



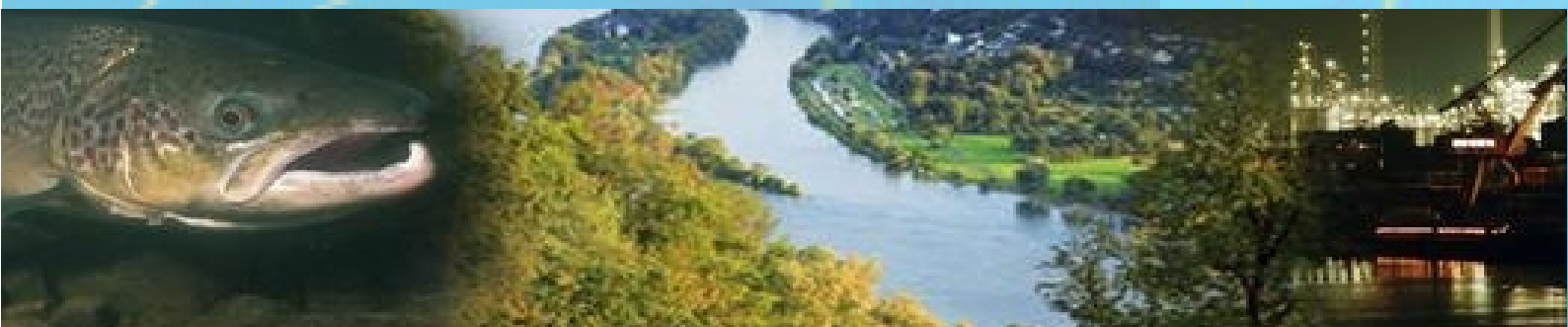
**Actuele stand van de kennis over mogelijke
effecten van veranderingen in het afvoerregime
en de watertemperatuur
op het ecosysteem van de Rijn
en mogelijke handelingsperspectieven**

Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Rapport Nr. 204



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

ISBN 3-941994-28-X978-3-941994-28-7

© IKSР-CIPR-ICBR 2013

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

Inleiding	3
1. Mogelijke effecten van de klimaatverandering op aquatische en amfibische leefgebieden in het Rijnstroomgebied	4
1.1 Algemene interacties	6
1.2 Fytoplankton	9
1.3 Macrofyten / fyto­benthos.....	12
1.4 Macrozoöbenthos	12
1.5 Visfauna.....	13
1.6 Exoten.....	17
2. Mogelijke effecten van de klimaatverandering op semiaquatische en terrestrische leefgebieden in het Rijnstroomgebied	19
3. Mogelijke handelingsperspectieven voor de mitigatie van negatieve effecten van de klimaatverandering op het ecosysteem van de Rijn	20
3.1 Versteving van ecosystemen door bescherming en aaneenschakeling van leefgebieden	20
3.2 Mitigatie van de effecten van verhoogde watertemperaturen	22
3.3 Mitigatie van bodemerosie en sedimentaanvoer als gevolg van zware neerslag en hoogwater	22
4. Dwarsverbanden naar klimaatgerelateerde maatregelen door gebruikers .	23
5. Mogelijkheden voor de optimalisatie van de gegevensbasis voor de biologische KRW-toestand- en trendmonitoring met het oog op de te verwachten effecten van de klimaatverandering	24
6. Bibliografie	25
Bijlage 1	28
Bijlage 2	34

Inleiding

De werkgroep Ecologie van de ICBR heeft in het onderhavige document een gestructureerd overzicht gemaakt van de in de literatuur beschreven effecten van fenomenen van de klimaatverandering op de aquatische en amfibische habitats in het Rijnstroomgebied.

Hierbij is uitgegaan van de belangrijkste, te verwachten gevolgen van de klimaatverandering voor de water- en warmtehuishouding van de Rijn en zijn zijrivieren, zoals weergegeven in de literatuurstudie¹ en de "Studie naar scenario's"² van de expertgroep KLIMA van de ICBR. Met betrekking tot de temperatuurontwikkeling is er op dit moment alleen informatie uit de literatuurstudie, maar in 2013 zullen er recentere gegevens beschikbaar komen.

