstitieel water afneemt.[49] Diffuse emissies van fijn materiaal kunnen bovendien de water- en sedimentkwaliteit verslechteren en daardoor schade berokkenen aan viskuit en jonge vissen.



Figuur 6: Mannetjeszalm (foto: Ulrich Haufe, LÖBF)

Met name stromingsminnende vissen die paaien op schone grind- en/of zandsubstraten (o.a. zalmachtigen, barbeel, serpeling, riviergrondel, bermpje, prikken) reageren gevoelig voor slibdepositie op het paaihabitat. Eieren en net uitgekomen larven tussen het substraat zijn slecht bestand tegen plotselinge opslibbing door hoge afvoeren met veel zwevend stof. Een langer aanhoudende, toegenomen aanvoer van fijn sediment leidt tot het verstopt raken van grindbedden, waardoor de bedding dichter en vaster wordt en de permeabiliteit sterk afneemt. Als gevolg hiervan stroomt er geen water en bijgevolg ook geen zuurstof meer door de grindbedden. Opgeslibd sediment is niet geschikt als paaihabitat.

De sedimentdynamiek (transport en verplaatsing van grof sediment) is een natuurlijk proces in rivieren dat de waterbodem steeds opnieuw structureert. Vanwege de vele

[48] BRILS et al. 2017
[49] MKUNLV 2010, IBISCH 2004, SCHLÄPPI 2021

kunstwerken is deze dynamiek in grote delen van het Rijnsysteem echter ernstig verstoord. Waar die dynamiek nog wel bestaat, is deze een essentiële voorwaarde voor de gestage vernieuwing van geschikte paaiplaatsen voor grindpaaiers. Echter, tijdstip en frequentie zijn hierbij doorslaggevend en zullen als gevolg van de klimaatverandering waarschijnlijk veranderen, bijv. als winterneerslag steeds meer in de vorm van regen valt (nivaal regime verschuift richting pluviale omstandigheden).

Door het smelten van de gletsjers en de permafrost in de Alpen komt er puin bloot te liggen en men gaat ervan uit dat veel bergrivieren voortaan meer grind en zand zullen vervoeren. Het gevolg hiervan is dat het transport van bodemmateriaal toeneemt, hetgeen vooral in de vrij afstromende delen van het waternet kan bijdragen aan de vorming en de verbetering van grindpaaiplaatsen. Neemt het transport van bodemmateriaal echter herhaaldelijk toe tijdens de periode van de voortplanting en het uitkomen van het broed (bij de beekforel bijv. in de winter en het vroege voorjaar), zoals door de seizoensverschuiving van neerslag als gevolg van de klimaatverandering deels wordt verwacht, dan kunnen populaties van grindpaaiers hiervan schade ondervinden.[50] Op het benedenstroomse Rijnsysteem zijn de effecten van grotere bewegingen van bodemmateriaal echter waarschijnlijk gering, vanwege de vele dwarsconstructies en stuwen en het Bodenmeer, die fungeren als bodemmateriaal- en sedimentvangers.

1.5.2 Laagwater

Lage afvoeren zijn in het algemeen nadelig voor de vismigratie. Bij laagwater kunnen bijvoorbeeld stroomopwaarts trekkende zalmen de zijrivieren en paaiwateren slechter vinden en is het mogelijk dat de minimale diepte die soorten nodig hebben om te migrereren niet wordt bereikt. Als een laagwaterfase te lang duurt, overschrijden trekvissen hun tijdsbudget voor het bereiken van de paairivieren en kan het komen tot noodpaai in suboptimale habitats. Bovendien is het sterfterisico als gevolg van predatie verhoogd. Ook het risico op botsing met scheepschroeven is groter, omdat vissen door de dalende waterstanden steeds meer naar de vaargeul worden verdrongen. Dit is het grootste op de Waal (Rijndelta) door de hoge scheepsvaartintensiteit en doordat de Waal de belangrijkste migratieweg is voor meerdere soorten. Met name de aal is door slecht gehoor en zicht kwetsbaar voor botsingen met schepen. De trefkans tussen alen en schepen is het grootst tijdens lage waterstanden en net na een toename van de waterstand, aangezien de alen dan worden aangezet om te migreren[51].

Het droogvallen van grotere gebieden leidt tot habitatverlies voor de gehele aquatische levensgemeenschap. Hierdoor veranderen de predator-prooirelaties en de concurrentieverhoudingen, hetgeen het aquatische voedselweb kan beïnvloeden. De populaties van minder concurrerende organismen (bijv. doordat ze minder mobiel zijn dan de doorgaans zeer mobiele visfauna) kunnen gaan krimpen, waardoor ook de voedselomstandigheden voor de visfauna een negatieve invloed kunnen ondervinden. En niet in de laatste plaats kunnen droge periodes, vooral als ze samenvallen met verhoogde watertemperaturen, leiden tot meer vissterfte en frequentere ziektes (zie hoofdstuk 1.5.6).

De verwachting is dat lagere afvoeren de decennia daarna leiden tot een lokaal verlies aan biodiversiteit onder de vissen.[52] Uit een overzichtsonderzoek naar de invloed van afvoerschommelingen in rivieren op de abundantie en biomassa van vissen in gematigde gebieden is gebleken dat lage waterstanden, maar ook hoogwatergebeurtenissen een negatief effect hebben op beide visindices.[53]

[50] BAFU 2012, Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016, KÖLLNER et al. 2017
[51] SCHULTE & VAN WINDEN 2024
[52] XENOPOULOS et al. 2005
[53] RYTWINSKI et al. 2023

OEXLE et al. (2020) hebben op 373 KRW-monitoringlocaties onderzoek gedaan naar de gevolgen van de extreme laagwaterfases van 2018 en 2019 voor de visfauna in de rivieren in Baden-Württemberg (123 monitoringlocaties lagen in directe zijrivieren van de Rijn). Vergeleken met de jaren vóór het laagwater nam het aandeel en de abundantie van koudeminnende vissoorten significant af, terwijl de totale visdichtheid (ind/m³) toenam. De toename van de totale visdichtheid was vooral te wijten aan een toename van warmtetolerante, kleine vissoorten. Alles samengenomen resulteerde dit in verschuivingen in de samenstelling en de abundantie van de vislevensgemeenschappen.

Laag water zorgt er ook voor dat de stroomsnelheden in (delen van) de rivier, bijv. in meestromende nevengeulen of gestuwde rivierpanden sterk dalen. Stromingsminnende soorten verdwijnen uit habitats waar waterstroming ontbreekt (bijv. zalmachtigen, barbeel en larven van rivierprik). Te lage stroomsnelheden hebben ook een negatieve invloed op het migratiegedrag van trekvissen, omdat zij hun migratie onder andere afstemmen op de stroomsnelheid.

Laag water in het voorjaar zorgt ervoor dat er minder frequent typerende overstromingsvlaktes ontstaan. Vlakke oevers en tijdelijk overstroomde uiterwaarden zijn voor veel vissoorten (bijv. snoek) echter belangrijke paaigronden en opgroeihabitats.

Een door klimaatverandering veroorzaakte verandering op lange termijn in het afvoerregime, met minder frequente overstromingen en lage waterstanden vroeger in het jaar, kan eutrofiëringsprocessen intensiveren, vooral in het vlagzalm- en barbeelgebied, wat mogelijk een negatieve invloed heeft op de vispopulatie[54].

Verder zorgt laag water ervoor dat uiterwaardwateren en gedeeltelijk ook zijtakken steeds meer geïsoleerd raken. Vissen die normaal gesproken na hun juveniele levensfase wegtrekken naar de hoofdstroom (bijv. winde, brasem, blankvoorn) raken dan opgesloten in de zijwateren. In combinatie met droogval en/of hoge watertemperaturen kan massale sterfte optreden. Sommige vissoorten in laag dynamische uiterwaardwateren zijn echter aangepast aan het tijdelijk, geheel of gedeeltelijk droogvallen van ondiepe plassen, zoals grote modderkruiper en kroeskarper. Deze soorten kunnen in zulke situaties overleven door zich in te graven in de modderige, nog vochtige ondergrond.[55] Als de droogval echter te lang duurt, treedt bij deze soorten uiteindelijk ook sterfte op.

[54] BRUNKE 2023
[55] NLWKN 2011

Figuur 7: Laagwater in een zijtak van de Rijn in 2018 (foto: Marc Braun)

1.5.3 Watertemperatuur

Om de invloed van veranderingen in de watertemperatuur op de visfauna te kunnen inschatten, is het belangrijk om de temperatuurvoorkeuren van verschillende vissoorten te kennen. Bij de temperatuurvoorkeuren wordt er onder andere een onderscheid gemaakt tussen de volgende parameters:

De kritische temperatuur (CTMax of CTMin) is bereikt als vissen niet meer in staat zijn om de omgeving waar de kritische temperaturen heersen te ontvluchten. Als temperaturen de kritische boven- of ondergrens naderen, kan er een duidelijke gedragsverandering worden waargenomen. Er is bijvoorbeeld sprake van temperaturen die leiden tot vermijdingsgedrag, desoriëntatie of ontregeling (avoidance, restlessness of disturbing temperature). In de geprefereerde temperatuurbandbreedte nemen vissen voedsel op en vertonen ze geen tekenen van temperatuurgerelateerd abnormaal gedrag. De voorkeurstemperatuur is de temperatuurrange waarbinnen vissen in een temperatuurgradiënt het liefst verblijven.[56] [57]

Vergeleken met de karperachtigen, die vrij temperatuurtolerant zijn, vertonen zalmachtigen een relatief kleine temperatuurtolerantie (zie tabel in bijlage 2).

Waarden als de kritische temperatuurgrens en de optimale temperatuurbandbreedte verschillen per levensstadium. Eitjes en jonge dieren zijn in de regel temperatuurgevoeliger dan volwassen vissen, terwijl die op hun beurt vooral tijdens de paaiperiode bijzondere eisen stellen aan de watertemperatuur. Voor de ontwikkeling van de vissen is het aantal opeenvolgende dagen met een bepaalde watertemperatuur doorslaggevend.[58]

Ook in de wintermaanden kunnen verhoogde watertemperaturen leiden tot vissterfte, wanneer het energieverbruik als gevolg van de hogere watertemperatuur is verhoogd, terwijl het voedselaanbod te laag is.[59]

Ook kunnen vissoorten en -populaties regionale adaptaties vertonen. Koudeminnende vissoorten zoals beekforel (*Salmo trutta*, in het Rijngebied komen meerdere genetisch te onderscheiden stammen voor) worden bedreigd door hoge watertemperaturen en

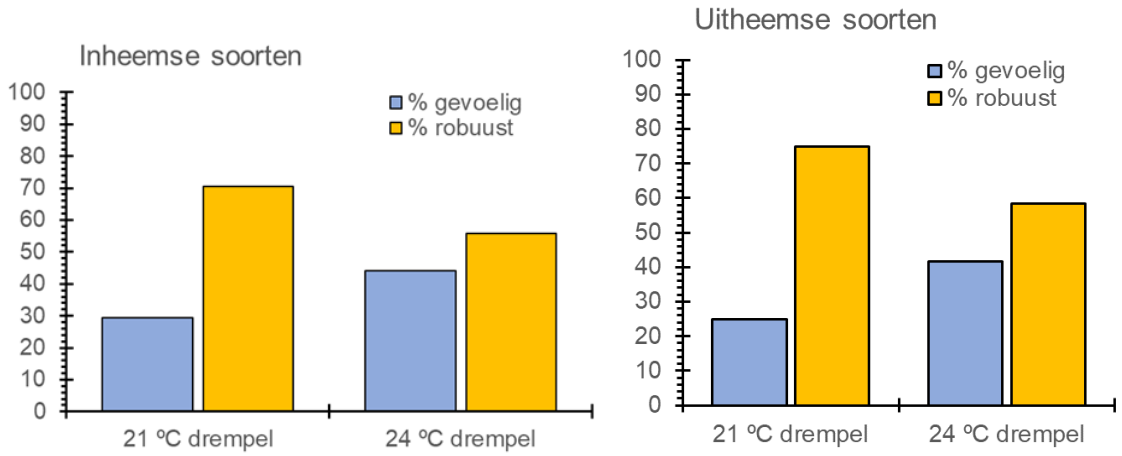
[56] ELLIOT 1981
[57] KÜTTEL et al. 2002, zie ook tabel in bijlage 2
[58] TISSON & SOUCHON 2010
[59] BRODERSEN et al. 2011

laagwater.[60] [61] Volgens een onderzoek van BASEN et al. (2022) zullen bijvoorbeeld beekforellen en vlagzalmen in het zuidwesten van Duitsland 92% dan wel 75% van hun momenteel goed geschikte leefgebied verliezen (gerelateerd aan de verre toekomst, 2070).[62] Eitjes, embryo's en jonge exemplaren van de beekforel zullen de winter in het Alpengebied (en eventueel ook in het middelgebergte) misschien beter doorkomen dankzij de warmere temperaturen, maar ook voor hen mag de temperatuur niet té hoog stijgen.[63] Lokaal aangepaste beekforelpopulaties zouden relatief tolerant kunnen blijken voor hogere temperaturen en zodoende het overleven van de soort mogelijk maken. Dergelijke toleranties zijn meestal niet van fysiologische aard, maar zijn een aanpassing in de levenscyclus, bijvoorbeeld een verschuiving van het tijdstip van de paai.

In het kader van een onderzoek van het Nederlandse Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (OBN)[64] naar de effecten van klimaatverandering op rivierecologie is voor een groot deel van de visgemeenschap in de Nederlandse rivieren geschat in welke mate de soorten bestand zijn tegen het langdurig optreden (20 dagen in de zomer) van een watertemperatuur van 21 °C (representatief voor de huidige situatie) en 24 °C (representatief voor de situatie in een opwarmend klimaat). Door vergelijking van deze temperaturen met een database met bekende tolerantiegrenzen van vissen voor watertemperatuur, zijn vissen ingedeeld in 'gevoelig' (soorten ondervinden schade door blootstelling aan deze temperatuur) en 'robuust' (soorten ondervinden geen hinder door blootstelling aan deze temperatuur). Op basis van hoge zomer watertemperaturen van 21 °C die inmiddels regelmatig in de rivier voorkomen, is ca 30% van de inheemse vissen 'gevoelig' (ca. 25% van de uitheemse vissen). Bij een opwarmend klimaat waarbij hogere zomer watertemperaturen van 24 °C verwacht worden, stijgt het aandeel 'gevoelige' inheemse vissen tot ca. 44 % (ca. 41% van de uitheemse vissen). Een steeds groter deel van de visgemeenschap kan dus schade ondervinden ten gevolge van hoge watertemperaturen door een opwarmend klimaat. Bij uitheemse soorten is het aandeel ''gevoelige'' soorten even hoog ofwel slechts een beetje lager dan bij inheemse soorten (zie figuur 8). Toch blijven er meerdere uitheemse soorten over die zeer tolerant zijn tegenover de stijgende watertemperaturen. In de toekomst zullen die een (nog) groter concurrentievoordeel hebben.

De Europese meerval (Siluris glanis), de grootste, inheemse roofvissoort in de Rijn, plant zich voort bij temperaturen boven de 18 °C (Copp et al. 2009). Sinds 1994 neemt de populatie toe (Van Aalderen en Beelen, 2011), hetgeen zorgwekkend is voor een herstel van de zalmpopulatie (Brevé et al. 2014; Schneider et al. in voorbereiding).

[60] EUROLIMPACS 2009, NOTTER & STAUB 2009
[61] BAFU 2021
[62] BASEN et al. 2022a
[63] KÄRCHER et al. 2021
[64] DORENBOSCH et al. 2022



Figuur 8: Indeling van vissoorten (inheems, uitheems) als 'gevoelig' en 'robuust' voor watertemperaturen van 21 °C (huidige situatie) en 24 °C (klimaatscenario) (DORENBOSCH et al. 2022)

Het Franse agentschap voor biodiversiteit (Office français de la biodiversité, OFB) heeft in 2021 onderzoek gedaan naar de effecten van klimaatverandering op de langeafstandstrekvissen in de Rijn, in het bijzonder op de Atlantische zalm.[65] De klimaatscenario's, die afgeleid zijn van de gegevens van het Franse IPCC (luchttemperatuur en neerslag), zijn gebaseerd op het onderzoek van de representatieve concentratiepaden (RCP) 2.6, d.w.z. +2 °C, hetgeen overeenkomt met de naleving van het verdrag van Parijs, en RCP 8.5, d.w.z. +4 °C. De balansen zijn opgesteld voor de Duits-Franse Bovenrijn, rekening houdend met de ontwikkeling van indicatoren voor meteorologische gegevens, watertemperatuur en afvoeren.

In scenario RCP 2.6 is er voor 2100 sprake van een stabilisatie van de milieuparameters: de daggemiddelde lucht- en watertemperaturen stabiliseren tegen 2030-2040 en de totale neerslaghoeveelheid stabiliseert in het jaar 2020. Scenario RCP 8.5 toont duidelijkere ontwikkelingen: een stijging van de daggemiddelde luchttemperatuur met +0,47 °C per decennium en van de watertemperatuur met +0,3 °C per decennium, en daarnaast twee dagen minder vorst per decennium. De sneeuwhoogte neemt met 4 cm per decennium af en de sneeuwval met 2,5 dag per tien jaar.

De resultaten van het onderzoek voor scenario RCP 8.5 duiden erop dat alleen het parrstadium niet te ernstig geraakt wordt, omdat het milieu dankzij de temperatuurstijging steeds optimalere groeiomstandigheden biedt voor dat levensstadium. De gevolgen voor de andere levensstadia van Salmo salar (eitjes, broed, smolts en volwassen dieren) zijn zeer negatief. Eitjes komen voortijdig uit, ze zijn kleiner en de omzettingsgraad van dooier naar weefsel is lager. De broedfase wordt sterk beïnvloed door toegenomen predatie en de volwassen fase door een vertraagde migratie, een verhoogd energieverbruik en een afname van het aantal bereikbare paaiplaatsen. Over het algemeen daalt het overlevingspercentage voor de vier bovengenoemde stadia. In scenario RCP 8.5 loopt het voortbestaan van de zalm tot het jaar 2100 groot gevaar.

Scenario RCP 2.6 is met betrekking tot de toekomst van de zalm in de Rijn bemoedigender. De levensomstandigheden voor deze soort zouden in 2100 ongeveer hetzelfde zijn als nu, zodat de Rijn behouden blijft als potentieel leefgebied, met echter licht gestegen watertemperaturen.

De resultaten van het onderzoek moeten met voorzichtigheid behandeld worden. Er zijn grenzen aan het onderzoek, dat nog steeds onbekende factoren bevat, zoals het

[65] DORIDANT 2021

aanpassingsvermogen van soorten, de betekenis van zijrivieren, de invloed van het grondwater en de grenzen aan de modellering van temperatuur- en afvoerfactoren.

1.5.4 Verdeling van de visgemeenschappen over de lengte van de rivier

De temperatuursafhankelijkheid van vitale processen (en andere factoren zoals stroomsnelheid en gesteldheid van het substraat) leiden tot een duidelijke en typische verdeling van de visgemeenschappen over de rivier, van de bron tot de monding in de zee.[66] Zo is er sprake van het forel-, vlagzalm-, barbeel-, brasem- en pos-botgebied. Deze grove indeling resulteert onder meer uit de gestage toename van de watertemperatuur en de afname van het verval van een rivier van bron tot monding. Zalmachtigen verspreiden zich doorgaans alleen in de bovenlopen, karperachtigen voornamelijk in de benedenlopen.

Als de watertemperatuur stijgt, wordt het leefgebied van warmteminnende vissoorten, zoals barbeel, brasem, alver, bermpje en kopvoorn, groter. Ze kunnen zich stroomopwaarts verspreiden en dus eventueel zelfs profiteren van de klimaatverandering. In het laaglandgedeelte van de Rijntakken (Nederland) geldt echter dat deze soorten meer in de bovenste regionen van hun temperatuurspectrum zitten en kan klimaatverandering juist zorgen voor een verkleining van hun leefgebied. De maximale temperatuur voor juveniele barbeel ligt bijvoorbeeld rond 25 °C.[67]

Zalmachtigen zijn daarentegen aangepast aan koel water en worden teruggedrongen in hun leefgebied of zullen proberen om door migratie naar hoger gelegen gebieden kritische temperaturen te vermijden.[68] Modelberekeningen voor zes vissoorten in Zuid-Duitse wateren hebben aangetoond dat momenteel goed geschikte leefgebieden voor zalmachtigen waarschijnlijk fors zullen krimpen (voor beekforel bedraagt het voorspelde verlies aan geschikte habitats 92% en voor vlagzalm 75%).[69] Met een voor een alpiene rivier (de Mur in het Donaugebied) ontwikkeld model werd bij een stijging van de watertemperatuur met ongeveer 1 °C bijvoorbeeld een verschuiving van de salmonidengebieden tot 27 km bronwaarts voorspeld. Uit een modelberekening voor de Duits-Franse Bovenrijn bleek een afname van de beekforel en tegelijkertijd een toename van de kopvoorn.[70] De watertemperatuur in de bovenloop van de Rhône (benedenstrooms van het Meer van Genève) is de afgelopen dertig jaar 1,5 °C warmer geworden. Dit heeft een groter effect gehad op de visfauna dan de temperatuurstijging met 3 °C in de benedenloop, die daarvoor al werd gedomineerd door thermofiele soorten. Enkele reofiele karperachtigen hebben zich teruggetrokken in hoger gelegen gebieden[71].

Migratie naar hoger gelegen gebieden is echter alleen mogelijk als de bovenstrooms gelegen wateren toegankelijk zijn en een geschikte structuur vertonen. Omdat de meeste zijrivieren van de Rijn in bergachtige gebieden sterk gefragmenteerd zijn door stuwen en stuwdammen en de voorspelde verschuiving (dan wel het wegtrekken) van visgemeenschappen naar hoger gelegen wateren daarom in veel gevallen niet of alleen beperkt mogelijk is, zouden hogere watertemperaturen de achteruitgang of lokaal zelfs de teloorgang van sommige soorten of populaties kunnen betekenen (zie tabel in bijlage 2). Er dient te worden gestreefd naar meer vrij afstromende rivieren, d.w.z. dat bestaande stuwen moeten worden ontmanteld of, als dat niet mogelijk is, dat er ten minste een ecologisch functionele passeerbaarheid moet worden hersteld. Bovendien zijn veel soorten uit de midden- en benedenloop (vlagzalm- en barbeelgebied) niet aangepast aan de hoge stroomsnelheden in bovenlopen, zodat het twijfelachtig is of ze zich daar kunnen vestigen.

[66] VANNOTE et al. 1980
[67] MARIJS et al. 2020
[68] RABITSCH et al. 2010, BASEN et al. 2022a
[69] BASEN et al. 2022a
[70] PONT 2003
[71] KHALANSKI et al. 2008

Door de vestiging van verwante soorten zullen de populaties in de zomerkoele tot licht zomerwarme midden- en benedenloop (vlagzalm- en barbeelgebied) steeds uniformer worden.[72]

Figuur 9: Mogelijke verspreiding van de beekforel in Zwitserland in 2050 volgens een model van het BAFU bij een stijging van de luchttemperatuur met 5,5°C.
In dit scenario zou het optimale leefgebied voor beekforellen met 44% krimpen ten opzichte van het huidige oppervlak (in andere scenario's bedraagt de vermindering minstens 6%), wat zou betekenen dat de beekforel zo goed als niet meer voorkomt in het Zwitserse Middenland. Blauw: riviertrajecten waarin beekforellen kunnen leven. Roze: riviertrajecten die te warm zijn voor beekforellen. Bron: NOTTER & STAUB 2009

In het Nederlandse deel van het Rijnstroomgebied wordt de **kwabaal** tegenwoordig met name in de Vechtdelta waargenomen en in de rivier de Beerze lijkt de soort stand te houden na herintroductie.[73] Deze soort is extreem gevoelig voor watertemperaturen boven de 18-20 °C. Voorheen waren in het rivierengebied diepe kommen of plassen aanwezig die koud genoeg waren voor kwabaal om te overleven. De huidige temperatuurrange van de Nederlandse rivieren is in de zomer te hoog voor kwabaal, dit is één van de redenen dat de soort vrijwel verdwenen is uit het Nederlandse Rijngebied. Andere temperatuurgevoelige soorten die in de rivier voorkomen zoals rivierdonderpad, serpeling en larven van rivierprik zullen in de zomer snel schade ondervinden als de watertemperatuur hoger wordt dan 20 °C, vooral als deze hogere temperaturen meerdere dagen achter elkaar gaan voorkomen (zie tabel in bijlage 2). Dit zal zich als gevolg van klimaatverandering steeds vaker voordoen.

1.5.5 Vismigratie

Van trekvissen kan een zeker aanpassingsvermogen aan de grotere variabiliteit van neerslag en afvoer worden verwacht, omdat ze zoals bekend gunstige afvoeromstandigheden voor de migratie benutten en in ongunstige fasen een afwachtende houding aannemen.

Door zware neerslag in kleinere stroomgebieden en door tijdelijke hogere afvoeren in rivieren van alle afmetingen kunnen de omstandigheden voor de vismigratie gedurende een korte periode lokaal beter worden. Het ''Flood Pulse Concept''[74] stelt o.a. dat de vloedpuls (of hoogwater), van de rivier naar de uiterwaarden, habitats verbindt en daardoor migratie tussen habitats mogelijk maakt.

Anderzijds kunnen te warme watertrajecten tussen de zee en de paaigebieden ware thermische barrières worden voor trekvissen (bijv. zalm, zeeforel). Migrerende soorten moeten door de grote wateren voor karperachtigen (meer bepaald de hoofdstroom van de Rijn, de Moezel en de Main) zwemmen voor ze hun koelere voortplantingswateren

[72] Uit KLIWA 2010: BUISSON & GRENOUILLET 2009
[73] Kwabaal (ravon.nl)
[74] JAARSMA et al. 2007 uit JUNK et al. 1998

bereiken (onderste zone van het forelgebied, barbeelgebied). Zoals o.a. uit transponderonderzoek in de Rijn is gebleken, staken stroomopwaarts trekkende volwassen salmoniden hun migratie bij temperaturen rond 25 °C, wat moet worden beschouwd als een teken van stress. Dit oponthoud drukt op het tijdsbudget waarover terugkerende vissen vóór het kuitschieten beschikken.[75] Hoge temperaturen, zoals in de hete zomer van 2003, toen de watertemperatuur in de Rijn gedurende een periode van ca. zes weken in juli/augustus rond of zelfs boven de 27 °C lag en in zijrivieren (bijv. de Sieg) temperaturen van bijna 28 °C werden gemeten, leiden tot een onderbreking van de migratie van volwassen salmoniden. Tot dusver waren deze pauzes slechts van korte duur. Echter, samen met antropogene invloeden (o.a. warmtelozingen) zou een verhoogde watertemperatuur in de Rijn en zijn zijrivieren in de toekomst een beperkende factor kunnen vormen voor de zalmpopulatie in de Rijn.[76] Ook voor de smoltuittrek speelt de watertemperatuur een belangrijke rol. Zo kunnen in warmer wordende opgroeiwateren, waar letale temperaturen niet worden overschreden, de groei en smoltproductie zelfs toenemen. Snellere groei en hogere temperaturen zouden echter ook kunnen leiden tot een vroegere migratie van smolts, hetgeen negatieve gevolgen zou kunnen hebben voor de overleving in de mariene fase, als het migratietijdstip en de optimale voedselbeschikbaarheid niet overeenstemmen.[77]

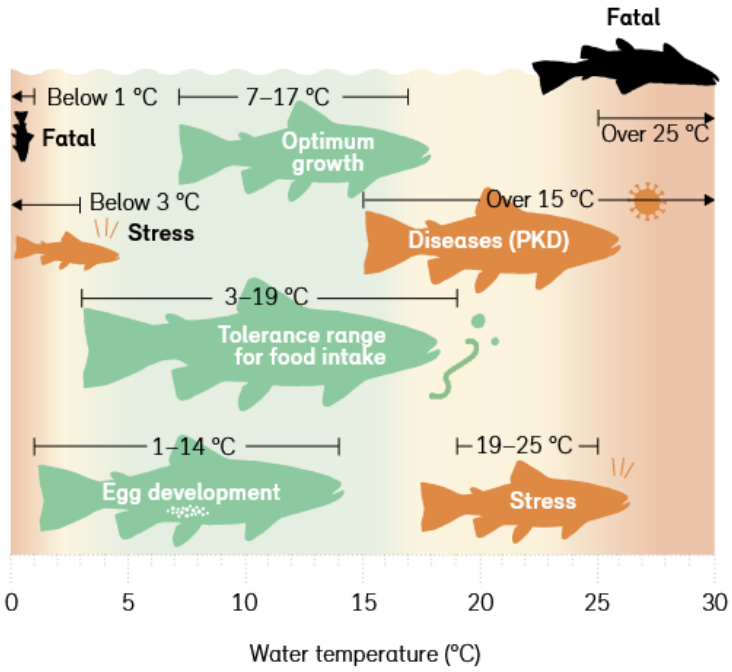
1.5.6 Ziektes

Bij hoge temperaturen onder de letale bovengrens stijgt het mortaliteitsrisico door stress en infecties[78].

Bij zalmachtigen hebben de hogere temperaturen een nadelig effect op het immuunsysteem, waardoor de vissen vatbaarder worden voor ziektes. Zo zal bijvoorbeeld de proliferatieve nierziekte (*Proliferative Kidney Disease*, PKD), die in het geval van beekforellen bij aanhoudende watertemperaturen van meer dan 15 °C vooral voor fingerlings veelal dodelijk is, als gevolg van de klimaatverandering waarschijnlijk vaker voorkomen (zie figuur 10).[79] [80]

Ook roodziekte, een bacteriële infectie bij de Europese aal, wordt door hittestress en toegenomen contact tussen de dieren in het kleinere watervolume, blijkbaar in de hand gewerkt.[81]

[75] ICBR 2009a; Breukelaar (RWS), mondelinge mededeling
[76] ICBR 2009a
[77] ICES 2017
[78] ICBR 2009a
[79] Ros et al. 2022
[80] BAFU 2021
[81] ICBR 2004, Koop et al. 2007



Figuur 10: Effecten van klimaatverandering (watertemperatuur) op de visfauna, voorbeeld van de beekforel (BAFU 2021)

1.6 Exoten

Sinds enkele decennia wordt er in de Rijn en zijn zijrivieren, geholpen door de scheepvaart en antropogene gebruiksfuncties, een aanzienlijke en zeer dynamische verandering in de levensgemeenschappen waargenomen als gevolg van immigrerende exoten, waardoor biologische interacties effecten van de klimaatverandering gedeeltelijk maskeren.

Klimaatverandering is vaak niet de belangrijkste factor bij de verspreiding en immigratie van nieuwe soorten, maar kan voor sommige soorten wel de vestiging faciliteren en de abundantie van exoten sterk beïnvloeden.[82]

Veel exoten zijn ubiquisten en bijgevolg tolerant voor hogere temperaturen, eutrofiëring en verzilting, en zij profiteren op die manier indirect van de klimaatverandering. Doordat ze vaak een hogere reproductiesnelheid hebben en/of agressiever territoriaal zijn[83], hebben ze een veelal een concurrentievoordeel ten opzichte van inheemse soorten.

De toename en verspreiding van de meeste warmteminnende exoten wordt begunstigd door zachte winters en belemmerd door strenge winters met aanhoudend koude watertemperaturen (bijv. onder 5 °C bij quaggamosselen[84] of onder 10 °C bij regenboogforellen[85]).

1.6.1 Macrofyten

Het aantal exotische waterplanten en hun frequentie van voorkomen is de voorbije jaren en decennia aanzienlijk toegenomen in Europa. Veel van deze soorten (o.a. *Elodea nuttallii*) profiteren, zoals ook een deel van de inheemse waterplanten, van stijgende temperaturen en een langer groeiseizoen.
Smalle waterpest (*Elodea nuttallii*), een neofyt die sinds het midden van de vorige eeuw wordt aangetroffen in Midden-Europa en zich explosief heeft uitgebreid, is tolerant voor

[82] Stowa 2011
[83] Van Kessel et al. 2011
[84] Borcherding 1991
[85] Buwal 2002

een grote temperatuuramplitude. De plant kan groeien bij temperaturen vanaf 4 °C en stopt pas wanneer het een tijdje warmer is geweest dan 28 °C. Dat betekent dat de soort zou kunnen profiteren van de klimaatverandering als de watertemperatuur stijgt. Het massale voorkomen van *Elodea nuttallii* heeft een negatief dan wel verdringend effect op andere submerse macrofyten en ook planktonalgen.

Van hogere watertemperaturen in de winter profiteren in het bijzonder ook groenblijvende waterplanten. Zij kunnen inheemse seizoenssoorten verdringen, zoals in de Erft is vastgesteld bij de verdringing van submerse egelskop-populaties (*Sparganium emersum*) door de submerse exoot *Vallisneria spiralis.* Ook aan de Duitse Nederrijn wordt deze groenblijvende exoot al op enkele locaties, soms sinds meerdere jaren, aangetroffen. Vermoedelijk heeft de soort zich vanuit de Erft en de Moezel, allebei zijrivieren van de Rijn, verspreid. De actuele omvang van de populaties is echter niet bekend. Het eveneens groenblijvende, exotische en submerse ongelijkbladig vederkruid *Myriophyllum heterophyllum*, dat zich in kanalen in Noord-Frankrijk snel aan het uitbreiden is, is aan de Rijn vooralsnog alleen in zijrivieren gezien. Het lijkt mogelijk dat de soort zich gaat vestigen in langzaam stromende of stilstaande zones in de Rijn en aangetakte wateren.

Enkele vorstgevoelige, exotische waterplanten, zoals *Myriophyllum aquaticum* dat bij voorkeur drijvend/emers groeit en zijn wortels in het sediment heeft, profiteert bij zijn vestiging van stijgende lucht- en watertemperaturen in de winter. Veel zonnestraling, gecombineerd met warme (lucht)temperaturen en de beschikbaarheid van veel voedingsstoffen leiden bovendien tot een snelle groei van deze soorten. Soorten die geworteld zijn in het sediment en drijvend dan wel emers groeien, vestigen zich voornamelijk in het ondiepere oevergedeelte. In de zomer valt dit gebied aan de Rijn steeds vaker droog of is onderhevig aan grote waterstandsschommelingen, hetgeen voor deze groei- en levensvorm veeleer nadelig is wat de habitatomstandigheden betreft. Massale populaties van deze soorten beïnvloeden de groei van submerse macrofyten en planktonalgen door hun groeivorm en door de sterke beschaduwing van de waterkolom als gevolg van de dichte populaties. Bovendien ondergaat ook de habitat voor macrozoöbenthos en visfauna veranderingen.

Vrij drijvende soorten, zoals grote kroosvaren *Azolla filiculoides* of watersla *Pistia stratiotes*, die allebei al in het Rijnstroomgebied voorkomen, kunnen alleen in zones met weinig stroming grote populaties vormen, omdat ze anders wegdrijven. *Pistia stratiotes* komt tot dusver alleen in de Erft voor, waar de watertemperaturen in de winter abnormaal hoog zijn, zodat de soort vegetatief kan overwinteren. Ook is bewezen dat er zaden worden gevormd, die de winter overleven en daarna kiemen, maar dit is wellicht alleen een uitzondering. Vooral in de zomermaanden komen er duizenden Pistia-planten vanuit de Erft in de Rijn terecht, die daar evenwel vooralsnog geen verdere populaties konden opbouwen. In het bijzonder met de Rijn verbonden stilstaande wateren bieden echter gunstigere omstandigheden voor de vestiging van vrij drijvende exoten. Hoe meer de watertemperaturen stijgen, hoe beter de groeiomstandigheden voor deze soorten worden. In geschikte watergebieden zou de vorming van massale populaties van deze soort in de hand kunnen worden gewerkt, hetgeen door de schaduwwerking in de waterkolom uiteenlopende gevolgen zou hebben.

1.6.2 Macrozoöbenthos

De aanwezigheid van veel exotische bodemdieren wordt gekenmerkt door een grote dynamiek; zo werden de Hoogrijn en de Duits-Franse Bovenrijn bijvoorbeeld achtereenvolgens gedomineerd door verschillende invasieve soorten: eerst de uit Zuidoost-Azië stammende Aziatische korfmossel (*Corbicula fluminea*), daarna de driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*) en vervolgens de quaggamossel (*Dreissena rostriformis bugensis*).
Op dit moment komt de oorspronkelijk uit de Ponto-Kaspische regio stammende quaggamossel (*D. rostriformis bugensis*) massaal voor in de Hoogrijn en de Duits-Franse

Bovenrijn, waar deze invasieve exoot nu duizenden individuen per vierkante meter laat optekenen en een groot deel van de biomassa van de macrozoöbenthosgemeenschap uitmaakt. Ze overtreft hiermee de, eveneens exotische, zustersoort *D. polymorpha* zowel in aantal als in dichtheid.
D. polymorpha reageert tot een temperatuur van 30 °C met een toegenomen groeisnelheid, vanaf 30 °C neemt de groeisnelheid af en bij temperaturen boven 32 °C sterven de meeste driehoeksmosselen. De quaggamossel lijkt daarentegen minder tolerant te zijn voor hoge temperaturen; zo neemt de mortaliteit bij de quaggamossel al bij temperaturen van 30 °C tot 31 °C significant toe. Echter, anders dan *D. polymorpha*, die voor een succesvolle voortplanting is aangewezen op een watertemperatuur van minstens 12 °C, kan *D. rostriformis bugensis* zich zelfs bij watertemperaturen onder 5 °C voortplanten, waardoor deze soort zich vrijwel het hele jaar door reproduceert[86]. Een en ander betekent dat de quaggamossel al bij watertemperaturen onder 5 °C stabiele populaties kan opbouwen[87], terwijl *D. polymorpha* minstens 12 °C nodig heeft om tegelijkertijd mannelijke en vrouwelijke gameten af te scheiden, waardoor deze soort in wateren met een dagelijkse maximumtemperatuur van minder dan 12 °C het hele jaar geen levensvatbare populaties kan vestigen.
C. fluminea is ook gevoelig voor lage watertemperaturen, wat betekent dat haar oostwaartse verspreiding vermoedelijk beperkt is, terwijl ze benedenstrooms van warmtelozingen goed gedijt en daar veelvuldig wordt aangetroffen. Bij een dergelijke massale verspreiding kunnen Aziatische korfmosselen inheemse zoetwatermollusken verdringen. Echter, bij een maximale watertemperatuur van 30 °C daalt de levensduur van *C. fluminea* van meer dan een maand naar enkele dagen, waardoor het, zoals in 2003 in de Rijn is gezien, kan komen tot massale sterfte[88].
Over het algemeen kan worden aangenomen dat exotische soorten en genetische soortenstammen die vanuit het Ponto-Kaspische gebied via het Main-Donaukanaal naar het Rijnstroomgebied zijn gekomen en nog steeds komen, zoals bijv. de Pontokaspische vlokreeft (*Dikerogammarus villosus*), die op veel onderzoekslocaties in de Rijn de tijgervlokreeft (*Gammarus tigrinus*) al heeft vervangen, of Ponto-Kaspische stammen van de zoetwaterneriet (*Theodoxus fluviatilis*), die oorspronkelijk thuishoorde in de Rijn, dankzij hun hogere temperatuurtolerantie ten minste in de waterwegen zullen blijven gedijen. Verder wijzen actuele waarnemingen in de oeverzones van Rijntrajecten in Rijnland-Palts erop dat soorten die het harde substraat bewonen en daar biofilm afgrazen profiteren van langer aanhoudende laagwaterfases, die vaak ook gepaard gaan met lagere vrachten zwevend stof en toegenomen groeisnelheden voor de biofiolm. Hiertoe behoren bijv. de bovengenoemde stammen van de zoetwaterneriet of ook de Jenkins' waterhoren (*Potamopyrgus antipodarum*).

1.6.3 Visfauna

Momenteel zijn grondels uit de Zwarte Zee de meest voorkomende exoten onder de vissen in de Rijn. Ze zijn oorspronkelijk afkomstig uit de Ponto-Kaspische regio en ze hebben zich via het Main-Donaukanaal vanuit de Donau verspreid naar het Rijngebied. Gezien hun grote verspreiding en massale voorkomen moet er worden uitgegaan van een duidelijk effect op de inheemse visfauna en tevens van wederzijdse concurrentie.[89]

De Kesslers grondel (*Neogobio kessleri*) tolereert watertemperaturen van 25 °C tot 30 °C. Omdat de soort als roofvis ongewervelde dieren vreet, staat ze in concurrentie met inheemse vissoorten. De Kesslers grondel eet daarenboven ook visseneitjes en jonge vissen, waardoor de soort een negatieve invloed zou kunnen hebben op de programma's voor de herintroductie van de zalm en andere, waaronder meer plaatsgetrouwe, vissen.

[86] KARATAYEV & BURLAKOVA 2022
[87] BORCHERDING 1991
[88] KOOP et al. 2007
[89] BORCHERDING & GERTZEN 2016

De zwartbekgrondel (*Neogobio melanostomus*) vertoont een vergelijkbaar gedrag. Daarnaast zou ook het feit dat deze soort 's nachts foerageert inheemse vissoorten de das om kunnen doen.

De voor commercieel gebruik geïntroduceerde regenboogforel (*Oncorhynchus mykiss*) is inmiddels een vaste waarde en vergeleken met de inheemse beekforel (*Salmo trutta fario*) toleranter voor hogere watertemperaturen (10 °C tot 24 °C) en lagere zuurstofgehaltes. Daarom zou ook deze soort baat kunnen vinden bij de klimaatverandering.[90]

[90] BUWAL 2002

2. Effecten van de klimaatverandering op semiaquatische en terrestrische leefgebieden in het Rijnstroomgebied

De ecologische omstandigheden in een ecosysteem dat bestaat uit een rivier en haar uiterwaarden (structuur en functies van de biotopen en samenstelling van de levensgemeenschappen) worden direct vormgegeven door de hydrologische en morfodynamische processen (erosie, transport, sedimentatie, verplaatsing) in de rivier (hoofstroom van de Rijn, zijtakken, zijrivieren) en beïnvloed door de grondwaterdiepte[91].

Als gevolg hiervan wordt voor de levensgemeenschappen in deze gebieden veelal de inschatting gemaakt dat ze gevoelig zijn voor klimaatgerelateerde veranderingen in het afvoerregime. Daartegenover staat dat het leefgebied in de uiterwaarden wordt gekenmerkt door zeer variërende levensomstandigheden. Soorten die zich hier vestigen, moeten zijn aangepast aan grote hydrologische schommelingen en hiermee gepaard gaande veranderingen in de habitats. Daarom wordt over het algemeen aangenomen dat deze soorten beschikken over een groot aanpassingsvermogen, dat varieert langs de hydrologische gradiënt[92].

Verder worden klimaateffecten gemaskeerd door andere antropogene belastingen of de effecten versterken elkaar. De versnippering van de ecosystemen in de uiterwaarden door onder meer gebieden die in gebruik zijn voor intensieve landbouw en door woon- en werkgebieden, en de antropogene veranderingen in de waterhuishouding hebben een zeer schadelijke invloed op het natuurlijke aanpassingsvermogen van ecosystemen tegenover klimaatgerelateerde veranderingen in het afvoerregime en op de habitatdiversiteit.