In beide studies wordt er duidelijk gewezen op de te verwachten signalen van de klimaatverandering. Deze verwachtingen worden evenwel uitgedrukt in bandbreedtes voor de nabije en de verre toekomst, die voor ecologische uitspraken slechts in beperkte mate bruikbaar zijn. Voorspellingen van extreme afvoeren, vooral van extreme hoogwaterafvoeren, waren niet of alleen met een grote onzekerheidsmarge mogelijk.

Het onderhavige rapport is ingedeeld volgens de in de atlas bij het "Biotoopverbond Rijn"³ genoemde biotooptypes en volgens de biologische kwaliteitselementen conform KRW.

Er wordt niet alleen een beschrijving gegeven van de algemene interacties, maar ook specifiek ingegaan op de verwachte gevolgen voor de vier afzonderlijke biologische kwaliteitselementen fytoplankton, macrofyten/fytobenthos, macrozoöbenthos en visfauna. Aan exoten is een apart hoofdstuk gewijd.

In één hoofdstuk worden ook de semiaquatische en terrestrische leefgebieden besproken. Een bijzondere plaats wordt ingenomen door de bepaling van "richtwaarden voor de gevoeligheid", bij het bereiken waarvan er moet worden uitgegaan van een aantasting van beschermingsdoelen⁴. Zoals vastgelegd in het mandaat van de werkgroep Ecologie ligt de nadruk op de ontwikkeling van een gemeenschappelijk beeld van de effecten van temperatuurveranderingen op de levensgemeenschappen.

In verdere hoofdstukken wordt er een overzicht gegeven van handelingsperspectieven die nu al kunnen worden gerealiseerd om de te verwachten negatieve effecten van de klimaatverandering te mitigeren. Er wordt duidelijk aangetoond dat een verbetering van de functionaliteit van ecosystemen door bescherming, aaneenschakeling en uitbreiding van leefgebieden en de hieruit resulterende vergroting van de biodiversiteit in principe positief moeten worden beoordeeld en daarom gelet op de effecten van de klimaatverandering dienen te worden ondersteund. Dat betekent dat de realisatie van het "Biotoopverbond Rijn" ook met het oog op de mitigatie van de gevolgen van de klimaatverandering een steeds belangrijker rol speelt.

Het rapport wordt afgerond met dwarsverbanden naar klimaatgerelateerde maatregelen door watergebruikers en mogelijkheden om de gegevensbasis te optimaliseren.

¹ ICBR 2009a

² ICBR 2011

³ ICBR 2006

⁴ De beschermingsdoelen die verband houden met waterbeheerskwesaties en mogelijk worden getroffen door de klimaatverandering zijn: bescherming tegen overstromingen, waterkwaliteit, verschillende gebruiksfuncties van water, zoals drinkwaterproductie, opwekking van hydro-elektriciteit, waterwegen en koelwatergebruik. Vanuit ecologisch oogpunt wordt er onder beschermingsdoelen het volgende begrepen: populaties van planten- en diersoorten, biotooptypes/leefgebieden en de functionaliteit van ecosystemen in hun geheel.

1. Mogelijke effecten van de klimaatverandering op aquatische en amfibische leefgebieden in het Rijnstroomgebied

In aquatische ecosystemen is de klimaatverandering voor de meeste organismen een extra stressfactor bovenop de reeds bestaande belastingen als gevolg van uiteenlopende antropogene belangen⁵. 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, rivieroeveren en kusthabitats⁶.



Figuur 1: Schraal grasland in het natuurgebied Taubergießen (foto: Regeringspresidium Freiburg)

De kwetsbaarheid (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.

De kwetsbaarste ecosystemen bevinden zich in het Rijnstroomgebied in de volgende regio's:

- in de Boven-Rijnslenk zullen de levensomstandigheden voor organismen waarschijnlijk veranderen als gevolg van hogere temperaturen, frequenter hoogwater en zware neerslag en een verschuiving van de neerslag van de zomer naar de winter;
- 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.