Voor het volbrengen van de talrijke, belangrijke ecosysteemdiensten, zoals bijv. de regulering van het lokale klimaat, hoogwaterretentie, habitatfunctie en opslag van broeikasgassen, is de ecologische toestand van de ecosystemen en de functionaliteit van de onderliggende hydrologische processen, die worden gekenmerkt door een natuurlijk overstromingsregime, van doorslaggevend belang[93].

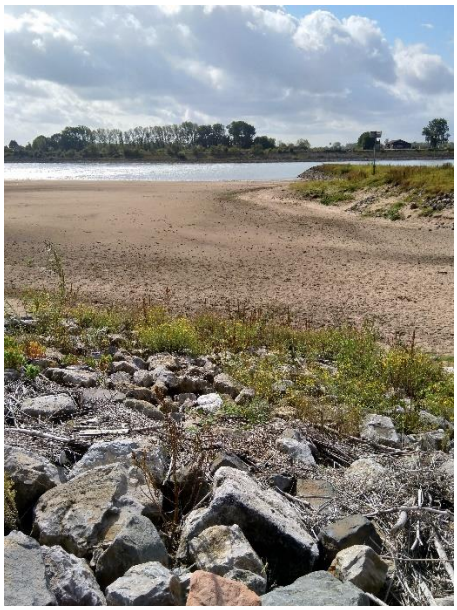
Door klimaatverandering zal de inundatiefrequentie waarschijnlijk veranderen, waarbij het areaal dat minder vaak inundeert (tot 10 dagen per jaar) zal toenemen, en het areaal dat tussen de 20 – 60 dagen per jaar inundeert zal afnemen[94]. Dit draagt bij aan de algehele verdroging van de uitwaarden, met negatieve gevolgen voor met name de nattere biotopen (ondiepe uiterwaardwateren, moeras, riet en ruigte en ooibossen op vochtige locaties).

Tijdens aanhoudende droogte in de zomer kan verdroging en verdamping in natte biotopen, zoals riet, ruigte, vochtig en nat grasland en ooibossen, leiden tot een lagere grondwaterstand. Veel soorten in semiaquatische leefgebieden zijn aangewezen op een hoog vochtgehalte in de bodem en/of een bepaalde vegetatie. Als de omstandigheden veranderen, worden ze met uitsterven bedreigd.[95] De veranderde frequentie en duur van hoogwatergebeurtenissen en hiermee gepaard gaande overstromingen verminderen de concurrentiepositie van gespecialiseerde soorten in wisselend vochtig dan wel wisselend droog grasland en ooibossen.

Een tweede effect van grootschalige verdroging is dat de humus- en veenvorming kan toenemen, wat kan leiden tot een verhoogde beschikbaarheid van voedingsstoffen en uiteindelijk eutrofiëring. Koolstofvastlegging en -opslag en denitrificatie zullen afnemen, want deze processen zijn efficiënter in vochtige en natte grond[96]. In droge biotopen daalt daarentegen de beschikbaarheid van voedingsstoffen, wat leidt tot oligotrofiëring.

[91] GRÖNITZ et al. 1994
[92] CAPON et al. 2013
[93] HEGER et al. 2021, CAPON et al. 2013
[94] DORENBOSCH et al. 2022
[95] MKUNLV 2010
[96] BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE 2021

Hiertegenover staat dat door klimaatverandering er vaker een zomerhoogwater kan optreden, zoals in juli 2021. In het algemeen zijn uiterwaardvegetaties goed bestand tegen winterinundaties, maar veel minder goed tegen inundaties in het groeiseizoen[97]. Voor dieren kan er geen generaliserende uitspraak worden gedaan; bepalende factoren zijn onder meer mobiliteit, levensduur, duur van de larvale ontwikkeling en voortplantingsstrategie.



Figuur 11: Gelderse Poort (Duits-Nederlands grensgebied). Laagwater in september 2019 (foto: Wendy Vercruijsse, Rijkswaterstaat)

Fysiologische en fenologische effecten leiden tot verschuivingen in de jaar- en de levenscyclus van planten en dieren. Veel planten bloeien bijvoorbeeld vroeger en hebben een langere vegetatieperiode, en ook het vlieggedrag van trekvogels kan veranderen. Door deze verschuivingen kunnen wisselwerkingen in de levensgemeenschap van elkaar losgekoppeld raken, bijv. het uitschieten van voedselplanten en het moment waarop dagvlinders uitkomen. Voorts veranderen de gebruiksfuncties van leefgebieden. Op grasland moet er in de toekomst rekening worden gehouden met een vroeger begin van het maai- en graasseizoen.
De genoemde processen leiden tot veranderingen in het leefgebied die verband houden met de water- en voedselbeschikbaarheid, de wisselwerkingen en concurrentieverhoudingen, en bijgevolg tot verschuivingen in het soortenspectrum, hetgeen ook kan verbonden zijn met een verlies van zeldzame soorten.

Als de milieuomstandigheden veranderen, kunnen de populaties zich hetzij aanpassen, hetzij wegtrekken, maar ook uitsterven. Naast het aanpassingsvermogen van een soort is vooral het verspreidingsvermogen bepalend. Het komt tot areaalveranderingen, waarbij submediterrane soorten zich richting noorden verspreiden.
Droge biotopen kunnen bovendien worden ingenomen door mediterrane soorten, waaronder eventueel ook neofyten, die langere droge periodes kunnen uithouden. Veel warmteminnende soorten (bijv. een aantal soorten orchideeën, vogels en vliegende insecten), die inheems zijn in het Rijnstroomgebied, maar de noordelijke rand van hun verspreidingsgebied hebben bereikt, zullen daarentegen waarschijnlijk profiteren van de stijgende temperatuur en eventueel ook verloren leefgebieden kunnen heroveren. Hierbij

[97] DORENBOSCH et al. 2022

heeft het Rijndal tussen de Duits-Franse Bovenrijn en de Rijndelta een bijzondere betekenis als migratieroute van het zuiden naar het noorden.
Soortengroepen die bijzonder getroffen worden door het uitstervingsproces zijn vooral groepen die zich slechts langzaam ontwikkelen en voortplanten, zich slechts langzaam verspreiden, over het algemeen niet zeer mobiel zijn en al kleine, geïsoleerde verspreidingsgebieden hebben. Daarnaast worden ook bijzonder gespecialiseerde soorten met een laag aanpassingsvermogen getroffen, evenals soorten met een hoge vocht- en lage warmtebehoefte en een lage tolerantie voor veranderingen in vocht en warmte.

In het kader van het onderzoeksproject KLIWAS is onder andere onderzocht in hoeverre leefgebieden van uiterwaardplanten zouden kunnen worden veranderd of aangetast door klimaatverandering. Hiervoor zijn er voor een reeks typische plantensoorten in uiterwaarden habitatmodellen ontwikkeld aan de hand van hydrologische projectiegegevens; bijzondere aandacht ging naar uiterwaardhabitats langs de Rijn[98].
De resultaten van de habitatmodellering laten zien dat veranderde rivierpeilen en de variabiliteit daarin de samenstelling van de plantensoorten in de uiterwaarden beïnvloedt en dat kleinschalige verspreidingspatronen zich gaan veranderen. Afzonderlijke soorten en soortengemeenschappen zullen verschillend reageren op veranderde milieuomstandigheden, zodat een eenvoudige verschuiving van alle habitats overeenkomstig de veranderde waterpeilen niet wordt verwacht. De toekomstige geschiktheid van een habitat voor de soorten die er tot dusver voorkomen hangt onder meer af van specifieke ruimtelijke factoren.
Bedreigd zijn volgens de habitatmodellering in het KLIWAS-project vooral leefgebieden op laaggelegen locaties in de uiterwaarden (rietlanden, zeggenverbonden, periodiek onderlopend grasland, pioniervegetatie) die nu al een kleine omvang hebben.

De beschikbaarheid van geschikte habitatstructuren en de bereikbaarheid ervan voor de soorten in kwestie zullen in de toekomst van doorslaggevend belang zijn. Zijn er geomorfologisch heterogene structuren aanwezig, zoals bijv. strangen, hoogwatergeulen of kommen, die ook bij de toekomstig veranderde waterstanden en afvoergebeurtenissen als habitat kunnen fungeren? De auteurs van de KLIWAS-studie komen tot de slotsom dat elk riviertraject op kleine schaal moet worden bekeken om te kunnen inschatten of bepaalde vegetatietypes er in de toekomst kunnen voorkomen.

In een andere studie in het kader van het KLIWAS-project is de vegetatieontwikkeling in graslanden in de actieve uiterwaarden aan de middenloop van de Elbe geanalyseerd op basis van een gegevensreeks op lange termijn (veertien jaar). In de drie onderzochte graslandtypes (hoogwatergeulen, nat en nieuw grasland) was er sprake van duidelijke verliezen, maar ook herkolonisatietrends van bepaalde soorten na extreme hydrologische gebeurtenissen. Deze veranderingen waren vooral zichtbaar in de natte en droge randgebieden van de hydrologische gradiënt, in de hoogwatergeulen en in het nieuwe grasland in de uiterwaarden. De gegevens wijzen erop dat de soortengemeenschap in de onderzochte uiterwaardgraslanden aan de Elbe maar een paar jaar nodig had om verstoringen door extreme hydrologische gebeurtenissen te boven te komen. De vraag blijft echter hoe vaak en in welke volgorde extreme gebeurtenissen maximaal mogen voorkomen, opdat het systeem kan terugkeren naar de uitgangstoestand. Ook is onduidelijk in hoeverre de resultaten kunnen worden toegepast op andere riviersystemen en regio's zoals de Rijn.

[98] MOSNER EN HORCHLER 2014

3. Mogelijke handelingsperspectieven voor de mitigatie van negatieve effecten van de klimaatverandering op het ecosysteem van de Rijn

Het ICBR-programma Rijn 2040[99], dat in 2020 is vastgesteld tijdens de zestiende Rijnministersconferentie van de ICBR is gericht op een duurzaam beheerd Rijnstroomgebied, met waardevolle levensaders voor mens en natuur, dat bestand is tegen de gevolgen van de klimaatverandering. Het programma biedt uitdagingen als gevolg van de klimaatverandering, zoals extremere laag- en hoogwaterperiodes en hogere water- en luchttemperaturen, op vier verschillende actieterreinen het hoofd: de doelen van het programma zijn (1) een gezond ecosysteem Rijn, dat over een grote soortendiversiteit beschikt en voor dieren passeerbaar is (''verbonden leefgebieden - meer biodiversiteit''), (2) een goede waterkwaliteit, (3) het verminderen van overstromingsrisico's en (4) het mitigeren van de negatieve gevolgen van laagwater. In dit verband ondersteunt het programma het bereiken van de goede chemische en ecologische toestand resp. het goede ecologische potentieel in overeenstemming met de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) en daarnaast richt het zich op het verminderen van overstromingsrisico's in overeenstemming met de doelstelling van de Europese Richtlijn over Overstromingsrisico's (ROR).

De ecologische, morfologische en chemische kwaliteitsdoelstellingen van de KRW lijken geschikt om de veerkracht van wateren tegenover veranderde klimaatomstandigheden te verhogen.

Volgens bepaalde schattingen lopen rivieren waarvan de toestand nu tussen het gestelde doel en ''matig'' ligt als gevolg van de voor 2050 verwachte effecten van de klimaatverandering een verhoogd risico om de “goede toestand” niet te halen. Voor waterlichamen die volgens de huidige criteria in een ''goede toestand'' verkeren, wordt dit risico lager ingeschat. De verwachting is dat hoe lager de organische en trofische belasting van een waterlichaam (oppervlaktewater, grondwater) en hoe kleiner de morfologische verstoring van oppervlaktewaterlichamen is, hoe kleiner de effecten van een te verwachten temperatuurstijging op de kwaliteit van water en rivieren zullen zijn[100].

Daarom moeten deze negatieve invloeden worden geminimaliseerd, teneinde de kwetsbaarheid van soorten, levensgemeenschappen en ecosystemen aan de Rijn te verlagen van ''hoog'' naar ''matig''.

De in het onderhavige document beschreven handelingsperspectieven zijn grotendeels gebaseerd op de reeds beschikbare nationale adaptatiestrategieën en internationale rapporten over klimaatverandering. In bijlage 3 is hiervoor een overzichtstabel opgenomen.

[99] ICBR 2020b

[100] ''Middelharde'' dan wel ''harde'' stelling uit BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT Österreich 2010

Bevindingen van de ICBR-workshop over klimaatadaptatie op 19 en 20 maart 2025 in verband met het onderwerp ecologie

Sinds de publicatie van de eerste ICBR-klimaatadaptatiestrategie in 2015 doen zich in het Rijnstroomgebied steeds vaker extreme gebeurtenissen voor, zoals laagwater en zware neerslag. Stijgende watertemperaturen in de Rijn en veranderingen in het afvoerregime onderstrepen de noodzaak om de strategie te actualiseren.

Het vergroten van de veerkracht van watergerelateerde ecosystemen is van essentieel belang om de effecten van klimaatverandering te mitigeren. Daartoe moeten waardevolle leefgebieden in en rond het water behouden en hersteld worden. Een verbeterde waterhuishouding in de omgeving, waarbij water zoveel mogelijk in het stroomgebied wordt vastgehouden, en de implementatie van andere op de natuur gebaseerde oplossingen zijn belangrijke bijdragen. Het in een vroeg stadium betrekken van andere sectoren en rekening houden met de gebruiksfuncties bij het plannen van maatregelen zijn daarbij onmisbaar en kunnen potentiële belangenconflicten tegengaan.

Deze en andere resultaten van de workshop zullen worden meegenomen bij actualisering van de klimaatadaptatiestrategie van de ICBR.

3.1 Versteviging van ecosystemen door bescherming en aaneenschakeling van leefgebieden

De klimaatverandering kan veranderingen teweegbrengen in de omvang van ecosystemen en de hierin voorkomende soorten. Precies daarom blijft de bescherming van leefgebieden bijzonder belangrijk. Van het behoud en de vergroting van bestaande beschermde gebieden, de aanwijzing van nieuwe beschermde gebieden en de verbetering van leefgebieden zullen zowel soorten profiteren die nu al bedreigd zijn als soorten die als gevolg van de klimaatverandering bedreigd zouden kunnen raken.

In beschermde en gesloten gebieden zou de bescherming flexibel moeten worden georganiseerd en kunnen worden aangepast aan nieuwe omstandigheden.[101] Gelet op het uitsterven van bepaalde soorten of de achteruitgang van soorten die tot dusver niet waren bedreigd, zou het mogelijk moeten zijn om bijv. catalogi van doelsoorten aan te passen. De referentietoestand (o.a. soortengemeenschap) zou eventueel moeten worden herzien. Verder moet de connectiviteit tussen beschermde en gesloten gebieden worden verbeterd om klimaatgerelateerde uitwijk- en migratiebewegingen mogelijk te maken. Daarbij moet er ook rekening worden gehouden met de eisen van aquatische soorten die normaal gesproken geen of amper behoefte hebben om te migreren, zoals bijv. de donderpad. Als soorten niet de mogelijkheid hebben om hun klimaatniche zelfstandig te volgen, moet er in bepaalde gevallen ook worden nagedacht over zogenaamde ''assisted migration'', d.w.z. het gericht onderbrengen van dieren in klimaatrefugia of andere beschermde gebieden die in de nieuwe klimaatsituatie beter geschikt zijn.

Uitheemse, in het bijzonder invasieve soorten, (neozoa en neofyten) zouden moeten worden geobserveerd en onderzocht (zie hoofdstuk 1.6). In het zoetwaterleefgebied kunnen stijgende temperaturen een rol spelen in de omvang van het verspreidingsgebied of de populatiegrootte van invasieve soorten die een negatieve invloed hebben op inheemse soorten. Echter, zeker in de scheepvaartwegen zijn preventie en controle gebonden aan nauwe grenzen.[102]

In het licht van veranderende milieuomstandigheden wordt de bescherming van natuurlijke processen steeds belangrijker. Hieronder vallen het toelaten van de natuurlijke successie en verjonging en de mogelijke vrije migratie van soorten (zie hieronder).

[101] BASEN ET AL. 2022b
[102] WIESNER et al. 2010, LUWG 2011

Een divers mozaïek van leefgebieden bevordert zoals bekend de biodiversiteit. Voorbeelden voor de Rijn en zijn zijrivieren zijn:

- vrij afstromende trajecten, vooral met paaigronden voor rheofiele vissoorten;
- natuurlijk heringerichte oevers;
- aan de hoofdstroom aangetakte strangen, nevengeulen en andere nevenwateren;
- brakwaterzones (seminatuurlijke overgang van zoet naar zout water)

en alle leefgebieden ter vervanging van biotopen die als gevolg van waterbouwkundige maatregelen zijn verdwenen uit het stroombed, evenals hun kwalitatieve verbetering.

Uiterwaarden en uiterwaardwateren zouden zo mogelijk weer moeten worden verbonden met de rivier. Uiterwaarden zouden extensief moeten worden gebruikt als grasland of bos en niet als akkerland. Dit zijn voorbeelden van win-winmaatregelen die niet alleen de biodiversiteit, het biotoopnetwerk en de goede toestand van de wateren bevorderen, maar ook een dubbele bijdrage leveren aan de bescherming tegen overstromingen: door de retentie van hoogwater in het stroomgebied en door hun preventieve effect als gevolg van de vermindering van het schadepotentieel en de risico's in overstromingsgebieden.

Waar mogelijk zouden rivieren hun natuurlijke dynamiek weer moeten kunnen ontwikkelen[103].

Voorbeelden van programma's rond dit onderwerp in het Rijnstroomgebied zijn:

- "Rivieren revitaliseren" (*Flussrevitalisierungen*) in Zwitserland[104]
- "Groene en blauwe basisstructuur" (*Trame verte et bleue*) in Frankrijk[105]
- Duits programma "Blauw lint" (*Blaues Band*)[106]
- "Geïntegreerd Rijnprogramma" (*Integriertes Rheinprogramm*) in de Duitse deelstaat Baden-Württemberg[107]
- "Actie blauw" / "Actie blauw plus" (*Aktion Blau / Aktion Blau Plus*) in de Duitse deelstaat Rijnland-Palts[108]
- "Vitale wateren" (*Lebendige Gewässer*) in de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen[109]
- "Ruimte voor de rivier" in Nederland[110]
- "De Rijn Verbindt" in Nederland en Noordrijn-Westfalen[111]
- Masterplan trekvissen Rijn van de ICBR in het gehele Rijnstroomgebied[112]
- Maatregelen in het kader van de implementatie van de Europese Kaderrichtlijn Water.

Er zouden potentiële klimaatrefugia kunnen worden geïdentificeerd en verbonden met actuele arealen van bedreigde vissoorten.[113]

---

[103] PARTENARIAT FÜR UMWELT UND KLIMA 2011, Luxemburg; MAKASKE & MAAS 2013
[104] Zie SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT 2020, BAFU et.al., 2020
[105] Zie https://www.ecologie.gouv.fr/trame-verte-et-bleue
[106] Zie https://www.blaues-band.bund.de/Projektseiten/Blaues_Band/DE/00_Home/home_node.html
[107] Zie https://rp.baden-wuerttemberg.de/themen/wasser/irp/
[108] Zie https://lfu.rlp.de/service/publikationen/umweltschutz/publikationen-wasser/fliessgewaesser/gewaesserentwicklung-/-aktion-blau-plus
[109] Zie https://www.umwelt.nrw.de/umwelt/umwelt-und-wasser/gewaesser/programm-lebendige-gewaesser/
[110] Zie https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/maatregelen-om-overstromingen-te-voorkomen/ruimte-voor-de-rivieren
[111] https://www.derijnverbindt.nl/
[112] Zie ICBR 2018
[113] FREYHOF 2009 in RABITSCH et al. 2010

Dankzij het aaneenschakelen van biotopen kunnen soorten waarvan het leefgebied bijv. als gevolg van temperatuurstijging naar het noorden of naar de bergen verschuift migreren naar gebieden met een gunstiger klimaat.

De realisatie van het "Biotoopnetwerk Rijn"[114], waarin de bovenvermelde aspecten nauwkeurig worden beschreven voor de hoofdstroom en de uiterwaarden van de Rijn, speelt dus ook met het oog op de mitigatie van de gevolgen van de klimaatverandering een steeds belangrijkere rol. Het ICBR-programma Rijn 2040[115] dat is vastgesteld tijdens de zestiende Rijnministersconferentie in 2020 heeft ten doel om voor 2040 de voor de Rijn kenmerkende habitats te behouden, te beschermen en te herstellen. Het biotoopnetwerk Rijn moet aanzienlijk worden verbeterd door de uitbreiding van kerngebieden en het aaneenschakelen van geschikte stapsteenbiotopen van voldoende omvang. De digitale atlas[116] van het biotoopnetwerk Rijn geeft - naast de resultaten van de kartering van de biotooptypen in 2020 - ook maatregelen weer en de projectbeschrijving ervan. Daarnaast worden prioritaire zones en knelpuntgebieden afgebeeld die van belang zijn of gevolgen hebben voor het biotoopnetwerk, evenals praktische aanbevelingen per groep van biotooptypen. De biotoopatlas kan worden beschouwd als een aanvullend instrument voor een gebiedsbrede planning.

Een heterogener rivierlandschap met een hoge mate van connectiviteit maakt het riviersysteem in zijn algemeenheid robuuster tegen klimaatverandering. Meerdere habitats bij elkaar, mogelijk ook met een verbinding met voormalige uiterwaarden, geeft soorten de ruimte om te kiezen tussen habitats bij verschillende omstandigheden. Soorten kunnen makkelijker migreren, schuilen en herkoloniseren.

3.2 Mitigatie van de effecten van verhoogde watertemperaturen

Als zijwateren zijn verbonden met de hoofdstroom kunnen vissen en andere waterorganismen uit de Rijn koelere (bijv. lommerrijke) zijtakken en -rivieren gebruiken als lokaal refugium. Dankzij natuurlijke herstelmaatregelen kan er bovendien uitwisseling plaatsvinden tussen rivierwater en grondwater. Morfologische processen, zoals de vorming van banken en uitschuringen, de afzetting van bodemmateriaal en de verandering van het verval in de loop van de rivier, spelen daarbij een belangrijke rol. De omvang van deze processen hangt enerzijds af van de afmetingen van de rivier (lengte en breedte) en anderzijds van de overkoepelende, geografische randvoorwaarden.[117]

Bij hoge watertemperaturen vormt koud grondwater dat opwelt ook een toevluchtsoord voor vissen. De grondwaterspiegels dalen echter en de kweluittreding neemt op veel plaatsen langs de rivier af, zowel in kwaliteit als kwantiteit. Langs de oevers van kleine en middelgrote zijwateren zou er struikgewas geplant of zelfstandige begroeiing toegelaten moeten worden om de stijging van de watertemperatuur te beperken door schaduwwerking. In het kader van een studie van het samenwerkingsproject KLIWA zijn er met behulp van waterhuishoudingsmodellen significante koeleffecten berekend. In veel wateren zou een verlaging van de maximale zomertemperatuur van meer dan 2 °C en in sommige gebieden zelfs meer dan 5 °C kunnen worden bereikt [118].

Voor grote delen van de hoofdstroom en de grote zijrivieren van de Rijn heeft deze maatregel als gevolg van de breedte van het water weinig effect, maar voor de nevenwateren in de uiterwaarden kan het wel degelijk relevant zijn. Ook het aanbrengen van dood hout zorgt voor beschaduwing onder water.

Diepe zand- en kleiwinputten in rivieruiterwaarden kunnen dienen als thermorefugium. Diepe (aangetakte) plassen zijn vanwege hun grote diepte doorgaans gestratificeerd

[114] ICBR 2006, ICBR 2022
[115] ICBR 2020b
[116] https://geoportal.bafg.de/karten/iksr_biotopatlas_2020/
[117] HUNZINGER 2004
[118] KLIWA 2023

waardoor de diepe waterlagen in de zomer koud zijn. Deze plassen kunnen als thermorefugium voor temperatuurgevoelige vissen worden gebruikt, bijv. door ze natuurvriendelijk in te richten en/of aan te takken aan de rivier. Ook bij plannen voor het verondiepen van uiterwaardplassen zou rekening gehouden moeten worden met de eventuele functie van een diepe plas als thermorefugium.[119]

Ook kunnen zijwateren in het rivierengebied nog beter benut worden als klimaatmitigatie. Een optimale connectiviteit (optrekbaarheid) vergroot de kans dat koude beken als temperatuurrefugium gebruikt kunnen worden door temperatuurgevoelige vissen. Beken kunnen ook als schuilplaats gebruikt worden bij plotselinge zomerhoogwaters. Veel beekmondingen zijn nu nog suboptimaal verbonden met de rivier.

Naast langetermijnmaatregelen die een stijging van de watertemperatuur tegengaan, zoals het herstel van de longitudinale aaneenschakeling en de verbinding van zijwateren of beschaduwing door bebossing van de oevers, kunnen in het kader van een noodplan ook kortetermijnmaatregelen worden genomen om de gevolgen te verzachten van watertemperaturen die de tolerantiegrens van gevoelige vissen in toenemende mate overschrijden.[120] In dit verband kan de ontwikkeling van een alarmplan een belangrijk instrument zijn om de aquatische ecologie te beschermen.[121] Zo werden er tijdens het laagwater van 2022 in overeenstemming met het ''Alarmplan Main Waterecologie'' tijdelijk preventieve maatregelen genomen om de zuurstofhuishouding te stabiliseren (turbinebeluchting, overlaat over stuwen).[122] Andere noodmaatregelen op korte termijn gaan van het creëren van kunstmatige koudwaterzones door middel van uitbaggeren met extra beschaduwing tot kunstmatige afdekkingen en het wegvissen van dieren in nood.[123] Aanvullende, onmiddellijke maatregelen kunnen zijn: het per direct staken van alle warmtelozingen en het reduceren of stoppen van alle niet-noodzakelijke wateronttrekkingen. Wat ze allemaal gemeen hebben, is het doel om de vissen te beschermen tegen acute hittestress en zo hun overlevingskansen op korte termijn te verbeteren. Ze komen echter niet in plaats van de langetermijnmaatregelen, die een duurzame bijdrage kunnen leveren aan de instandhouding van een gevarieerde visgemeenschap in rivieren ondanks de klimaatverandering. Op basis van de ervaringen tijdens de hete zomer van 2003 heeft het kanton Schaffhausen in Zwitserland een noodplan voor de vissen in de Rijn ontwikkeld, dat sindsdien in hete zomers - zoals in 2015, 2018 en 2022 - wordt geactiveerd. De onmiddellijke maatregelen die in het plan zijn vastgelegd dragen bij aan de mitigatie van de negatieve effecten van hoge watertemperaturen, maar kunnen deze effecten niet geheel opheffen: Ook in de hete zomers van 2015, 2018 en 2022 zijn er in de Rijn en ook in andere rivieren in Zwitserland vissen bezweken, maar wel minder dan in 2003.[124]

Een extra, antropogene stijging van de watertemperatuur door warmtelozingen zou tot een minimum beperkt dan wel bij laagwater verboden moeten worden, en mag het bereiken van de goede ecologische toestand of het goede ecologische potentieel niet in de weg staan. De landen hebben de eisen aan de maximumtemperatuur en de temperatuurstijging voor de zeer goede en de goede ecologische toestand dan wel het goede ecologische potentieel voor verschillende vislevensgemeenschappen, watertypes en periodes gedefinieerd in nationale verordeningen of wetgeving (bijv. in Duitsland in de Duitse Verordening inzake de bescherming van oppervlaktewater (OGewV 2016, zie hoofdstuk 1.5)). Als gevolg van waterrechtelijke restricties daalt de hoeveelheid warmte die mag worden geloosd naarmate de watertemperatuur stijgt; afhankelijk van de rivier

[119] VERSTIJNEN et al. 2022
[120] AQUAPLUS 2022
[121] Alarmplan Donau en Alarmplan Main
[122] ICBR 2024b
[123] BAFU 2016, BAFU et al. 2019
[124] BAFU 2016, BAFU et al. 2019

en de levensgemeenschappen die daarin voorkomen mag er vanaf 21,5 °C - 28 °C doorgaans geen extra warmte meer worden geloosd[125].

Met vernieuwende sturingsinstrumenten kan ertoe worden bijgedragen dat seizoensgebonden richtwaarden gegarandeerd worden nageleefd met een ecologisch optimaal effect en een zo klein mogelijk economisch verlies. Als een richtwaarde dreigt te worden overschreden, kunnen warmtekrachtcentrales hun productie terugschroeven of kunnen er andere maatregelen worden genomen om de warmtelozing te reduceren.[126] In hete periodes zou de informatie-uitwisseling over getroffen maatregelen ter vermindering van warmtelozingen en de internationale netwerkvorming tussen de actoren moeten worden verbeterd.

In het kader van de kentering in het Duitse energiebeleid zijn er enkele energiecentrales die warmte loosden op de Rijn en zijn zijrivieren, zoals bijv. de Neckar, stilgelegd, hetgeen heeft geleid tot een meetbare afname van de gemiddelde temperatuurstijging.[127] Dit toont aan dat dit ook in hete laagwaterperiodes een effectieve maatregel zou zijn.

Bij uitzetmaatregelen met vissen zou moeten worden gecontroleerd of het geselecteerde riviertraject op het moment van de uitzet en ook in de toekomst qua temperatuur geschikt is voor de gewenste soort, ook als de soort er vroeger algemeen voorkwam.[128]

3.3 Mitigatie van de effecten van laagwater

Verhoogde watertemperaturen en het risico op zuurstoftekorten komen vaak voor in combinatie met laagwater, zodat veel van de in hoofdstuk 3.2 genoemde maatregelen ook helpen om de veerkracht bij laagwater te vergroten.

Met name de aaneenschakeling van habitats en het weer aantakken van uiterwaarden en zijwateren spelen een sleutelrol bij het minimaliseren van het verlies van aquatische habitats door de uitdroging van zijarmen en oevergebieden en bij het creëren van de mogelijkheid voor organismen om alternatieve habitats te bereiken.

Andere langetermijnmaatregelen die de effecten van laagwater tegengaan, zijn het natuurlijk herstellen van oevers of het verwijderen van kunstmatige oeververdedigingen en het beperken van de insnijding van de rivierbodem door het gericht verwijderen of aanleggen van grind- en zandafzettingen om de stroming te sturen of het aanleggen van langsdammen.

Het ICBR-programma Rijn 2040 heeft tot doel om de gevolgen van laagwater en droogte in het Rijnstroomgebied voor 2040 te verminderen. Dit vraagt om verbetering van de laagwatermonitoring, analyse van de waterbeschikbaarheid tot 2050 en ontwikkeling van grensoverschrijdende oplossingen.

Sinds 2018 voert de ICBR in samenwerking met de BfG laagwatermonitoring uit aan de Rijn en in het Rijnstroomgebied (https://undine.bafg.de/rhein/zustand-aktuell/rhein_nw_mon_nl.html)[129]. Naast afvoergegevens kan op deze website ook informatie over watertemperaturen en zuurstofgehaltes voor verschillende meetpunten aan de Rijn en enkele zijrivieren worden opgevraagd.

De effecten van de laagwatergebeurtenissen in 2018 en 2022 en de kortetermijnmaatregelen die de landen in reactie daarop hebben genomen, zijn

[125] ICBR 2021
[126] HOFFMANN et al. 2011
[127] ICBR 2009b
[128] FIBER-nieuwsbrief 03/2010, https://www.fischereiberatung.ch/fileadmin/sites/fiber/angebot/fiber_publ/newsletter/archiv/2010-03-d.pdf
[129] ICBR 2019

vastgelegd in twee ICBR-rapporten.[130] Als gevolg van de droge en hete zomer van 2022 nam het waterverbruik duidelijk toe, werd het onttrekken van water (o.a. voor landbouwdoeleinden) op veel plekken verboden en werd (publiek, landbouw, industrie) ertoe opgeroepen om zuinig te zijn met water. De restricties in het watergebruik concentreerden zich over het algemeen op de inname van water uit kleinere en middelgrote rivieren en lokale grondwatervoorraden.

Volgens de zalmstudie voor de Rijn die in 2023 in opdracht van de ICBR is uitgevoerd, neemt de vissterfte bij lage afvoeren toe, met name als gevolg van de toegenomen temperatuurstijging en de verergering van de effecten van de scheepvaart bij laagwater (botsing met scheepsschroeven).

Lage afvoeren en stijgende temperaturen zullen de omstandigheden voor de stroomopwaartse migratie, voortplanting en groei van vissen in de rivier en haar zijrivieren in toenemende mate beïnvloeden.

Om de effecten van laagwater op het biologische leven, en in het bijzonder op de visfauna, te verzachten, zouden laagwaterondersteuning en/of de aanpassing van de scheepvaart (beperking van het gewicht van containerschepen, vorm van schepen, regulering van het aantal schepen in kritieke perioden) doeltreffende maatregelen kunnen zijn. Het reguleren of ondersteunen van laagwaterstanden zou ook een positief effect kunnen hebben op het beperken van de temperatuurstijging, het verbeteren van het zuurstofgehalte van het milieu en het waarborgen van de functionaliteit van habitats en natuurlijke herstelmaatregelen die bevorderlijk zijn voor de vluchtplaatsen en veerkrachtgebieden in de rivier.

3.4 Mitigatie van bodemerosie en sedimentaanvoer als gevolg van zware neerslag en hoogwater

De toevoer van fijn materiaal, bijv. bij zware neerslag of hoogwater, kan ertoe leiden dat de ruimtes tussen de zandkorrels en het slib in het grindbed op de waterbodem verstopt raken (dichtslibben), zodat deze habitats niet meer kunnen worden gebruikt om er te paaien (zie hoofdstuk 1.5.1). Om dit proces tegen te gaan, moeten er eerst maatregelen worden genomen aan de bron en in de alluviale zone voordat er maatregelen worden uitgevoerd in de rivier.

Door de renaturering van oevers en extensief agrarisch gebruik van de oeverzone, bijv. door de voorkeur te geven aan grasland (blijvend gras- en weiland) boven akkerland, kunnen bodemerosie en sedimentaanvoer worden beperkt, vooral bij zware neerslag of hoogwater (zie hoofdstuk 1.5.1).

Ook kan de natuurlijke stromingsdynamiek worden gereactiveerd door stoorobjecten aan te brengen, zoals rivierhout. Het reduceren van verharde oppervlakken[131] en maatregelen ter verbetering van de waterhuishouding van de omgeving die bevorderlijk zijn voor gebiedsdekkende infiltratie kunnen hiertoe ook een belangrijke bijdrage leveren en zijn daarenboven preventieve maatregelen tegen overstromingen (*win-win*).

Het beperken van het insnijden van de rivierbodem mitigeert het effect van lage waterstanden. Rivieroevers, strangen, geulen en lager gelegen uiterwaarden kunnen langer verbonden blijven met de rivier door maatregelen zoals het gericht verwijderen of juist het aanleggen van grind- en zandafzettingen om de stroming te sturen, de bouw van langsdammen of het verondiepen van de rivierbodem. Ook door de oevers van kunstmatige bekleding te ontdoen kan meer erosie van de oevers optreden, dat op de riverbodem kan sedimenteren. Belangrijk punt is dat dit ook toegestaan wordt vanuit de scheepvaartfunctie (benodigde vaardiepte).

[130] ICBR 2020a en ICBR 2024b
[131] PARTENARIAT FÜR UMWELT UND KLIMA 2011, Luxemburg

Om verdroging tegen te gaan en het water langer vast te houden, moeten de overstromingsgebieden hersteld worden. Deze overstromingsgebieden moeten klimaatrobuust worden ingericht, bijvoorbeeld diep genoeg om ook bij toekomstig te verwachten waterhoogtes zo lang met water bedekt te zijn dat belangrijke ecologische functies, zoals de voortplanting van vissen, gegarandeerd blijven.

Bibliografie

- ABDOLI A., PONT D. and SAGNES P. (2005): Influence of female age, body size and environmental conditions on annuel egg production of the bullhead. Journal of EG FISH Biology (2005) 67, 1327-1341.
- ABDOLI A., PONT D. and SAGNES P. (2007): Intrabasin variations in age and growth of bullhead: the effects of temperature. Journal of EG FISH Biology (2007) 70, 1224-1238.
- AKADEMIEN DER WISSENSCHAFTEN SCHWEIZ (2016): Brennpunkt Klima Schweiz. Grundlagen, Folgen und Perspektiven. Swiss Academies Reports 11(5), Bern: 218 p.
- AQUAPLUS (2022): Fischschutzmaßnahmen bei Hitzeereignissen. Arbeitshilfe. Pilotprojekt F.13 im Rahmen des Pilotprogrammes zur Anpassung an den Klimawandel. https://aquaplusblog.files.wordpress.com/2023/03/aquaplus_fischschutzmassnahmen_bei_hitzeereignissen_arbeitshilfe_2022.pdf.
- BAFU (2006): Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Aktionsplan 2020–2025. Bundesamt für Umwelt, Bern. 164 p.
- BAFU (2012): Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesebericht zum Projekt „Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz" (CCHydro). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1217: 76 p.
- BAFU (2016): Hitze und Trockenheit im Sommer 2015. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1629: 108 p.
- BAFU (2019): Hitze und Trockenheit im Sommer 2018. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1909: 91 p.
- BAFU (2020): Klimawandel in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 2013: 105 p.
- BAFU (2021): Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer. Hydrologie, Gewässerökologie und Wasserwirtschaft. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 2101: 134 p.
- BAL, G. (2011): Évolution des populations françaises de saumon atlantique (Salmo salar L.) et changement climatique. Dissertation. 352 p. http://guillaume-bal.fr/images/bal_phd_thesis.pdf.
- BAGLINIÈRE J.L., DENAIS L., RIVOT E., PORCHER J.P., PRÉVOST E., MARCHAND F., VAUCLIN V. (2004): Length and age structure modifications of the Atlantic salmon (Salmo salar) populations of Brittany and Lower Normandy from 1972 to 2002. Technical Report, INRA-CSP, 24 p.
- BASEN, T., ROS, A., CHUCHOLL, C., OEXLE, S., BRINKER, A. (2022a): Who will be where: Climate driven redistribution of fish habitat in southern Germany. PLOS Clim 1(5): e0000006.
- BASEN, T., CHUCHOLL, C., OEXLE, S., ROS, A., BRINKER, A. (2022b) Suitability of Natura 2000 sites for threatened freshwater species under projected climate change. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 32(12): 1872–1887, doi: 10.1002/aqc.3899
- BEHRENS M., FARTMANN T., HÖLZEL N., BERNDT A., BUNZEL-DRÜKE M., CONZE K. J., WEDDELING K. (2009): Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Biologische Vielfalt: Pilotstudie zu den voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Tier- und Pflanzenarten in Nordrhein-Westfalen. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW).

- BORCHERDING, J. (1991): The annual reproductive cycle of the freshwater mussel *Dreissena polymorpha* Pallas in lakes. Oecologia 87, S. 208-218.
- BORCHERDING, J., GERTZEN, S. (2016): Die aktuelle Fischbestandsdynamik am Rhein uner besonderer Berücksichtigung invasiver Grundeln. Monitoring und adaptives Management für eine nachhaltige Fischerei und Verbesserung des ökologischen Potenzials am Rhein. Fischereiverband Nordrhein-Westfalen e.V..
- BREVÉ N. W. P., VERSPUI R., DE LAAK G. A. J., BENDALL B., BREUKELAAR A. W., SPIERTS I. L. Y. (2014): Explicit site fidelity of European catfish (*Silurus glanis*, L., 1758) to man-made habitat in the River Meuse, Netherlands. Journal of applied Ichthyology, Volume 30, Issue 3.
- BRILS, J., DE BOER, E., DE BOER, P., SCHIELEN, R., VAN DER SPEK, A., BLOM, A., HAMILTON, M., STERK, M., SMEEDES, R., PEERDEMAN, R., FRINGS, R., LASEROMS, R., VELLINGA, R., HUISMANS, Y., WIEGGERS, J. (2017): Sediment uit balans. Deltares. 14 maart 2017.
- BRODERSEN, J., RODRIGUEZ-GILL, J.L., JÖNSSON, M., HANSSON, L.A., BRÖMARK, C., NILSON, P.A., NICOLLE, A., BERGLUND O. (2011): Temperature and resource availability may interactively affect over-wintering success of juvenile fish in a changing climate. https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0024022
- BRUNKE, M (2023): Der Einfluss von Nährstoffbelastungen auf die Fischfauna in Fließgewässern. Wasserwirtschaft 10: 20-27.
- BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (2021): Die Niedrigwassersequenz der Jahre 2015 bis 2018 in Deutschland – Analyse, Einordnung und Auswirkungen. Mitteilungen Nr. 35, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, 412 p., DOI: 10.5675/BfG_Mitteilungen_35.202
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2010): Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft. www.klimawandelanpassung.at.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2010): Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft – Kurzfassung. Wien.
- BUNZEL-DRÜKE, M. (2011): Wie reagieren Fische und Rundmäuler auf den Klimawandel? Natur in NRW 4/11, p. 27-32.
- BUWAL (2002): Einwanderung von Fischarten in die Schweiz – Rheineinzugsgebiet. Mitteilungen zur Fischerei, Nr. 72, Bern.
- BUWAL (2004): Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. Schriftenreihe Umwelt Nr. 369, Bern.
- CAPON S.J., CHAMBERS L.E., MAC NALLY R. ET AL. (2013): Riparian Ecosystems in the 21st Century: Hotspots for Climate Change Adaptation?. Ecosystems 16, 359–381. https://doi.org/10.1007/s10021-013-9656-1
- CHUCHOLL, C. (2019). Dürre und Hitze 2018: Folgen für die baden-württembergischen Stein- und Dohlenkrebsbestände. AUF AUF 1: 22-27.
- COPP G., BRITTON J., CUCHEROUSSET J., GARCÍA-BERTHOU E., KIRK R., PEELER E., STAKĖNAS S. (2009): Voracious invader or benign feline? A review of the environmental biology of European catfish Silurus glanis in its native and introduced ranges, Fish and Fisheries, 10, 252–282
- DORENBOSCH, M., DE LA HAYE, M., VAN DE HATERD, R., HUTHOFF, F., VAN KLEUNEN, A., LIEFVELD, W. (2022): Klimaateffecten op riviernatuur, Rapport nummer OBN-2020-121-RI, Kennisnetwerk OBN, Driebergen.