Het minst kwetsbaar zijn de middelgebergtes met hun koeler en natter klimaat⁷. Echter, ook hier zijn er negatieve inschattingen voor wetlands en kleinere wateren en voor bepaalde soorten die zijn aangepast aan koel en nat weer (zie hieronder).

In het kader van het KLIWA-project⁸ zijn directe en indirecte effecten van de klimaatverandering op een rij gezet voor abiotische factoren en voor (groepen van) organismen. Omdat grote stroomgebieden op verschillende manieren worden beïnvloed door een grote verscheidenheid van factoren en gebruiksfuncties, zijn de effectrelaties in

⁵ diverse auteurs in RABITSCH et al. 2010

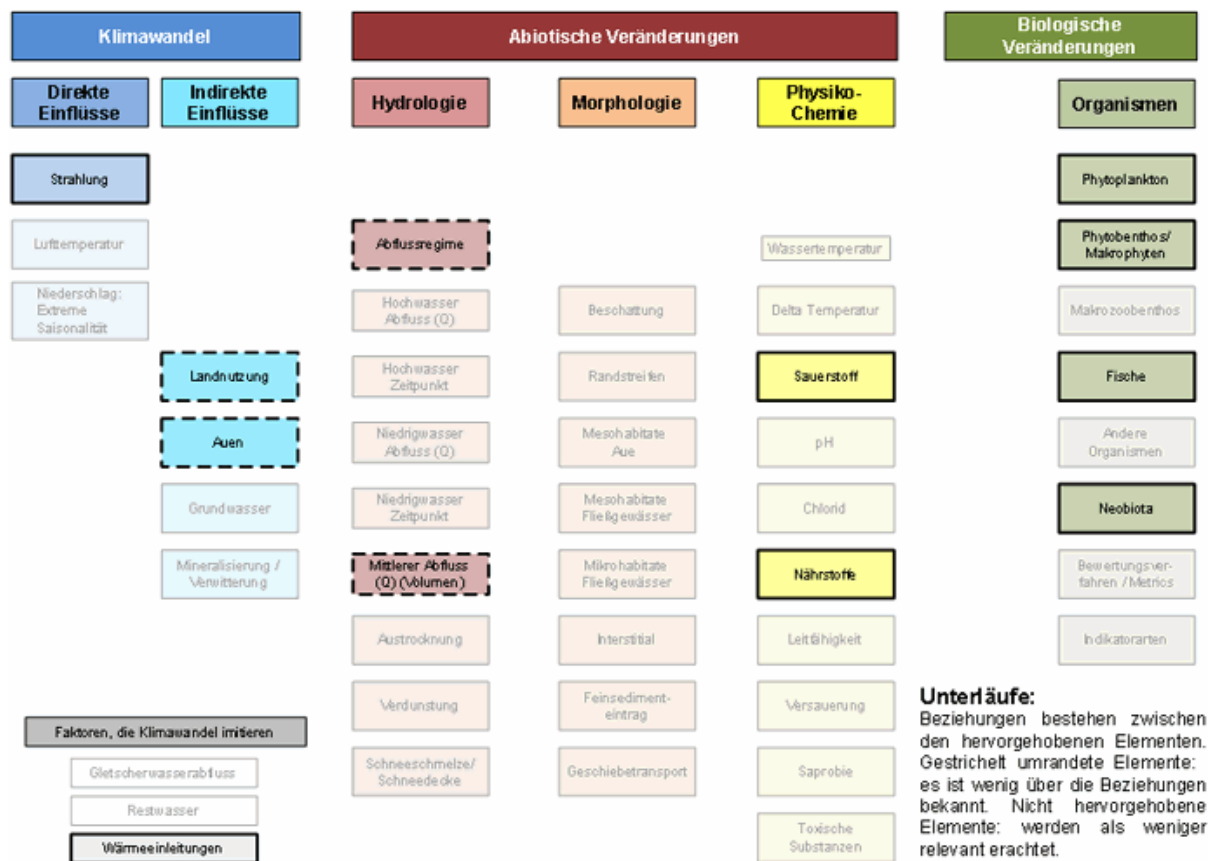
⁶ RABITSCH et al. 2010

⁷ ZEBISCH et al. 2005

⁸ KLIWA 2010, <http://fliessgewaesserbiologie.kliwa.de>

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 overschaduwd door andere factoren (bijv. stofconcentraties) of antropogene gebruiksfuncties. In tegenstelling tot in midden- en bovenlopen speelt in door stuwen gereguleerde trajecten het mogelijke zuurstofgebrek een belangrijke rol.

Figuur 2 geeft een overzicht van de betrokken parameters in dit watertype.



Figuur 2: Abiotische factoren en groepen van organismen in de benedenloop 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: <http://fliessgewaesserbiologie.kliwa.de>.
Legenda: zie bijlage 2

1.1 Algemene interacties

Hoog- en laagwater, die door de mens als ernstig versturende en rampzalige gebeurtenissen worden ervaren, zijn 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. Echter, naar de effecten van steeds vaker voorkomende extreme waterstanden op organismen is nog maar weinig onderzoek gedaan. De gevolgen van dit recente verschijnsel zouden verstrekkend kunnen zijn. Omdat levensgemeenschappen in grote rivieren 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 kolonisiestructuren van rivieren⁹.

Ook langdurig of zelfs blijvend verhoogde watertemperaturen moeten anders worden beoordeeld, omdat de watertemperatuur veel vitale processen in organismen stuurt (zie hieronder).

⁹ Koop et al. 2007

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, zouten 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's¹⁰.