- DORIDANT, J. (2021): Etude de l'impact du changement climatique sur les communautés vivantes du Rhin et plus particulièrement les poissons grands migrateurs. https://infodoc.agroparistech.fr/doc_num.php?explnum_id=6780
- ELLIOT, J. M. (1981): Some Aspects of Thermal Stress on Freshwater Teleosts. In Stress and Fish (A. D. Pickering, ed), S. 209-245. London: Academic Press.
- Euro-Limpacs-Projekt (2009): Definition of indicators for Climate Change effects on freshwater ecosystems. http://www.climate-and-freshwater.info.
- EUROPEAN COMMISSION (2009): River Basin Management in a changing climate. Technical Report 2009-040, Guidance document No. 24, Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). (Leitfaden Nr. 24 zur Gemeinsamen Umsetzungsstrategie zur Wasserrahmenrichtlinie).
- GRÖNITZ, KATZMAREK UND SIEPE (1994): Grundsatzpapier Auenschutz und Auenrenaturierung. Materalien zum Integrierten Rheinprogramm. Karlsruhe
- HEGER A, BECKER JN, VASCONEZ NAVAS LK & ESCHENBACH A (2021): FACTORS CONTROLLING SOIL ORGANIC CARBON STOCKS IN HARDWOOD FLOODPLAIN FORESTS OF THE LOWER MIDDLE ELBE RIVER. GEODERMA 404: 115389. HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.GEODERMA.2021.115389
- HOFFMANN, A., KAUERMANN, G., WINDMANN, M., TISCHBIERECK, J., LEONHARD, V. (2011): Temperaturmanagement in der Wupper. Natur in NRW 1/11, S. 34-40.
- HUNZINGER, L. (2004): Flussaufweitungen: Möglichkeiten und Grenzen. Wasser Energie Luft. 96. Jahrgang, Heft 9/10, Schweiz.
- IBISCH, Ralf B. (2004): Biogene Steuerung ökologischer Systemeigenschaften des hyporheischen Interstitials der Lahn (Hessen). Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Wasserwesen, Institut für Hydrobiologie, Dresden.
- ICES (2017): Report of the Workshop on Potential Impacts of Climate Change on Atlantic Salmon Stock Dynamics (WKCCISAL), 27–28 March 2017, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2017/ACOM:39. 90 p.
- ICBR (2004): Warmtebelasting van de wateren in de zomer van 2003. Samenvatting van de nationale situatierapporten. 70e Plenaire Vergadering op 8 en 9 juli 2004 te Bern. ICBR-rapport 142d, www.iksr.org.
- ICBR (2006): Biotoopverbond Rijn. Rapport en atlas, www.iksr.org – Brochures.
- ICBR (2009a): Visecologische totaalanalyse incl. beoordeling van de effectiviteit van de lopende en beoogde maatregelen in het Rijngebied met het oog op de herintroductie van trekvissen. ICBR-rapport 167 (uitgebreide versie), www.iksr.org.
- ICBR (2009b): Presentatie van de ontwikkeling van de temperatuur van het Rijnwater op basis van gevalideerde temperatuurmetingen in de periode 1978-2011. ICBR-rapport 209, www.iksr.org.
- ICBR (2018): Masterplan trekvissen Rijn. ICBR-rapport 247, www.iksr.org.
- ICBR (2019): ICBR-laagwatermonitoring aan de Rijn en in het Rijnstroomgebied. ICBR-rapport 261, www.iksr.org
- ICBR (2020a): Rapport over de laagwatergebeurtenis van juli-november 2018. ICBR-rapport 263, www.iksr.org.
- ICBR (2020b): Programma Rijn 2040. De Rijn en zijn stroomgebied: duurzaam beheerd en klimaatbestendig, www.iksr.org.
- ICBR (2020c): Het fytoplankton in de Rijn 2018. ICBR-rapport 273, www.iksr.org
- ICBR (2020d): De verspreiding van macrofyten in de Rijn in 2018/2019. ICBR-rapport 274, www.iksr.org

- ICBR (2020e): Benthische diatomeeën in de Rijn 2018/2019. ICBR-rapport 275, www.iksr.org
- ICBR (2021): Internationaal gecoördineerd stroomgebiedbeheerplan 2022-2027 van het internationaal stroomgebieddistrict Rijn, www.iksr.org.
- ICBR (2022): Ontwikkeling van een methode en de resultaten van de voortgangscontrole van het biotoopnetwerk aan de Rijn in 2020. ICBR-rapport 284, www.iksr.org.
- ICBR (2023): Rijnmeetprogramma biologie 2024/2025. ICBR-rapport 291, www.iksr.org
- ICBR (2024a): Afvoerscenario's klimaatverandering voor het Rijnstroomgebied. ICBR-rapport 297, www.iksr.org
- ICBR (2024b): Rapport over de laagwater- en droogtegebeurtenis in 2022. ICBR-rapport 299, www.iksr.org
- ICBR (2024c): Ontwikkeling van de temperatuur van het Rijnwater van 1978 t/m 2023. ICBR-rapport 301, www.iksr.org
- ICBR (2025): Simulation of the effects of climate change scenarios on future Rhine water temperature development– update IPCC AR5. ICBR-rapport 302, www.iksr.org.
- IMSLAND, A.K., FOSS, A., FOLKVORD, A., STEFANSSON, S.O., T.M. JONASSEN (2005): The interrelation between temperature regimes and fish size in juvenile Atlantic cod (Gadus morhua): effects on growth and feed conversion efficiency. Fish Physology and Biochemistry (2005) 31:347-361.
- JAARSMA, N., KLINGE, M., POT, R., (red.) (2007): Achtergronddocument referenties en maatlatten vissen ten behoeve van de kadderrichtlijn water.
- JUNK, W.J., BAYLEY, P.B., SPARKS, R.E. (1989). The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. P. 110-127. In D. Dodge (cd.) Proceedings of the International Large River Symposium. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 106.
- KANGUR A., KANGUR P., KANGUR K., MÖLS T. (2007): The role of temperature in the population dynamics of smelt *Osmerus eperlanus eperlanus m. spirinchus* Pallas in Lake Peipsi (Estonia/Russia). Hydrobiologia 584, 433–441.
- KANGUR K., KANGUR A., KANGUR P., LAUGASTE R. (2005): Fish kill in Lake Peipsi in summer 2002 as a synergistic effect of cyanobacterial bloom, high temperature and low water level. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Biology Ecology 54, 67–80.
- KANGUR A., Kangur P., Kangur K., Möls T. (2013): Long-term effects of concurrent eutrophication and environmental extremes on the fish community of Lake Peipsi (Estonia/Russia). Submitted to Fishery Management and Ecology.
- KARATAYEV, A.Y. & BURLAKOVA, L.E. (2022): What we know and don’t know about the invasive zebra (*Dreissena polymorpha*) and quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*) mussels. Hydrobiologia, https://doi.org/10.1007/s10750-022-04950-5.
- KÄRCHER O., FLÖRKE M., MARKOVIC D. (2021): Different life stage, different risks: Thermal performance across the life cycle of Salmo trutta and Salmo salar in the face of climate change. Ecology and Evolution, https://doi.org/10.1002/ece3.7731.
- KHALANSKI, M., CARREL, G., DESAINT, B., FRUGET, J.-F., OLIVIER, J.-M., POIREL, A., SOUCHON, Y. (2008): Étude thermique globale du Rhône - Impacts hydrobiologiques des échauffements cumulés (*Global thermal study of the Rhone - Hydrobiological impact of cumulative warming - with english summary*). Hydroécologie Appliquée 16: 53-108.

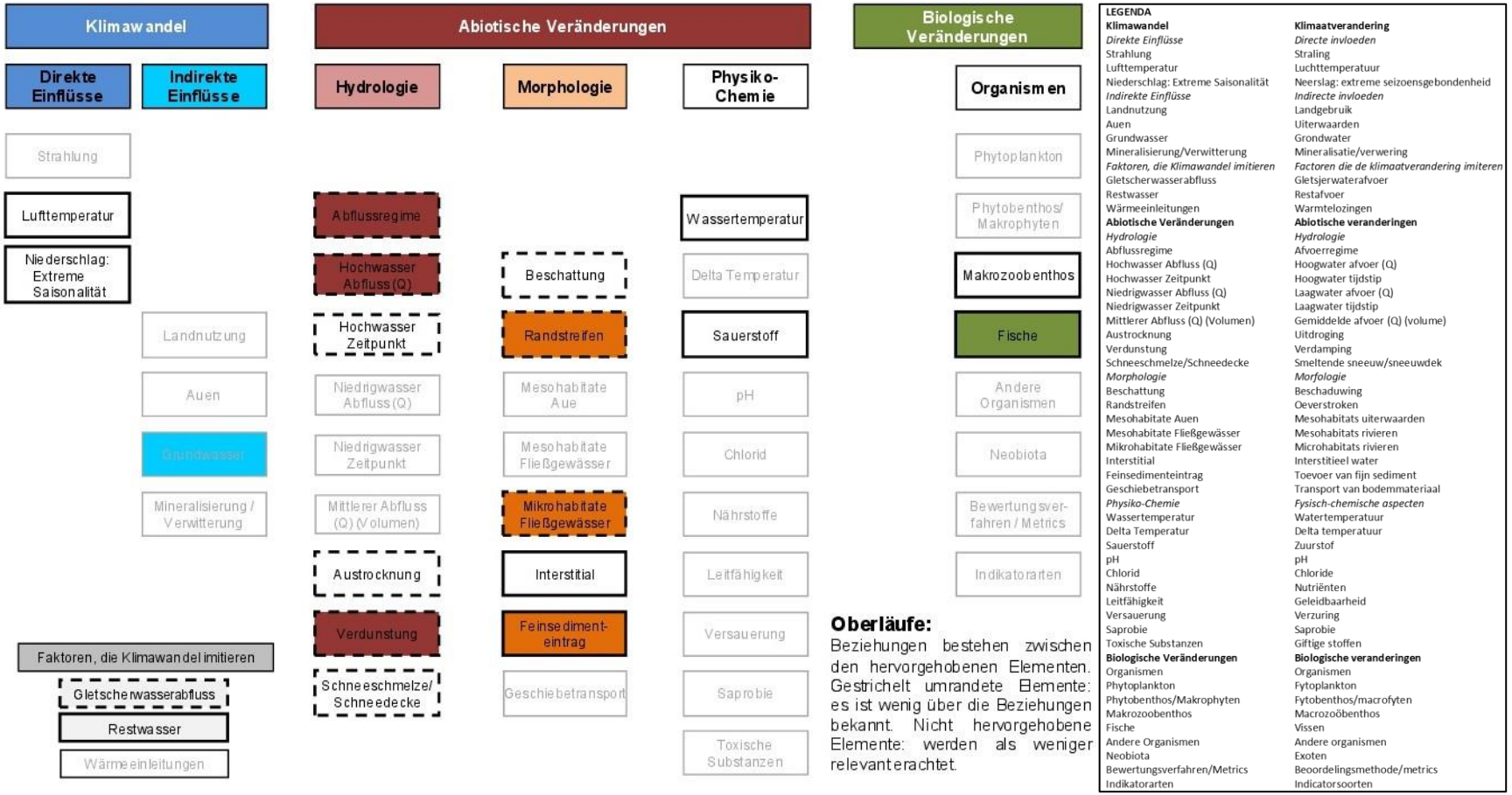
- Kleinteich, J., Frassl, M.A., Schulz, M., Fischer, H. (2024): Climate change triggered planktonic cyanobacterial blooms in a regulated temperate river. Sci Rep 14, 16298 (2024). https://doi.org/10.1038/s41598-024-66586-w
- KLIWA (2010): Einfluss des Klimawandels auf die Fließgewässerqualität – Literaturauswertung und erste Vulnerabilitätseinschätzung. Rapport in opdracht van het KLIWA-consortium. 59 p. + bijlage.
- KLIWA (2010): Kooperationsvorhaben „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft" (Kooperation zwischen dem Deutschen Wetterdienst (DWD), dem Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit und dem Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz: ''Fließgewässerbiologie und Klimawandel''
- KLIWA (2023): 2-Grad-Ziel für unsere Bäche - Wassertemperatur und Beschattung. KLIWA-Kurzbericht, www.kliwa.de
- KLIWA (2018): KLIWA Index$_{MZB}$: Liste mit allen Makrozoobenthosarten und den taxaspezifischen Temperaturpräferenzen. Anhang zum Projektabschlussbericht – Praxistest und Verifizierung des KLIWA-Index$_{MZB}$, Projektteam umweltbüro essen – chromgruen – SENCKENBERG im Auftrag der KLIWA-Kooperation. https://www.kliwa.de/publikationen-projektberichte.htm
- KÖLLNER P., GROSS C., SCHÄPPI B., FÜSSLER J., LERCH J., NAUSER M. (2017): Klimabedingte Risiken und Chancen. Eine schweizweite Synthese. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1706: 148 p.
- KOOP, J.H.E., BERGFELD, T., KELLER, M. (2007): Einfluss von extremen Niedrigwasser-Ereignissen und gleichzeitigen "Hitzeperioden" auf die Ökologie von Bundeswasserstraßen. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 51, Heft 5, p. 202-209
- KÜTTEL, S., PETER, A., WÜEST, A. (2002): Temperaturpräferenzen und –limiten von Fischarten Schweizerischer Fliessgewässer. Rhône Revitalisierung, Publikation Nummer 1.
- KURSTJENS, G., NIJSSEN, M., VAN WINDEN, A., DORENBOSCH, M., MOLLER PILLOT, H., VAN TURNHOUT C., VELDT, P. (2020): Natte overstromingsvlakten in het rivierengebied. Ecologisch functioneren en ontwikkelkansen, rapport 2020/OBN237-RI. VBNE, Driebergen.
- LAWA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser) (2021): Temperaturempfindlichkeiten der Fischgemeinschaften in deutschen Fließgewässern – Überprüfung der Orientierungswerte für die Temperatur. Abschlussbericht. Projekt O 10.20 des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall" 2020. http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/static/LFP/Dateien/LAWA/AO/O_10.20_211119_Endbericht_O10.20_TempEmpf_Fische.pdf
- LUWG (uitg.) (2011): Neubürger in Rhein und Mosel. – Infoblatt Gewässerschutz 01/11.
- MAKASKE, B., MAAS, G. (2013): Klimaatverandering en riviernatuur in de periode 2015-2050; Klimaatverandering en riviernatuur in de periode 2015-2050; Een verkenning van effecten en adaptatiemogelijkheden. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2484. 56 p.; 25 fig.; 11 tab.; 39 ref.
- MARIJS, L.B., ACHTERKAMP, B., COLLAS, F.P.L., DE LA HAYE, M., DORENBOSCH, M., LIEFVELD, W.M., MAATHUIS, M., VAN GEEST, G., VAN KESSEL, N. (2020): KRW Leidraad Rijkswaterstaat.
- METEOSCHWEIZ (2022): Klimabulletin Sommer 2022. Zürich.

- MKULNV (MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ NRW) (2010): Natur im Wandel: Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.
- MOSNER E., HORCHLER P. (2014): Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation der Flussauen. Schlussbericht KLIWAS-Projekt 5.06. KLIWAS-53/2014. BfG, Koblenz. DOI: 10.5675/Kliwas_53/2014_5.06, URL: http://doi.bafg.de/KLIWAS/2014/Kliwas_53_2014_5.06.pdf
- NLWKN (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz) (uitg.) (2011): Vollzugshinweise für Arten und Lebensraumtypen. https://www.nlwkn.niedersachsen.de/naturschutz/natura_2000/vollzugshinweise_arten_und_lebensraumtypen/vollzugshinweise-fuer-arten-und-lebensraumtypen-46103.html#fische
- NOTTER, B., STAUB, E. (2009): Lebensraum der Bachforelle um 2050. GWA Gas, Wasser, Abwasser. Nr. 1/2009: 39-44.HOP, J, Kleppe, R., Koole, M., Bleile, N. (2022): Overleving van jonge vis in het IJsselmeer – literatuurstudie. Rapportnr. 20220253/01. ATKB, Waardenburg.
- OEXLE, S, GAYE-SIESSEGGER, J, BASEN, T, BRINKER, A (2020): Untersuchungen zu den Auswirkungen der Extremsommer 2018 und 2019 auf die Fischbestände in baden-württembergischen Fließgewässern. AUF AUF: 1–12
- PARTENARIAT FÜR UMWELT UND KLIMA (2011): « Paquet Climat » (6 mai 2011), Synthesedokument der *groupe de pilotage* für eine nationale Nachhaltigskeitsstrategie, Luxemburg.
- PONT, D. (coördinator) (2003): Programme GICC – AQUABIO. Conséquences potentielles du changement climatique sur les biocénoses aquatiques et riveraines francaises - Rapport final. CNRS, Université de Lyon.
- RABITSCH, W., WINTER, M., KÜHN, E., KÜHN, I., GÖTZL, M., ESSL, F., GRUTTKE, H. (2010): Auswirkungen des rezenten Klimawandels auf die Fauna in Deutschland. BfN-Heft Nr. 98, Bonn.
- REESE, M. (2011): Die Anpassungen an den Klimawandel im Bewirtschaftungssystem der Wasserrahmenrichtlinie. Zeitschrift für Wasserrecht, Heft 2/2011, p. 61-82.
- ROBINSON, C.A., THOM, T.J., LUCAS, M. C. (2008): Ranging behaviour of a large freshwater invertebrate, the white-clawed crayfish *Austropotamobius pallipes*. Freshwater Biology, 44, 509–521. Available from: https://doi.org/10.1046/j.1365-2427. 2000.00603.x
- ROS, A., SCHMIDT-POSTHAUS, H., BRINKER, A. (2022): Mitigating human impacts including climate change on priliferative kidney disease in salmonids of running waters. Journal of Fish Diseases, Volume 45, Issue 4, https://doi.org/10.1111/jfd.13585
- RYTWINSKI, T., LIN, H.-Y., HARPER, M., SMOKOROWSKI, K.E., SMITH, A., REID, J.L., TAYLOR, J.J., BIRNIE-GAUVIN, K., BRADFORD, M.J., CROSSMAN, J.A., KAVANAGH, R., LAPOINTE, N.W.R., TURGEON, K., COOKE, S.J. (2023): How do natural changes in flow magnitude affect fish abundance and biomass in temperate regions? A systematic review. Ecological Solutions and Evidence, Vol. 4, 1.
- SCHLÄPPI, T. (2021): Atlantischer Lachs und Klimawandel, Zusammenstellung bestehender Studien und Grundlagen, Bericht im Auftrag des WWF Schweiz, 24 S.
- SCHMIDT, M., SCHINDLER, D., ARNETH, A., KESSELRING, S., LÖBBE, S., PEHNT, M. (2023): Klimawandelbedingte Gebietsniederschlagsänderung in Baden-Württemberg von 1881 bis 2099. Kurzpapier des Klima-Sachverständigenrats. 01l09l2023.

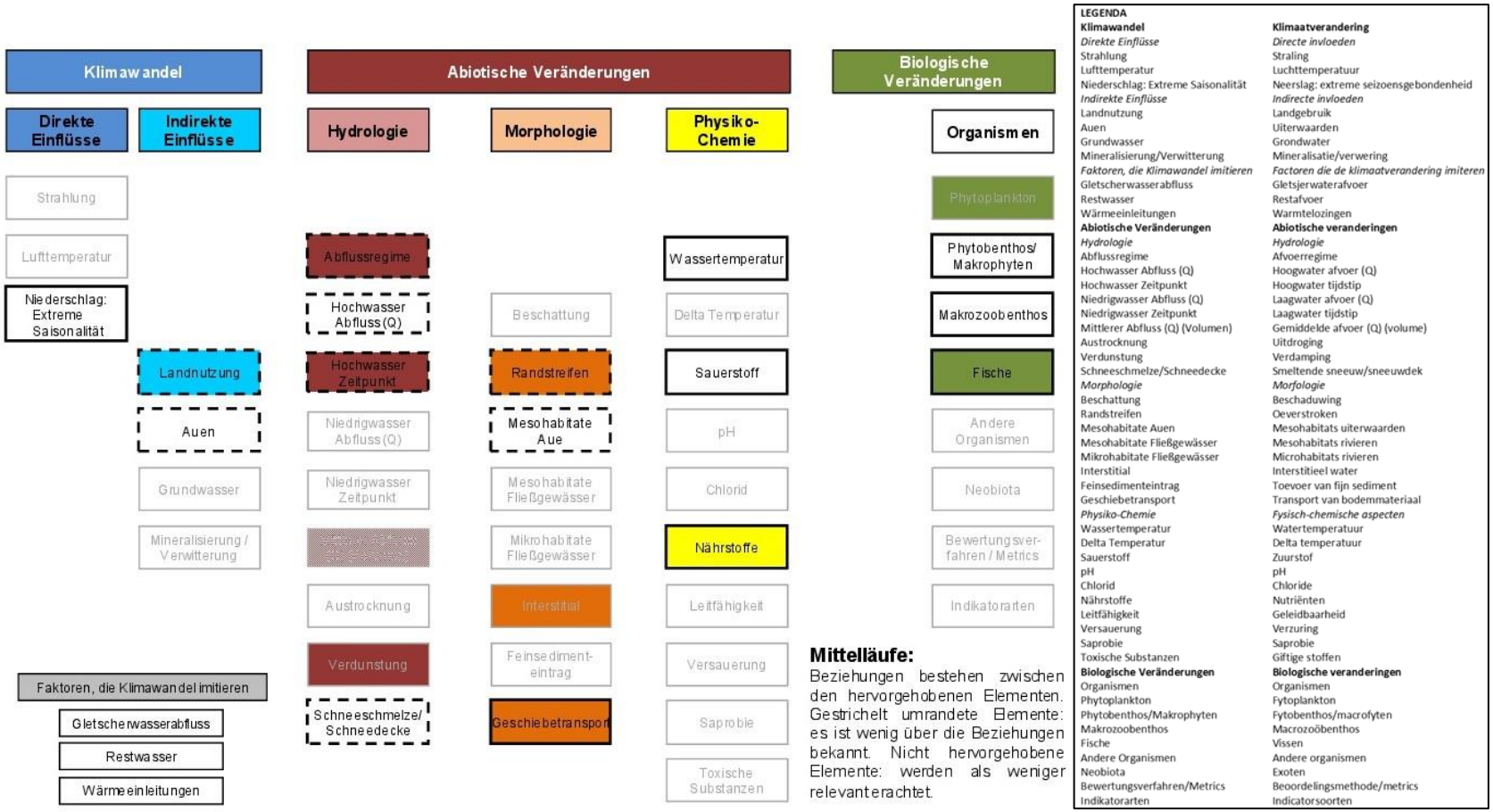
- SCHULTE L. & A. VAN WINDEN (2024): Effect van droogte en lage rivierafvoeren op riviernatuur. Bureau Stroming in opdracht van WWF. effect droogte en lage rivierafvoeren op riviernatuur 4 2024.pdf (levenderivieren.nl)
- STAHL, K., WEILER, M., VAN TIEL, M., KOHN, I., HÄNSLER, A., FREUDIGER, D., SEIBERT, J., GERLINGER, K., MORETTI, G. (2022): Impact of climate change on the rain, snow and glacier melt components of streamflow of the river Rhine and its tributaries. CHR report no. I 28. International Commission for the Hydrology of the Rhine basin (CHR), Lelystad.
- STERUD, E., FORSETH, T., UGEDAL, O., POPPE, T.T., JOERGENSEN, A., BRUHEIM, T., FJELDSTAD, H.-P., MO, T. A. (2007): Severe mortality in wild Atlantic salmon *Salmo salar* due to proliferative kidney disease (PKD) caused by *Tetracapsuloides bryosalmonae* (Myxozoa). Disease of Aquatic Organisms, 77: 191-198.
- STOWA (Stichting toegepast onderzoek waterbeheer) (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-rapport 2011-20 in opdracht van Rijkswaterstaat Waterdienst. Amersfoort.
- TISSOT, L., SOUCHON, Y. (2010): Synthèse des tolérances thermiques des principales espèces de poissons des rivières et fleuves de plaine de l'ouest européen (*Synthesis on thermal tolerances of the principal freshwater fish species of large Western Europe rivers*). Hydroécologie Appliqué, volume 17, p. 17-76.
- VAN AALDEREN, R., BEELEN, P. (2011): De opkomst van de meerval in Nederland. Verspreidingsonderzoek. Sportvisserij Nederland, Bilthoven.
- VAN DER GRINTEN, E.; VAN HERPEN, F.C.J.; VAN WIJNEN, H.J.; EVERS, C.H.M.; WUIJTS, S. EN VERWEIJ, W. (2007): Afleiding maximumtemperatuurnorm goede ecologische toestand (GET) voor Nederlandse grote rivieren. RIVM Rapport 607800003/2007
- VAN KESSEL, N., DORENBOSCH, M., DE BOER, M.R.M., LEUVEN, R.S.E.W., VAN DER VELDE, G. (2011): Competition for shelter between four invasive gobiids and two native benthic fish species. Current Zoology 57: 844-851.
- VANNOTE, R. L., MINSHALL, G.W., CUMMINS, K.W., SEDELL, J.R., CUSING, C.E. (1980). The river continuum concept. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 2015-2021
- VERSTIJNEN, Y., SMOLDERS, A.J.P., WESTENDORP, P.J., DE SENERPONT DOMIS, L., TEURLINCX, S., VAN GEEST, G., GROEN, M., DORENBOSCH, M., VAN ELS, P. (2022): Diepe uiterwaardplassen: verondiepen of niet? Rapportnummer 2022/OBN252-RI, VBNE, Driebergen.
- WAHLI, T., KNUESEL, R., BERNET, D., SEGNER, H., PUGOVKIN, D., BURKHARDT-HOLM, P., ESCHER, M., SCHMIDT-POSTHAUS, H. (2002): Proliferative kidney disease in Switzerland: current state of knowledge. Journal of Fish Disease, 25: 491-500.
- WIESNER, C., WOLTER, C., RABITSCH, W., NEHRING, S. (2010): Gebietsfremde Fische in Deutschland und Österreich. BfN-Skripten 279, 192 p.
- XENOPOULOS, M. A., LODGE, D. M., ALCAMO, J., MÄRKER, M., SCHULZE, K. VAN VUUREN, D. P. (2005): Scenarios of freshwater fish extinctions from climate change and water withdrawal. Global Change Biology, 11/10: 1557-1564. 127-144.

Bijlagen

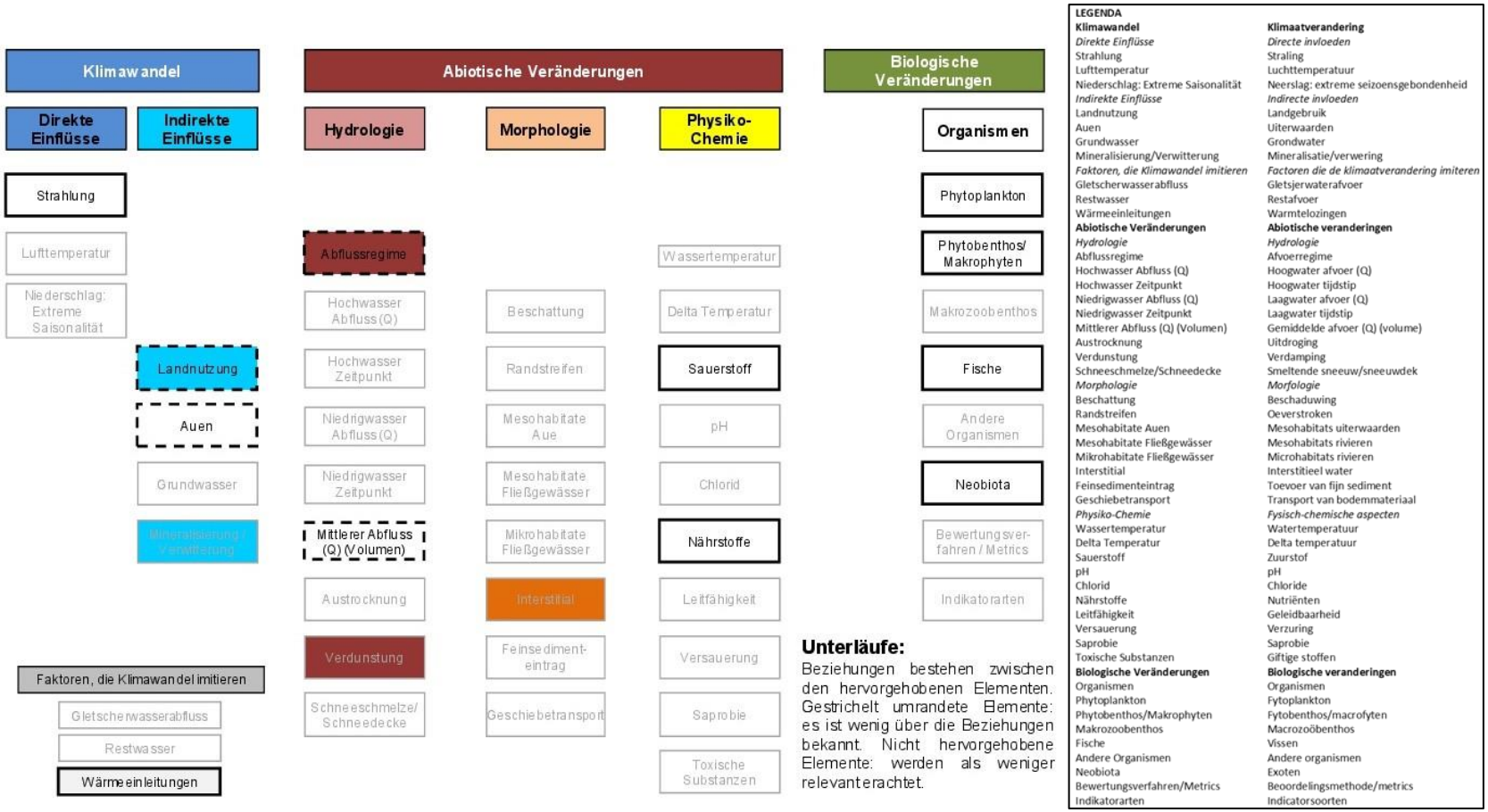
Bijlage 1



Figuur 1: Abiotische factoren en groepen van organismen <u>in de bovenloop</u> van een rivier die kunnen worden beïnvloed door de klimaatverandering.
Tussen de vet gedrukte elementen bestaan er relaties. Voor de elementen in een gestippeld kadertje is er weinig informatie over de relaties beschikbaar. Elementen op de achtergrond worden minder relevant geacht. Bron: https://www.kliwa.de/gewaesseroekologie.htm



Figuur 2: Abiotische factoren en groepen van organismen <u>in de middenloop</u> van een rivier die kunnen worden beïnvloed door de klimaatverandering.
Tussen de vet gedrukte elementen bestaan er relaties. Voor de elementen in een gestippeld kadertje is er weinig informatie over de relaties beschikbaar. Elementen op de achtergrond worden minder relevant geacht. Bron: https://www.kliwa.de/gewaesseroekologie.htm



Figuur 3: Abiotische factoren en groepen van organismen <u>in de benedenloop</u> van een rivier die kunnen worden beïnvloed door de klimaatverandering.
Tussen de vet gedrukte elementen bestaan er relaties. Voor de elementen in een gestippeld kadertje is er weinig informatie over de relaties beschikbaar. Elementen op de achtergrond worden minder relevant geacht. Bron: https://www.kliwa.de/gewaesseroekologie.htm

Bijlage 2

Tabel 1: Voorspelde invloed van een stijging van de temperatuur op vissen en rondbekken in het stroomgebied van de Rijn en andere Midden-Europese rivieren

Toelichtingen: **EU-Aalverordening:** Nr. 1100/2007/EG van de Raad van 18 september 2007 tot vaststelling van maatregelen voor het herstel van het bestand van de Europese aal; **Habitatrichtlijn**: richtlijn 92/43/EEG van de Raad van 21 mei 1992 inzake de instandhouding van de natuurlijke habitats en de wilde flora en fauna; **CITES**: Overeenkomst van Washington

Vissoort wetenschap-pelijke naam	**Vissoort Nederlandse naam**	**Prognose**	**Beschermings-status, herkomst**	**Opmerking** Getolereerde temperaturen / extreme waarden (en optimum)	**Bron**
Abramis brama	Brasem	Toename		Eitjes 8-28 °C (18-23 °C) Larven 17,5-19,5 ℃ Jonge exemplaren 14-34 ℃ Volwassen exemplaren 8-28 °C / 35 °C (23-26 °C) Paaitijd 8-23 °C / 28 °C(12-20 °C) Vergroting van het leefgebied naar de rivieren in het middelgebergte en de Alpen	KÜTTEL et al. 2002, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
Alburnus alburnus	Alver	Afname		Afname voorspeld in Franse rivieren bij een temperatuurstijging van 2 °C	PONT & CRANE in PONT 2003
		Toename		Kan watertemperaturen > 20 °C verdragen; sterke toename voorspeld Eitjes 21-27 ℃ Larven 22,5 ℃ Volwassen exemplaren 20-38 °C (20-30 °C) Paaitijd 14-28 ℃	BUNZEL-DRÜKE 2011, MKUNLV 2010, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
Alburnoides bipunctatus	Gestippelde alver	Afname		Als gevolg van de waarschijnlijk kleinere omvang van het vlagzalmgebied Eitjes 16,3-19,3 ℃ Larven 12-24 °C Volwassen exemplaren 1,9-23,9 °C	BUNZEL-DRÜKE 2011, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010

				Paaitijd 12-25 ℃	
Alosa alosa	Elft	Toename	Habitatrichtlijn bijlage II & V	Als gevolg van het herintroductieproject, niet als gevolg van de klimaatverandering	BUNZEL-DRÜKE 2011
Anguilla anguilla	Aal	Afname	CITES bijlage II, EU-Aalverordening	Jonge exemplaren (glasalen) > 15 °C Volwassen exemplaren > 0 / 8 °C, < 30 / 39 °C (8-29 °C / 22-23 °C) Bedreiging door stress en ziektes in hete periodes; roodziekte wordt in de hand gewerkt	KÜTTEL et al. 2002, ICBR 2004
				Geen verandering	BUNZEL-DRÜKE 2011
Aspius aspius	Roofblei	Toename	Habitatrichtlijn bijlage II & V		BUNZEL-DRÜKE 2011
Barbus barbus	Barbeel	Afname	Habitatrichtlijn bijlage V	Bij een temperatuurstijging van 2 °C	PONT 2003
		Toename		Eitjes 12,1-21 °C (16-19 °C) Larven 14,8-18,9 °C (18,5 °C) Jonge exemplaren 7-27 ℃ Volwassen exemplaren 7-30 °C Paaitijd 8-20 °C /29 °C Vergroting van het leefgebied naar de rivieren in het middelgebergte en de Alpen	KÜTTEL et al. 2002
Barbatula barbatula	Bermpje	Toename		Kan watertemperaturen > 20 °C verdragen In wateren in Baden-Württemberg zal het leefgebied van het bermpje over het algemeen eventueel wat toenemen.	MKUNLV 2010, BUNZEL-DRÜKE 2011, BASEN et al. 2022a
		Afname		Afname voorspeld in Franse rivieren bij een temperatuurstijging van 2 °C	PONT 2003
Blicca bjoerkna	Kolblei	Toename		Eitjes 15-20 ℃ Volwassen exemplaren 15-25 °C Paaitijd 9,6-29 ℃	BUNZEL-DRÜKE 2011, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
Carassius carassius	Kroeskarper	Afname		Als gevolg van het droogvallen van kleine stilstaande wateren en sloten in de zomer	BUNZEL-DRÜKE 2011

Chondrostoma nasus	Sneep	Afname		Eitjes 8,6-19 °C Larven 10-28 °C (15 °C) Jonge exemplaren 7-27 ℃ Volwassen exemplaren 4-24 °C Paaitijd 6-16,2 °C	KÜTTEL et al. 2002, PONT 2003, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
Cottus gobio	Donderpad	Afname	Habitatrichtlijn bijlage II	Jonge exemplaren < 28 °C (5-27 °C) Volwassen exemplaren < 16-20 °C (10-15 °C) Paaitijd 7-14 ℃	BUNZEL-DRÜKE 2011, KÜTTEL et al. 2002, PONT 2003
Cyprinus carpio	Karper	Toename	Door uitzet wijd verspreid	Paaitijd > 17 °C Jonge dieren 16-25 °C Voortplantingssucces is groot als landvegetatie in mei/juni onder water komt te staan	BALON 1995, STEFFENS 2008 e. a. in BUNZEL-DRÜKE 2011
Esox lucius	Snoek			Eitjes 2-23 °C (8-15 °C) Larven 12,3-21 °C Larven 9-28 °C (26 °C) Volwassen exemplaren 10-30 °C / 34 °C (20-26 °C) Paaitijd 0-20 °C (7-17 °C)	EUROLIMPACS; KÜTTEL et al. 2002, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
Gasterosteus aculeatus	Driedoornige stekelbaars	(Afname)		Pioniersoort die zich zeer gemakkelijk aanpast en zou kunnen profiteren van tijdelijke droogval; is echter zeer concurrentiegevoelig en vermijdt temperaturen > 20 °C	BUNZEL-DRÜKE 2011, KÜTTEL et al. 2002
Gobio gobio	Riviergrondel	Afname		Eitjes 16-20 ℃ Larven 20,5 °C Jonge exemplaren 7-27 ℃ Volwassen exemplaren 5-30,9 / 37 °C (15-27 °C) Paaitijd 12-17 ℃	KÜTTEL et al. 2002, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
Gymnocephalus cernuus	Pos	Afname		Eitjes 9-21 ℃ Larven 16,5-30 °C	BUNZEL-DRÜKE 2011, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010

				Jonge exemplaren 7-24,8 ℃ Paaitijd 2-18 ℃	
Lampetra planeri	Beekprik	Afname	Habitatrichtlijn bijlage II	Afname voorspeld in Franse rivieren bij een temperatuurstijging van 2 °C	BUNZEL-DRÜKE 2011, PONT 2003
Lepomis gibbosus	Zonnebaars	Afname		Allochtone soort Eitjes 22,5 °C Larven 20,4-23,5 °C Jonge exemplaren 13-28 °C (31,5 °C) Volwassen exemplaren 11,9-40 °C (24,2-30 °C) Paaitijd 20-25 °C (22,5 °C)	PONT 2003, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
	Gewone zonnebaars	Toename			BUNZEL-DRÜKE 2011
Leucaspius delineatus	Vetje	Afname		Als gevolg van het droogvallen van kleine stilstaande wateren en sloten in de zomer	BUNZEL-DRÜKE 2011
Leuciscus (Squalius) cephalus	Kopvoorn	Toename		Eitjes 12,3-30 °C (17-23 °C) Larven 14-25 °C (17,5-25 °C) Jonge exemplaren 7-24 ℃ Volwassen exemplaren 7-27 / 34 °C (8-25 °C) Paaitijd 14-20 ℃ Stroomopwaartse verspreiding	BUNZEL-DRÜKE 2011, KÜTTEL et al. 2002, PONT 2003, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
Leuciscus leuciscus	Serpeling	Afname		Eitjes 4-23 °C (6-15 °C) Larven 16-25 °C (12,3-17,5 °C) Jonge en volwassen exemplaren 10-20 °C Paaitijd 5-16,5 °C (8-9 °C)	KÜTTEL et al. 2002, PONT 2003, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
Lota lota	kwabaal	Afname		Sterke afname verwacht, onder andere in het IJsselmeer als gevolg van tijdelijk zuurstofgebrek	BUNZEL-DRÜKE 2011, LAMMENS 2012, mondelinge mededeling

Misgurnus fossilis	Grote modderkruiper	Afname	Habitatrichtlijn bijlage II	Als gevolg van het droogvallen van kleine stilstaande wateren en sloten in de zomer	BUNZEL-DRÜKE 2011
Neogobio kessleri	Kesslers grondel	Toename	Uitheemse soort	Uit de Zwarte Zee 25-30 °C, concurrent en predator van inheemse soorten en hun kuit, o.a. zalm	KLIWA 2010
Neogobio melanostomus	Zwartbekgrondel	Toename	Uitheemse soort	Zie Kesslers grondel	KLIWA 2010
Neogobio fluviatilis	Pontische stroomgrondel	./.	Uitheemse soort	Zal als gevolg van zijn relatief kleine optimale temperatuurbandbreedte van 4-20 °C waarschijnlijk minder profiteren van de klimaatverandering dan andere grondelsoorten	KLIWA 2010
Oncorhynchus mykiss	Regenboogforel	Toename	Voor gebruik geïntroduceerde soort	Eitjes < 20 / 18 °C (8-11 °C) Jonge exemplaren 26°C (17°C) Volwassen exemplaren < 26 °C (16-19 °C) Geïntroduceerd voor commercieel gebruik; toleranter voor hogere watertemperaturen dan de beekforel; zou deze kunnen verdringen	BUNZEL-DRÜKE 2011, KLIWA 2010
Osperus eperlanus	Spiering	Afname		Als het zuurstofgehalte in meren (bijv. het IJsselmeer) te laag is, kan dit dodelijk zijn voor de spiering	LAMMENS 2012, mondelinge mededeling
		./.		Voor NRW geen verandering van het bestand voorspeld	BUNZEL-DRÜKE 2011
Perca fluviatilis	Baars	Toename?		Eitjes 5-21 ℃ Larven 5-30 °C (11-15,5 °C) Jonge exemplaren > 8 °C / < 36 °C (25 °C) Volwassen exemplaren 10-31 °C / 36,2 °C Paaitijd 5-19 ℃	diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010, BASEN et al. 2022a
Phoxinus phoxinus	Elrits	Afname		Als gevolg van de waarschijnlijk kleinere omvang van het vlagzalmgebied	BUNZEL-DRÜKE 2011
Pseudorasbora parva	Blauwband	Afname	Uitheemse soort	Als gevolg van het droogvallen van kleine stilstaande wateren en sloten in de zomer	BUNZEL-DRÜKE 2011

Pungitius pungitius	Tiendoornige stekelbaars	Afname		Als gevolg van het droogvallen van kleine stilstaande wateren en sloten in de zomer	BUNZEL-DRÜKE 2011
Rhodeus amarus	Bittervoorn	Toename	Habitatrichtlijn bijlage II	Volwassen exemplaren 12-30 °C / 37 °C (25 °C) Paaitijd 12-22 ℃	BUNZEL-DRÜKE 2011, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
Rutilus rutilus	Blankvoorn	Toename		Eitjes 5-27 °C (12-20 °C) Larven 17,5 °C Jonge exemplaren 7-21 ℃ Volwassen exemplaren 12-30 °C / 36 °C (8 / 20-25 °C) Paaitijd 5-22 °C (8-19 °C)	KÜTTEL et al. 2002, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010, BASEN et al. 2022a
Salmo trutta	Beek-, zee- en meerforel	Afname		Eitjes 0-13 °C (7-12 °C) Jonge exemplaren < 23 / 28 °C (6-14 °C / 8-13 °C) Volwassen exemplaren < 25 / 28 °C (4-19 °C / 14-17 °C) Paaitijd 1-10 °C (6 °C) Afname is minstens in Zuid-Europa waarschijnlijk; meer in het noorden eventueel voordelen door het overleven van het broed in zachtere winters; waar migratie naar hoger gelegen gebieden niet mogelijk is, kan de soort uitsterven.	BUNZEL-DRÜKE 2011, EUROLIMPACS, MKUNLV 2010, NOTTER & STAUB 2009, PONT 2003, WEBB & WALSH 2004 in WWF 2009, BASEN et al. 2022a, KÜTTEL ET AL. 2002
Salmo salar	Zalm	Afname	Habitatrichtlijn bijlage II & bijlage V (in zoet water)	Eitjes < 16 °C (4-11 °C) Jonge exemplaren < 17 °C (< 10 °C) Broed < 23 °C Fingerlings (2-3 maanden oud) < 28,7-29,2 °C Parrs (0+ tot 1+) < 27,4-32,8 °C Zeewaarts trekkende smolts < 19 °C (7-14,3 °C) Volwassen exemplaren < 28-32 °C (9-17 °C) Paaitijd < 10 °C (6-8 °C) De migratie wordt gestaakt bij ca. 25 °C. Een lichte temperatuurstijging in de winter heeft een positief effect op de ontwikkeling van de eitjes.	BUNZEL-DRÜKE 2011, KÜTTEL et al. 2002, RABITSCH et al. 2010