Als de sneeuw vroeger begint te smelten, kunnen er grote hoeveelheden slib en nutriënten van de akkers worden gespoeld, waarop zo vroeg in de lente nog geen gewassen groeien, en in het water terechtkomen. Hierdoor gaat de rivier meer zwevend stof vervoeren, wat gevolgen heeft voor alle sessiele organismen en levensstadia (macrofyten, fytobenthos, macrozoöbenthos, visseneitjes). Bovendien kunnen de leefgebieden in het grindbed op de waterbodem als gevolg van het fijne materiaal dichtslibben ("verstopt raken"), met als mogelijk resultaat zuurstofgebrek.

Een eventueel 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 overstromingen van kleine en middelgrote omvang zich vaker voordeden, zou er eventueel vaker kunnen worden overgegaan tot de ecologische inundatie van retentiegebieden voor hoogwater.

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.

Vogels, zoals de kleine plevier en de oeverloper, palmen kale grindbanken in de oeverzone in om te broeden; loopkevers en spinnen vinden er een voedselrijk leefgebied. Mobiele waterorganismen volgen de dalende waterspiegel, terwijl sessiele (vastzittende) organismen de droogte moeten zien te trotseren, bijv. door de vorming van overlevingsstadia. In het resterende waterlichaam in het midden van de rivier stijgt zowel het aantal soorten als het aantal individuen per m² (abundantie). Omdat de stroomsnelheid hier meestal hoger is dan in de nu drooggevallen leefgebieden dichtbij de oever, lopen veel organismen het risico af te drijven.



Figuur 3: Schalen van korfmosselen (*Corbicula*) op de oever van de Rijn in Oberwesel op 24 augustus 2003 (foto: W. Wiechmann, BfG)

Het volledige uitdrogen van de stromende en stilstaande wateren heeft tot gevolg dat de daar levende organismen ofwel direct sterven ofwel hun leefgebied verliezen. Laagwater kan concentratie-effecten veroorzaken in de chemische verontreiniging. Gevoelige organismen kunnen hiervan schade ondervinden. Laagwater kan ook leiden tot een toename van de concentratie van ziekteverwekkers, zeker als in het kleinere

¹⁰ Koop et al. 2007

watervolume tegelijkertijd de temperatuur en het zuurstofverbruik toenemen (zie hieronder).

Watertemperatuur

De temperatuur is voor planten en dieren een van de belangrijkste milieufactoren, omdat ze onder andere de voortplanting, groei, ontwikkeling en migratie stuurt. Effecten ondervinden vooral koudbloedige (poikolotherme) organismen, zoals vissen en macrozoöbenthos, die geen eigen lichaamswarmte produceren, maar waarvan de lichaamstemperatuur zich aan de omgevingstemperatuur aanpast.

Stijgende watertemperaturen kunnen de soortensamenstelling en de dominantiestructuur in rivieren veranderen. Bijzonder gevoelig zijn koud-stenotherme soorten, die gebonden zijn aan lage temperaturen. Hun arealen kunnen naar het noorden of naar hoger gelegen wateren verschuiven. 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.

Hoge temperaturen hebben nog een ander effect: ze verhogen het metabolisme. Een temperatuurstijging met 10°C verdubbelt het energieverbruik voor de grondstofwisseling (Q10-regel). Als er niet genoeg voedsel beschikbaar is, raakt het immuunsysteem verzwakt. Bovendien wordt de verspreiding van ziekteverwekkers, parasieten, enz. bevorderd¹¹.

Vooraf in de benedenloop van grote rivieren worden plantaardige biologische elementen (fytoplankton, macrofyten en fytoëbenthos) ook getroffen door de intensievere zonnestraling.

Richtwaarden voor de gevoeligheid: temperatuur

Zowel de gemiddelde temperatuur als de maximumtemperatuur zijn relevant. Voorkeuren voor bepaalde watertemperaturen zijn met name voor vissen goed bekend. Daarbij 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 dodelijke 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. In de optimale temperatuurbandbreedte nemen vissen voedsel op en vertonen ze geen tekenen van temperatuurgerelateerd abnormaal gedrag. De voorkeurstemperatuur is de temperatuurrange waarbinnen vissen in een temperatuurgradiënt verblijven¹². De in de EU-richtlijn¹³ vastgelegde maximumtemperatuur die niet mag worden overschreden, bedraagt 21,5°C in water voor zalmachtigen (water waarin koudwatervissen / zalm- en forelachtigen leven) en 28°C in water voor karperachtigen (water waarin warmwatervissen / karperachtigen leven). In wateren waarin vissoorten kunnen voorkomen die koud water nodig hebben voor hun voortplanting mag de watertemperatuur in de paaitijd niet hoger worden dan 10°C. De temperatuurgrenzen mogen echter in 2% van de tijd worden overschreden.

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. In 2006 duurde de hitte 31 dagen en toen was er geen sprake van massale sterfte¹⁴.

¹¹ KOOP et al. 2007, RABITSCH et al. 2010

¹² KÜTTEL et al. 2002, zie ook tabel 1 in bijlage 1

¹³ Richtlijn 2006/44/EG van 6 september 2006 betreffende de kwaliteit van zoet water dat bescherming of verbetering behoeft teneinde geschikt te zijn voor het leven van vissen

¹⁴ KOOP et al. 2007

Vooral in de uitloop van grote meren 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 ongeveer 50.000 vlagzalmen om (20,9 ton vis). 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°C¹⁵.

Richtwaarden voor de gevoeligheid: zuurstof

De zuurstofconcentratie in water bedraagt normaliter minstens 6 tot 9 mg/l. 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 bereikt¹⁶. Als de zuurstofconcentratie onder 3 mg/l daalt, kunnen de meeste vissoorten niet meer overleven, zelfs bij lage temperaturen¹⁷.

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 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 aanwakkert¹⁸.

In modellen wordt er op basis van lagere afvoeren, gestegen temperaturen en eutrofiëringsprocessen meestal een toename van bijv. de chlorofylconcentraties voorspeld¹⁹.

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 vissen²⁰.

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 macrofyten²¹. 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 komen²².

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 vissen²³.