				Gemiddelde risicoklasse in het kader van een analyse van de gevoeligheid voor het klimaat.	
Salvelinus fontinalis	Bronforel	Afname	Uitheemse soort	Bewoner van de bovenste en de onderste zone van het forellengebied	BUNZEL-DRÜKE 2011
Sander (Stizostedion) lucioperca	Snoekbaars	?		Eitjes 3-24 °C /25 °C Larven 13,1-26 °C (13,1-15,5 °C) Jonge exemplaren 27,3-30 ℃ Volwassen exemplaren < 33,3 °C Paaitijd 3-26 ℃	diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
Silurus glanis	Meerval	Toename		Eitjes 22-25 ℃ Jonge exemplaren > 13 °C (24,5 °C) Volwassen exemplaren 7-33 °C (27 °C) Paaitijd 17-25 ℃	BUNZEL-DRÜKE 2011, STOWA 2011, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010, BASEN et al. 2022a
Thymallus thymallus	Vlagzalm	Afname	Habitatrichtlijn bijlage V	Eitjes 6-13 / 14 °C (9 °C) Volwassen exemplaren < 18 / 24 °C (15-17 °C) Paaitijd < 15 °C (6-10 °C) Heeft koele wateren met een bepaalde breedte nodig. Als die er in hoger gelegen gebieden niet zijn of als ze niet bereikbaar zijn, zou de soort geheel kunnen verdwijnen. Gemiddelde risicoklasse in het kader van een analyse van de gevoeligheid voor het klimaat.	BUNZEL-DRÜKE 2011, KÜTTEL et al. 2002, PONT 2003, NOTTER & STAUB 2009, RABITSCH et al. 2010, BASEN et al. 2022a
Alle voorkomende vissoorten		Toename: 2 6%		In totaal ondervindt ongeveer een derde van de vissoorten en rondbekken die voorkomen in de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen een negatieve invloed, soms ook door andere aspecten van de klimaatverandering.	MKUNLV 2010

Bijlage 3

Tabel 1: Maatregelen tegen de effecten van klimaatverandering op de ecologie

Maatregel	Welke effecten van de klimaatverandering worden bestreden door de maatregel?	Welke soort of soorten hebben baat bij de maatregel?	Effectiviteit van de maatregel (op korte termijn, op middellange termijn, op lange termijn)
Behoud en uitbreiding van bestaande beschermde gebieden, aanwijzing van nieuwe beschermde gebieden	Afname van habitatgebied en verslechtering van de habitatkwaliteit Uitsterven of achteruitgang van afzonderlijke soorten	Soorten die al acuut worden bedreigd door klimaatverandering en soorten die hierdoor in de toekomst zouden kunnen worden bedreigd Soorten die ook al onder druk staan van andere stressoren (bijv. visserij), naast klimaatverandering	Op lange termijn
Aanpassing van de catalogi van doelsoorten en eventueel controle van de referentietoestand (o.a. soortengemeenschap). Bescherming dient snel aangepast te kunnen worden aan nieuwe milieuomstandigheden.	Uitsterven of achteruitgang van afzonderlijke soorten	Soorten die tot dusver nog niet waren bedreigd, maar in de toekomst bedreigd zouden kunnen worden door de effecten van klimaatverandering	Op lange termijn
Observeren en onderzoeken van uitheemse en vooral invasieve soorten	Omvang van het verspreidingsgebied of verspreiding van invasieve uitheemse soorten	Inheemse soorten	Op lange termijn
Bescherming van processen: bijv. het toelaten van natuurlijke successie, natuurlijke verjonging en vrije migratie van soorten	Omvang van het verspreidingsgebied of de populatiegrootte van invasieve soorten Stijging van de watertemperatuur	Inheemse soorten	Op lange termijn

Maatregel	Welke effecten van de klimaatverandering worden bestreden door de maatregel?	Welke soort of soorten hebben baat bij de maatregel?	Effectiviteit van de maatregel (op korte termijn, op middellange termijn, op lange termijn)
Herstel van de functionaliteit van habitats, in het bijzonder door de aaneenschakeling van diverse biotopen	Afname van habitatgebied en verslechtering van de habitatkwaliteit	Inheemse soorten; Migrerende soorten; Biodiversiteit	Op lange termijn
Weer aantakken van uiterwaarden en uiterwaardwateren	Stijging van de watertemperatuur; Laagwater	Inheemse soorten	Op lange termijn
Identificatie van klimaatrefugia en verbinding van deze refugia met actuele arealen van bedreigde vissoorten	Stijging van de watertemperatuur; Laagwater	Alle vissoorten, in het bijzonder temperatuurgevoelige soorten	Op lange termijn
Verbetering van de longitudinale aaneenschakeling / vrije migratie van aquatische soorten mogelijk maken	Stijging van de watertemperatuur; Laagwater	Alle soorten, in het bijzonder temperatuurgevoelige en migrerende soorten	Op lange termijn
Beschaduwing in kleinere en middelgrote zijwateren door bebossing van de oevers en het lokaal plaatsen van rivierhout; toelaten van zelfstandige begroeiing door lokale soorten	Stijging van de watertemperatuur	Alle soorten, in het bijzonder temperatuurgevoelige en migrerende soorten, maar ook habitatgevoelige soorten	Op middellange termijn
Behoud en natuurvriendelijke ontwikkeling van diepe (aangetakte) stilstaande wateren in de rivieruiterwaarden als thermorefugium; rekening houden met diepe stilstaande wateren ook bij het verondiepen van stilstaande wateren in de uiterwaarden	Stijging van de watertemperatuur	Temperatuurgevoelige soorten	Op korte termijn, op lange termijn
Maatregelen voor een noodplan, zoals het creëren van kunstmatige koudwaterzones en het wegvissen van dieren in nood	Stijging van de watertemperatuur en acute hittestress	Temperatuurgevoelige vissoorten	Op korte termijn

Maatregel	Welke effecten van de klimaatverandering worden bestreden door de maatregel?	Welke soort of soorten hebben baat bij de maatregel?	Effectiviteit van de maatregel (op korte termijn, op middellange termijn, op lange termijn)
Beperking en reductie van antropogene warmtelozingen en verbetering van de informatie-uitwisseling hierover op internationaal niveau	Stijging van de watertemperatuur	Temperatuurgevoelige soorten Inheemse soorten	Op korte termijn, op lange termijn
Hernieuwde controle van de geschiktheid van geselecteerde riviertrajecten voor uitzetmaatregelen	Stijging van de watertemperatuur	Vissoorten voor herintroductie	Op lange termijn
Natuurlijk herstel van de oevers en extensivering van het agrarisch gebruik	Bodemerosie en sedimentaanvoer evenals dichtslibbing, in het bijzonder bij zware neerslag en hoogwater Stijging van de watertemperatuur Loskoppeling van rivier en uiterwaard als gevolg van toenemend laagwater Afname van de habitatkwaliteit Als gevolg van klimaatverandering mogelijk toenemende stressoren (bijv. emissies van pesticiden)	Alle soorten	Op lange termijn, Op korte termijn
Herstel van de natuurlijke stromingsdynamiek	Dichtslibbing Afname van de habitatdiversiteit	Alle soorten	Op lange termijn

Maatregel	**Welke effecten van de klimaatverandering worden bestreden door de maatregel?**	**Welke soort of soorten hebben baat bij de maatregel?**	**Effectiviteit van de maatregel (op korte termijn, op middellange termijn, op lange termijn)**
Reductie van verharde oppervlakken	Bodemerosie en sedimentaanvoer evenals dichtslibbing, in het bijzonder bij zware neerslag en hoogwater	Alle soorten	Op lange termijn
Verbetering van de waterhuishouding van de omgeving (sponslandschappen, bodembedekking die bevorderlijk is voor infiltratie)	Overstroming, bodemerosie, sedimentaanvoer, dichtslibbing vooral bij zware neerslag of hoogwater; verdroging en verlaging van de waterspiegel	Alle soorten	Op lange termijn
Beperking van het insnijden van de rivierbodem door het gericht verwijderen of aanleggen van grind- en zandafzettingen om de stroming te sturen, door het aanleggen van langsdammen en door het verondiepen van de rivierbodem	Loskoppeling van rivier en uiterwaard als gevolg van toenemend laagwater	Alle soorten	Op korte termijn, op lange termijn
Verwijdering van kunstmatige oeververhardingen	Loskoppeling van rivier en uiterwaard als gevolg van toenemend laagwater	Alle soorten	Op lange termijn
Herstel van overstromingsgebieden	Verdroging en verlaging van de waterspiegel	Alle soorten	Op lange termijn

Bijlage 4: Inventarisatie van de op nationaal niveau beschikbare syntheses over de effecten van klimaatverandering op de ecologie (groeidocument)

Stand: 25 september 2024

- De nadruk van de rondvraag lag op studies die een beschrijving geven van de gevolgen voor biota (d.w.z. soorten/gemeenschappen/ecosysteemfuncties). Studies in verband met abiotische factoren (bijv. afvoer en watertemperatuur) zijn niet opgenomen, omdat de EG HCLIM en de EG STEMP zich met deze onderwerpen al bezighouden.
- De tabel toont als eerste bijdragen die gaan over de gevolgen van klimaatverandering voor de waterecologie, en daaronder ook bijdragen met betrekking tot ''maatregelen en beheer'' (zie laatste kolom ''categorie''). De twee delen zijn gerangschikt op het jaar waarin de studies gepubliceerd zijn (chronologisch aflopend) > land (A-Z) > auteur/uitgever (A-Z).
- Uitleg over de afzonderlijke tabelcellen is te vinden in het tabblad "Uitleg_tabel".
- Uitleg over de DPSIR-aanpak incl. definities is te vinden in het tabblad "Uitleg_DPSIR-aanpak".

Informatie over de studie									Kenmerken van de studies gebruik makend van de DPSIR-aanpak						
Titel	**Oorspronkelijke titel**	**Auteur/uitgever**	**Jaar van publicatie**	**Link**	**(Deel)staat**	**Inhoudelijke samenvatting**	**Trefwoorden**	**Opmerking i.v.m. ''Informatie over de studie''**	**''Pressures'' (= drukfactoren)**	**''State'' (= toestand)**	**''Impact'' (= gevolg)**	**''Response'' (= maatregelen)**	**Opmerking ''Response''**	**Opmerking**	**Categorie**
Ruimtelijke effecten van de stijging van de watertemperatuur als gevolg van klimaatverandering op de visgemeenschappen in rivieren	Räumliche Auswirkungen klimawandelbedingter Wassertemperaturerhö-hungen auf die Fließgewässer-Fischgemeinschaften	KLIWA – WG Waterecologie rivieren, KLIWA-consortium	2023	https://www.kliwa.de/gewaesseroekologie-florafauna-fische.htm.	DE	In deze lopende studie worden model-analyses samengevat die kijken naar de ontwikkeling in de ruimte en de tijd van de temperatuurgerelateerde geschiktheid van habitats (op basis van de bepalingen in de Duitse Verordening inzake oppervlaktewater voor de goede visecologische toestand) voor visgemeenschappen. Daarnaast wordt er ook ingegaan op toekomstige ontwikkelingen met betrekking tot referentiebiocenoses bij vissen aan de hand van de behoeften van paraplusoorten.Zo kunnen er op basis van de gesimuleerde ontwikkeling van de watertemperatuur tot en met het jaar 2100 conclusies worden getrokken over waarschijnlijke verspreidingspatronen in de toekomst.	Stijging van de watertemperatuur als gevolg van klimaatverandering; koudstenotherme soorten; visgemeenschappen; paraplusoorten; ruimtelijke verspreidingspatronen	Studie op basis van simulaties (lopend)	Stijging van de watertemperatuur	Potentieel voorkomende visfauna	Veranderde geschiktheid van de habitats	Verhoging van de temperatuurveerkracht van rivieren door beschaduwing van natuurvriendelijke oeverzones	Behoud en ontwikkeling van natuurvriendelijke oeverzones en uiterwaarden door het bevorderen van successie en natuurlijke herstelmaatregelen	Momenteel in de ontwerpfase; er wordt nagegaan of dit kan worden vertaald naar/aangepast aan ongewervelde levensgemeenschappen (macrozoöbenthos)	Gevolgen
Who will be where: Climate driven redistribution of fish habitat in southern Germany	Who will be where: Climate driven redistribution of fish habitat in southern Germany	Basen et al.	2022	https://journals.plos.org/climate/article?id=10.1371/journal.pclm.0000006.	DE	To improve the robustness of projections of freshwater fish distributions under climate change, species distribution models (SDMs) were calculated for six fish species in southwestern Germany with different ecological requirements along an upstream-downstream gradient in a multi-general circulation model (GCM) approach. Even when accounting for broad variation in GCMs and realistic RCPs, these results suggest climate change will drive a significant redistribution of fish habitat.	Gevolgen van de klimaatverandering; verspreiding van vissen	Onderzoek			affect the distribution of four of the six fish species. The potential ranges of salmonids are predicted to decline by up to 92% (brown trout) and 75% (grayling). In contrast; habitat suitability for perch and roach is predicted to increase by up to 108% and 53%; respectively. Even when accounting for broad variation in GCMs and realistic RCPs, these results suggest climate change will drive a significant redistribution of fish habitat. Salmonid-dominated communities in				Gevolgen
Een balanceeract - de toekomst van vissen in de klimaatcrisis. Analyses, prognoses, handelingsopties	Auf schmalem Grad° - Die Zukunft der Fische in der Klimakrise. Analysen, Vorhersagen, Handlungsmöglichkeiten	Basen et al.	2022	https://fortbildung-lazbw.lgl-bw.de/lazbw/webbasys/index.php?kathaupt=601&dsnr=77&kathauptalt=600	DE	Klimaatverandering heeft Duitsland allang bereikt. En we ervaren het niet alleen via grote gebeurtenissen die de nationale media halen. Veel van de effecten van de wereldwijde temperatuurstijging laten zich geleidelijk aan voelen en zijn vaak maar moeilijk op te merken, vooral in onze eigen wateren. Deze brochure werpt daarom een wetenschappelijk onderbouwde blik op dit	Gevolgen van de klimaatverandering; verspreiding van vissen; vissoorten	Onderzoek								Gevolgen
Klimaatverandering in meren in Beieren	Bayerische Seen im Klimawandel	Ministerie van Milieu en Consumentenbescherming van de Duitse deelstaat Beieren	2022	Bayerische Seen im Klimawandel (2022)	DE	Toelichting bij de resultaten van meer dan vijftien jaar onderzoek naar het klimaat in meren en beschrijving van toekomstige onderwerpen voor onderzoek.	Aquatische leefgebieden en levensgemeenschappen; ecosysteemdienst	Onderzoeksresultaten	Opwarming; vermenging; verdeling van nutriënten	Waterplanten; riet; algen; sedimenten	Veranderingen met winnaars en verliezers	Voorkomen van lozingen; natuurlijk herstel; verminderd watergebruik			Gevolgen
Onderzoek "Flits op meren en klimaatveranderin	Blitzlichtstudie „Seen und Klimawandel"	Duitse dienst voor natuurbeschermin g (BfN)	2022	Blitzlichtstudie „Seen und Klimawandel" (2022)	DE	Bijdragen met betrekking tot momenteel beschikbare onderzoeksresultaten over de gevolgen van klimaatverandering en de daaruit voortvloeiende		Literatuurstudie/ evaluatie van een netwerk	Droogte; veranderde hydrologie; waterbeheer		Verlies van wateroppervlakte; verandering in de	Voorkomen van lozingen; natuurlijk herstel; verminderd watergebruik			Gevolgen
TeMFi Temperatuurmodule voor inheemse vissoorten	TeMFi TemperaturModule für heimische Fischarten	Onderzoeksdienst visserij Baden-Württemberg	2022	https://temfi.ffs.lazbw.de/app2_Login/	DE	De hier ontwikkelde module combineert kennis over de temperatuureisen van individuele soorten met de verspreiding van visgemeenschappen in de wateren van Baden-Württemberg. De vissoorten van de referentiegemeenschap worden voor elk afzonderlijk riviertraject opgesomd en hun behoeften worden vergeleken met de heersende watertemperatuur. Er	Vissoorten; visgemeenschappen	Onderzoek			Geeft informatie over de temperatuurgevoeligheid van concrete riviertrajecten	[Informatie kan nuttig zijn bij de planning van maatregelen: bevorderen van beschaduwing; aanpassing van lozingsvergunningen]			Gevolgen
Te veel | te weinig Extremen beheersen | extremen	Zu viel | zu wenig Extreme meistern | Extremen begegnen	KLIWA	2022	https://www.kliwa.de/_download/broschueren/KLIWA-Broschuere-2022-d.pdf	DE	Weergave van veranderingen in het klimaat en de gevolgen daarvan, met een nadruk op waterextremen (hoogwater, zware neerslag, watertekort)	Klimaatverandering; gevolgen van de klimaatverandering; adaptatie;			Weergave van veranderingen in het afvoer- en neerslagregime	Weergave van gevolgen voor grondwater; laagwater; hoogwater; zware neerslag; gemiddeld				Gevolgen
2 °C-doel voor onze beken Watertemperatuur en schaduw	2 °C-Ziel für unsere Bäche Wassertemperatur und Beschattung	KLIWA	2022	https://www.kliwa.de/_download/poster/2%20%C2%B0C-Ziel%20f%C3%BCr%20unsere%20B%C3%A4che%20-%20Wassertemperatur%20und%20Beschattung.pdf	DE	In deze studie worden de effecten van beschaduwing door oevervegetatie op de daggemiddelde watertemperatuur onderzocht.		Modelleringsstudie	Stijging van de watertemperatuur		De kaarten geven informatie over mogelijke effecten van beschaduwing op de watertemperatuur in concrete wateren	[Kaarten kunnen nuttig zijn bij de planning van maatregelen: bevorderen van beschaduwing; aanpassing van lozingsvergunningen]			Gevolgen
Invloed van klimaatverandering op meren	Einfluss des Klimawandels auf Seen	KLIWA – samenwerkingsproject klimaatverandering en waterbeheer	2022	Einfluss des Klimawandels auf Seen – Literaturauswertungsstudie im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA (2015) (actuele versie 2022)	DE	Gevolgen van de klimaatverandering op wateren in Zuid-Duitsland; met de nadruk op de specifieke fysische en ecologische effecten op meren	Verlies aan diversiteit; veranderingen in de levenscyclus; concurrentievoorwaarden	Literatuurstudie (voor het eerst gepubliceerd in 2015, geactualiseerd in 2022)	Stijging van de watertemperatuur; vermenging		Dalende diversiteit in zoetwaterleefgebieden				Gevolgen

Informatie over de studie									Kenmerken van de studies gebruik makend van de DPSIR-aanpak						
Titel	**Oorspronkelijke titel**	**Auteur/uitgever**	**Jaar van publicatie**	**Link**	**(Deel)staat**	**Inhoudelijke samenvatting**	**Trefwoorden**	**Opmerking i.v.m. ''Informatie over de studie''**	**''Pressures'' (= drukfactoren)**	**''State'' (= toestand)**	**''Impact'' (= gevolg)**	**''Response'' (= maatregelen)**	**Opmerking ''Response''**	**Opmerking**	**Categorie**
Handboek voor de toepassing van diagnosetools voor de identificatie van causale belastingen op basis van het	Handbuch zur Anwendung von Diagnosetools für die Identifikation ursächlicher Belastungen auf der Basis des	LUBW	2022	https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10250	DE	Het document *''Handbuch zur Anwendung von Diagnosetools für die Identifikation ursächlicher Belastungen auf der Basis des Makrozoobenthos im Rahmen der Fließgewässerbewertung nach WRRL''* legt de doelstellingen van de diagnose vast en geeft een toelichting bij de opbouw en de toepassing van de diagnosetool en bij de interpretatie van de	Klimaateffecten; effecten op de MZB-gemeenschap	Onderzoek	Stijging van de watertemperatuur	MZB		[Diagnosetool kan nuttig zijn bij de planning van maatregelen: bevorderen van beschaduwing; aanpassing van lozingsvergunningen]			Gevolgen
de ecologische gesteldheid van oppervlaktewateren in het licht van de klimaatverandering	Entwicklung der ökologischen Beschaffenheit von Oberflächengewässern im Klimawandel	Duitse milieudienst (UBA)	2022	Entwicklung der ökologischen Beschaffenheit von Oberflächengewässern im Klimawandel	DE	In een uitgebreide impactanalyse worden de gevolgen van de klimaatverandering voor de abiotische en biotische factoren in rivieren en meren nader belicht, evenals de effecten op verschillende groepen van organismen.	EG-KRW; aquatische ecosystemen; interacties; modellering; minimale waterbehoefte	Literatuurstudie/interviews met experts	Droogte; ariditeit; waterbeheer	Vispopulatie; biomassa	Groeipercentages; mortaliteitspercentages	Herstel van natuurvriendelijke hydromorfologie; hydrologische streefbeelden			Gevolgen
Klimaateffecten op riviernatuur	Klimaateffecten op riviernatuur	Dorenbosch et al	2022	https://edepot.wur.nl/571889	NL	Dit onderzoek zet alle kennis op het gebied van klimaateffecten op de natuur in het rivierengebied op een rij en beoordeelt welke beheer- en inrichtingsmaatregelen het meest kansrijk zijn voor het behouden en versterken van kenmerkende riviernatuur in een veranderd klimaat.	Klimaateffecten; riviernatuur; temperatuur; afvoer; waterkwaliteit; grondwater; kwel; inundatie; maatregelen	Literatuurstudie	Extreme neerslag; lagere grondwaterstand uiterwaard; verzilting; stijging van de luchttemperatuur; zeespiegelstijging	Primaire productie en planten; ongewervelden en macrofauna; visfauna; amfibieën; vogels; habitat	Voor sommige soorten positief en voor andere negatief	Mogelijkheid voor mitigatie: hogere temperatuur; creëren diepere waterzones als koude-refugium; stimuleren kwelzones (kwelwater heeft lage temperatuur); beperken koelwaterlozingen; verminderen	Herstelmaatregelen; wet- en regelgeving; beheer		Gevolgen
Klimaateffecten op wateren in Zwitserland	Auswirkungen des Klimawandels auf Schweizer Gewässer	BAFU	2021	Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer (scnat.ch) (2021)	CH	In het project Hydro Change is er onderzoek gedaan naar de effecten van klimaatverandering op de Zwitserse wateren. Met de klimaatverandering verandert de hele waterhuishouding, maar met name de verdeling van de watervoorraad in oppervlaktewateren en grondwater per seizoen. Laagwater komt steeds vaker voor en het water warmt op. Dat heeft grote gevolgen voor de waterecologie, de		Syntheserapport	Divers	Divers	Divers	Divers			Gevolgen
Biodiversiteitsverlies stoppen, ondanks klimaatverandering	Biodiversitätsverlust stoppen - trotz Klimawandel	Universiteit Bern, Eawag en SKF	2021	Biodiversitätsverlust stoppen - trotz Klimawandel (wyssacademy.org)	CH	De soortenrijkdom van de visfauna in het gehele stroomgebied van de Aare wordt met een hoge ruimtelijke en taxonomische resolutie geregistreerd. Er wordt een ecologische nichemodellering gebruikt om rekening te houden met de behoeften van alle soorten. Met behulp van de modellen wordt statistisch bepaald	Modellering; biodiversiteit; multipele stressoren	Onderzoeksprojecten	Divers	Divers	Divers	Divers		Lopend project; nog geen rapport beschikbaar	Gevolgen
Klimaatrapport Noordrijn-Westfalen 2021 Klimaatveranderingen de gevolgen daarvan -	Klimabericht NRW 2021 Klimawandel und seine Folgen - Ergebnisse aus dem Klimafolgen- und	LANUV	2021	Klimabericht NRW 2021	DE	LANUV-rapport *''Klimawandelfolgen in Nordrhein-Westfalen – Ergebnisse aus dem Klimafolgen- und Anpassungsmonitoring''* presenteert de resultaten van de monitoring van klimaateffecten en klimaatadaptatie in Noordrijn-Westfalen, een uitgebreide versie van de	Klimaatverandering; monitoring van de effecten van klimaatverandering	Continue monitoring van de effecten van klimaatverandering in NRW	Veranderde afvoerdynamiek; stijging van de watertemperatuur	Biologische en chemische kwaliteitselementen conform EU-KRW	Veranderingen in het aquatische leefgebied	Wordt nog uitgewerkt	Gedetailleerde temperatuur- en afvoermetingen voor de beoordeling van de klimaateffecten in de wateren	Lopend programma voor de monitoring van de effecten van de klimaatverandering	Gevolgen
Klimaatveranderingen de hete zomer van 2018: gevolgen voor de visstand	Klimawandel und der Hitzesommer 2018: Folgen für die Fischbestände	Oexle et al.	2021	https://www.researchgate.net/publication/352035366_Klimawandel_und_der_Hitzesommer_2018_Folgen_fur_die_Fischbestande	DE	The year 2018 has been the warmest year since 1881, when regular measurements started in Germany. It has also been one of the driest years, with ten months in succession being too dry. This combined heat and drought wave caused severe impacts on most freshwater ecosystems. It led to overheated water bodies and critically low water levels in many lakes and rivers, up to completely dried out riverbeds. Often, this	Gevolgen van de klimaatverandering; verspreiding van vissen; vissoorten	Onderzoek							Gevolgen
Literatuurstudie temperatuur	temperatuurtoenamen op de grote wateren: een literatuurstudie met data-overzicht	Noordhuis et al.	2021	https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_630000_31/	NL	opwarming op de Nederlandse grote wateren op basis van internationale literatuur en datareeksen van Rijkswaterstaat en het KNMI. Daarbij stonden drie vragen centraal: 1) Wat zijn de effecten op voedselweb en soortgroepen, 2) hoe is de relatie met andere	Temperatuur; riviernatuur	Literatuurstudie	Stijging van de watertemperatuur; stijging van de luchttemperatuur	Ecosysteem; voedselweb; primaire productie; macrofauna; vissen; vogels; zoogdieren	fytoplankton; interactie met afnemende voedselrijkdom; verschuiving abundantie zooplankton;		Het rapport geeft geen adviezen voor Response		Gevolgen
Klimaatverandering in het Bodenmeer	Klimawandel am Bodensee	IGKB	2020	Faktenblatt ''KLIMAWANDEL AM BODENSEE'' (2020)			Gevolgen voor de watertemperatuur; waterstanden en circulatie	Resultaten onderzoeksproject	Watertemperatuur; waterstanden en circulatie	Biologische en chemische elementen		Reductie van antropogene stressfactoren			Gevolgen

Informatie over de studie									Kenmerken van de studies gebruik makend van de DPSIR-aanpak						
Titel	**Oorspronkelijke titel**	**Auteur/uitgever**	**Jaar van publicatie**	**Link**	**(Deel)staat**	**Inhoudelijke samenvatting**	**Trefwoorden**	**Opmerking i.v.m. "Informatie over de studie"**	**"Pressures" (= drukfactoren)**	**"State" (= toestand)**	**"Impact" (= gevolg)**	**"Response" (= maatregelen)**	**Opmerking "Response"**	**Opmerking**	**Categorie**
Climate change and freshwater ecosystems: Impacts on water quality and	Climate change and freshwater ecosystems: Impacts on water quality and	Eawag, Beneteau et al.	2019	Report_BAFU_Water_Quality_Ecological_Status_2018_-_final_version (lib4ri.ch)	CH	Climate change is one of the largest and possibly most impactful ongoing but also future environmental drivers. Understanding effects of climate change on aquatic ecosystems and their function is thus of high importance. Within the framework of the Hydro-CH2018	Ecologische effecten klimaatverandering; ecosysteem; voedselweb	Literatuurstudie	Divers	Divers	Divers	Divers			Gevolgen
Monitoring van klimaateffecten	Klimafolgenmonitoring	KLIWA – WG Waterecologie rivieren, KLIWA-consortium	2019	https://www.kliwa.de/gewaesseroekologie-monitoring.htm	DE	Langetermijngegevensbasis voor de registratie van waterecologische gevolgen van de klimaatverandering op 54 meetlocaties in rivieren en negen meetlocaties in meren die maar weinig antropogene invloeden hebben	Waterecologische monitoring van klimaateffecten	Continu monitoringsprogramma	Hoofdzakelijk stijging van de watertemperatuur; veranderde afvoerdynamiek	Biologische kwaliteitselementen visfauna en MZB	Veranderde soorten- en abundantiestructuur	Evt. aangepaste potentieel natuurlijke referentiebiocenoses	Effecten op de ecologische beoordeling van wateren	Langetermijnprogramma; zinvolle evaluatie momenteel nog niet mogelijk	Gevolgen
Klimaat Scan	Klimaatscan: programmatische aanpak grote	Noordhuis et al.	2019	https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_624995_31/	NL	Welke gevolgen heeft klimaatverandering voor grote wateren in Nederland en hoe kan de klimaatrobuustheid daarvan worden vergroot? Deze vraag staat centraal in	Klimaateffecten; riviermatuur; temperatuur; afvoer;	Literatuurstudie	Stijging van de watertemperatuur; zeespiegelstijging;	Ecosysteem; visfauna; primaire productie en waterplanten	Voor sommige soorten positief en voor andere negatief	Versterken klimaatrobuustheid door vergroten diversiteit, verbeteren connectiviteit, verbeteren	Adviezen voor beleid		Gevolgen
gevolgen van langdurige droogte voor vissen in de Nederlandse	gevolgen van langdurige droogte voor vissen in de Nederlandse	van de Ven	2019	https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/water-ruimte/ecologie/droogte-vis/	NL	De watertekorten die ontstonden ten gevolge van het uitblijven van neerslag en sterk verminderde wateraanvoeren leidden tot grote schade voor verschillende sectoren, waaronder landbouw,	Droogte; droogval; laag water; visfauna; temperatuur	Effectstudie, interviews met waterbeheerders	Droogte; laagwater	Visfauna	Negatief effect op vismigratie; tussen zee en rivier, en tussen rivier en achterland	wateren nodig als refugia voor vissen; Na de droogteperiode is het belangrijk dat er weer			Gevolgen
tijden van klimaatverandering: inventarisatie en adaptatiemogelijkheden	Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique: état des lieux et pistes pour l'adaptation	Florence BAPTIST, Nicolas POULET, Nirmala SEON-MASSIN /ONEMA/	2014	https://professionnels.ofb.fr/fr/	FR	de waargenomen impact van de klimaatverandering op de fysiologie, de fenologie en het verspreidingsareaal van zoetwatervissen in de loop van de voorbije decennia, verschillende projectietools en hun toepassingsgebied, waarmee kwantitatieve antwoorden	Klimaatverandering, aquatische leefgebieden, adaptatiemaatregelen, visfauna, temperatuur, hydrologie	Onderzoek	Stijging van de watertemperatuur; stijging van de luchttemperatuur; waterkwaliteit	Watertemperatuur; waterkwaliteit; afvoer; toestand van aquatische habitats	positief en voor andere negatief; verschuiving richting bovenloop, verminderde groei, verandering in de samenstelling van	Herstel van de ecologische passeerbaarheid; beperking van de wateronttrekking, verhoging van de restafvoer, verbetering van de waterkwaliteit, herstel van aquatische habitats			Gevolgen; maatregelen
Invloed van klimaatverandering op de kwaliteit van rivieren - literatuur-evaluatie en eerste inschatting van de kwetsbaarheid	Klimawandels auf die Fließgewässerqualität– Literatur auswertung und erste Vulnerabilitätseinschätzung	KLIWA – samenwerkingsproject klimaatverandering en waterbeheer	2010	Einfluss des Klimawandels auf die Fließgewässerqualität – Literaturauswertungen und erste Vulnerabilitätseinschätzung (2010)	DE	Interacties tussen klimaatverandering en rivierkwaliteit in de drie Duitse deelstaten Beieren, Baden-Württemberg en Rijnland-Palts; eerste gevoeligheidsonderzoek en inschatting van de kwetsbaarheid van biocenoses en watertypes	Klimaateffecten op rivieren; effectketens; gevolgen	Literatuurevaluatie	Stijging van de watertemperatuur; laagwater; droge periodes	Biologische elementen die relevant zijn voor de beoordeling; visfauna MZB; aquatische flora; fytoplankton afhankelijk van het gebied (boven-, midden-, benedenloop)				o Literaturauswertung: Übersicht zu Ursachen und Effekten des Klimawandels (2010) (PDF)	Gevolgen
Handreiking:	Vollzugshilfe: Criteria voor adviesverlening bij aanvragen voor wateronttrekkinge	Werkgroep Biologie van de deelstaat Baden-Württemberg	2023		DE	Handreiking in de vorm van een puur GIS-project dat de (lagere) wateroverheden ondersteunt bij het verlenen van adviezen in het kader van aanvragen voor wateronttrekkingen. Op een kaart worden criteria afgebeeld die het weigeren van een wateronttrekking	Het gaat onder andere om de volgende criteria: Waterafhankelijke habitattypen; mercuurwaterjuffer;	GIS-project				Biedt de rechtvaardiging om wateronttrekkingen uit kwetsbare wateren te beperken en zodoende meer water in het gebied te houden.			Maatregel
Toekomstplan water Rijnland-Palts	Zukunftsplan Wasser Rheinland-Pfalz	Ministerie van Klimaatbescherming, Milieu, Energie en Mobiliteit	2023	https://mkuem.rlp.de/themen/wasser/zukunftsplan-wasser-rheinland-pfalz	DE	Het zukunftsplan Wasser Rheinland-Pfalz is een participatief proces. Stakeholders van verschillende belangengroepen zullen in het kader van een gemodereerd discussieproces maatregelen ontwikkelen voor klimaatgerelateerde veranderingen in het wateraanbod en het watergebruik. Daarnaast heeft de	Adaptatiedegrij, ontwikkelen van maatregelen; hogere watertemperaturen; warmtelozing; laagwater; hogere	Stakeholderprocess	Stijging van de watertemperatuur; extreme neerslag; hoogwater; laagwater; wateronttrekkingen	Biologische en chemische kwaliteitselementen conform EU-KRW	Aquatische leefgebieden en biodiversiteit	Schematische en zeldzamere dynamische ontwikkeling van wateren; oeverstroken; integraal beheer van watervoorraden; minimalisatie van chemische en thermische belastingen;	Nationale herstelmaatregelen om de veerkracht ten opzichte van extreme gebeurtenissen te	Stakeholderproces gestart in 2023; tijdschaal: tien jaar en meer	Maatregel
"RiverDiv" - Bescherming van de aquatische diversiteit en vermindering van	"RiverDiv" - Schutz der aquatischen Diversität und Verringerung der Gewässerverschmu	Interreg Bovenrijn, RPTU, Universiteit Freiburg, Universiteit Straatsburg &	2023	https://nuw.rptu.de/projekte/riverdiv	DE; FR	Om de aquatische biodiversiteit te beschermen en chemische verontreinigingen in rivieren te verminderen, zal het in de toekomst steeds belangrijker worden om watervoorraden grensoverschrijdend te beheren. De hoofddoelstelling van het project RiverDiv is het	Aan klimaatverandering aangepast rivierbeheer; biodiversiteit; waterontwikkeling; refugia	Lopend, grensoverschrijdend onderzoeksproject	Stijging van de watertemperatuur; laagwater; chemische belastingen	Biologische kwaliteitselementen visfauna en MZB; chemie	Aquatische leefgebieden en biodiversiteit	Wordt nog uitgewerkt	Gedetailleerde temperatuurmetingen in het longitudinale profiel om klimaatgerelateerde	Programma op middellange termijn; er zijn nog geen evaluaties beschikbaar	Maatregel
Klimaatfiches in de regeringsdistricten in Beieren: Effecten van	Auswirkungen des Klimawandels und Betroffenheit von Kommunen	Dienst voor milieu van de Duitse deelstaat Beieren	2022	https://www.lfu.bayern.de/klima/klimaanpassung_bayern/index.htm#steckbriefe	DE	Instrumenten, informatie, aanbevolen acties, praktische voorbeelden en tabellen met maatregelen voor klimaatadaptatie in Beieren	Effecten van klimaatverandering op waterbeheer; klimaatadaptatie;	Resultaat van verschillende publicaties	Stijging van de watertemperatuur; stijging van de luchttemperatuur	Belasting van wateren en organismen; visfauna; algen	Immigratie van warmteminnende soorten; toegenomen groei; verdringing	Alarmplan Main			Maatregel
Klimaatverandering Rijn-Maas - Klimaatadaptatie- en mitigatieplan voor het Rijn-Maasstroomgebied	Plan d'adaptation et d'atténuation au changement climatique	Stroomgebiedcomité Rijn-Maas	2023	https://www.eau-rhin-meuse.fr/plan-dadaptation-et-dattenuation-au-changement-climatique-0	FR	Als antwoord op de kwetsbaarheden in de aangewezen gebieden worden er in het plan, in het onderdeel "water", concrete en bindende oplossingen voor alle actoren op het terrein voorgesteld. Het plan valt uiteen in tien strategische aandachtsgebieden en bevat gekwantificeerde doelen.	Klimaatadaptatie; terrestrische en aquatische natuurlijke leefgebieden, bodem; stedelijke leefgebieden; op de natuur gebaseerde oplossingen	Plan	Stijging van de luchttemperatuur; stijging van de watertemperatuur; stortvloeden en sediment en verontreinigingen (chemische belasting); laagwater; toename van wateronttrekkingen	Watertemperatuur; waterkwaliteit; afvoer; toestand van aquatische habitats	Verslechtering van ecosystemen; verspreiden of verdwijnen van soorten; verslechtering van de waterkwaliteit; ernstiger laagwater; groter hoogwater	Herbeplanten, ecologische corridors herstellen; Infiltratie verbeteren/verhardingen weghalen; Landbouwsystemen ontwikkelen die niet afhankelijk zijn van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen; De emissie van microverontreinigingen verminderen; Grasland en bossen ontwikkelen die			Maatregel

	Kolom	Inhoud van de kolom	Opmerking
Informatie over de literatuur en de studie	Titel van de studie	Titel van de studie	/
	Oorspronkelijke titel	Titel van de studie in de oorspronkelijke taal	/
	Auteur/uitgever en jaar van publicatie	Vul de referentie als volgt in: auteur/uitgever en jaar van publicatie: bijv. Dorenbosch et al. 2022	/
	Link	Hyperlink naar de studie (pdf, website, enz.)	/
	(Deel)staat	(Deel)staat waar de studie is uitgevoerd	/
	Inhoudelijke samenvatting	De belangrijkste inhoudelijke elementen en bevindingen van de studie dienen te worden samengevat in één à twee nauwkeurige zinnen (fictief voorbeeld: ''De studie houdt zich bezig met de effecten van klimaatverandering op de Europese rivierkreeftpopulaties en laat zien dat klimaatverandering leidt tot snellere verdringingseffecten door invasieve soorten in het laagland'').	/
	Trefwoorden	Trefwoorden i.v.m. het onderzoek (niet meer dan 5)	/
	Opmerking i.v.m. ''Informatie over de literatuur en de studie''	Aanvullende informatie die niet kan worden ingevuld in de kolommen A - G	/
Informatie over de ''DPSIR-aanpak''	Pressures (= drukfactoren)	zie tabblad ''Uitleg_DPSIR-aanpak''	Indien er meer informatie per cel is, scheid de informatie dan d.m.v. een ";". Gelieve zo mogelijk deze trefwoorden te gebruiken: Stijging van de watertemperatuur; stijging van de luchttemperatuur; zeespiegelstijging; lagere grondwaterstand uiterwaard; verzilting; extreme neerslag; hoogwater; laagwater; stortvloeden en erosie (fysieke belasting); stortvloeden en sediment en verontreinigingen (chemische belasting); toename van wateronttrekkingen
	State (= toestand)	zie tabblad ''Uitleg_DPSIR-aanpak''	Indien er meer informatie per cel is, scheid de informatie dan d.m.v. een ";".
	Impact (= gevolg)	zie tabblad ''Uitleg_DPSIR-aanpak''	Indien er meer informatie per cel is, scheid de informatie dan d.m.v. een ";".
	Response (= maatregelen)	bijv. maatregelen (zie tabblad ''Uitleg_DPSIR-aanpak'')	Indien er meer informatie per cel is, scheid de informatie dan d.m.v. een ";".
	Opmerking ''Response''	Aanvullende informatie bij maatregelen in kolom ''L'', bijv. of het gaat om theoretische of om geplande/uitgevoerde maatregelen en of/hoe de financiering geregeld is. Er kan ook informatie worden ingevuld over de uitvoeringssnelheid van de maatregel: onderscheid tussen de categorieën ''uitvoering op korte termijn'' (= maatregelen die binnen één jaar worden uitgevoerd), ''uitvoering op middellange termijn (= maatregelen die binnen vijf jaar worden uitgevoerd) en ''uitvoering op lange termijn'' (= maatregelen die binnen tien jaar worden uitgevoerd) of een combinatie van meerdere mogelijkheden.	Indien er meer informatie per cel is, scheid de informatie dan d.m.v. een ";".

De categorieën van indicatoren uit de DPSIR-aanpak, die in de milieukunde is ontwikkeld, worden in dit project gerelateerd aan de effecten van klimaatverandering op de ecologie en worden overeenkomstig technisch rapport nummer 25/1999 van het Europees Milieuagentschap (https://www.eea.europa.eu/publications/TEC25) als volgt gedefinieerd:

Let op: Informatie over ''drivers'' vervalt, omdat hier toch altijd ''klimaatverandering'' zou moeten worden genoemd.

Naam van de indicator		Definitie	Voorbeelden
''Pressures''	Drukfactoren/drukindicatoren	Drukfactoren resulteren uit de sturende factoren en beschrijven de directe effecten van de sturende factoren op de milieu-elementen, die dan weer leiden tot veranderingen in de mileutoestand.	Toename van de winterneerslag, stijging van de watertemperatuur (zomer en winter), zeespiegelstijging (estuarium)
''State''	Toestand/toestandindicator	Toestandindicatoren beschrijven een veranderde toestand van het milieu die resulteert uit de drukfactoren en die zelf weer gevolgen heeft voor andere milieu-elementen.	Waterafvoer, stroomsnelheden, waterstanden en grondwaterstanden in overstromingsgebieden, waterkwaliteit, watertemperatuur Ecologische toestand van wateren
''Impact''	Indicatoren van de gevolgen	Indicatoren van de gevolgen beschrijven veranderingen van de toestand als gevolg van de belastingen, hier in het bijzonder voor de ecologie/levensgemeenschappen/soorten. De verschillende gevolgen kunnen elkaar beïnvloeden.	Verlies van biodiversiteit/uitsterven van soorten en verslechtering van de waterecologie; Verontreiniging van wateren door schadelijke stoffen en chemicaliën; algenbloei; Verstoring van de waterbeschikbaarheid en de ecosysteemdiensten;
''Response''	Maatregelenindicatoren	Maatregelenindicatoren geven de maatschappelijke reactie weer op bepaalde milieuproblemen, die betrekking kunnen hebben op alle bovengenoemde categorieën, bijv. type, omvang en succes van strategieën, plannen en maatregelen voor het behoud, de aanpassing of de ontwikkeling van milieu-elementen. Maatregelen kunnen verschillende gebieden omvatten en van politieke, juridische, planologische of financiële aard zijn.	Maatregelen kunnen geordend worden op type maatregel op basis van (1) wet- en regelgeving (bijv. beperking van emissies van verontreinigende stoffen), (2) beleid, (3) programma (bijv. in Nederland Integraal Rivier Management en Programmatische Aanpak Grote Wateren), (4) inrichtingsprojecten voor het uitvoeren van herstelmaatregelen, (5) beheer (bijv. ter verbetering van de waterefficiëntie) of (6) bewustmaking (bijv. bewustmaking op het gebied van watergebruik).