Met het waterkwaliteitsmodel QSim (*Quality Simulation*) van de BfG kunnen de ontwikkeling van het plankton (met name algen) en het verloop van de waterkwaliteit en

¹⁵ BUWAL 2004

¹⁶ Vgl. richtlijn 2006/44/EG van 6 september 2006 betreffende de kwaliteit van zoet water dat bescherming of verbetering behoeft teneinde geschikt te zijn voor het leven van vissen

¹⁷ uit KOOP et al. 2007: CASSELMANN & HARVEY 1975

¹⁸ ICBR 2009e

¹⁹ uit KLIWA 2010: ZEBISCH et al. 2005; WAGENSCHNEIN 2006, STADTHAGEN 2007, DUCHARNE et al. 2007, QUIEL et al. 2008

²⁰ uit KLIWA 2010: SOMMER & LENGFELLNER 2008

²¹ BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE 2006

²² ICBR 2004

²³ BUWAL 2004

de vrachten van organisch zwevend stof worden gesimuleerd. Er wordt van uitgegaan dat de voorspellingen, ook voor de Rijn, gaandeweg de ontwikkeling van het model realistischer zullen worden²⁴.



Figuur 4: Verschillende verschijningsvormen van door blauwalgen overwoekerd water (Bron: M. Leitão, Guide pratique des Cyanobactéries planctoniques du Grand Ouest de la France)

²⁴ uit KLIWA 2010: KIRCHESCH & SCHÖL 1999

1.3 Macrofyten / fytobenthos

Het afvoerregime en het daarmee samenhangende transport van bodemmateriaal hebben een aanzienlijke invloed op de groei van macrofyten. 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. Vaak gaat hier een achteruitgang van de ecologische kwaliteit 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", vgl. hoofdstuk over de "visfauna")²⁵. Een temperatuurstijging zou vooral de koud-stenotherme plantensoorten in kleine rivieren met veel fijn slib, bronnen en bergmeren raken en bij zeldzame soorten een achteruitgang kunnen teweegbrengen. Voorbeelden van dergelijke planten zijn groot bronkruid (*Montia fontana*), paarbladig goudveil (*Chrysosplenium oppositifolium*) en rossig fonteinkruid (*Potamogeton alpinus*)²⁶.

1.4 Macrozoöbenthos

Macrozoöbenthos ondervindt van de klimaatverandering een voornamelijk negatieve invloed. 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. 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 (reofiele) soorten neemt af. In de weken na het hoogwater in de Rijn neemt het aandeel reofiele soorten in de zijrivieren weer toe en komt er een nieuwe biocenose tot ontwikkeling die duidelijk verschilt van de biocenose in de Rijn²⁷. 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 het gebied anders domineren, 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 ontwijken²⁸.

Een stijging van de temperatuur zal vooral een uitwerking hebben op het macrozoöbenthos in beken, kleine rivieren en bronnen in bergachtige gebieden. Hier horen veel koud-stenotherme soorten thuis. Er zal een opwaartse 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")²⁹.

Als voorbeelden kunnen hier worden genoemd:

²⁵ IBISCH 2004

²⁶ MKUNLV 2010

²⁷ uit KLIWA (2010): BECKMANN 2002

²⁸ KLIWA 2010

²⁹ uit KLIWA 2010: CORDELLIER 2009, LORENZ & GRAF 2008; diverse auteurs in WWF 2009

- 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*);
- veel soorten steenvliegen (Plecoptera);
- veel soorten kokerjuffers (Trichoptera), bijv. de *Agapetus fuscipes*³⁰.

Een secundair effect van de achteruitgang van belangrijke grazers zoals de *A. fuscipes* in kleine beken zijn de toenemende vorming van een biofilm en algenlagen op stenen (zie hoofdstuk over "macrofyten / fytobenthos").

Vooraf in de Kalkalpen leven er veel endemische ongewervelde soorten, waarvoor een temperatuurstijging een bedreiging vormt.

Bij extreem hoge zomertemperaturen moet ervan worden uitgegaan dat schelpdieren sterven, zoals is gebeurd in de zomer van 2003³¹.

Voordeel kunnen trekken van de klimaatverandering zouden bijv. 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 vooruitgang van deze soorten over het algemeen zal leiden tot een achteruitgang van de ecologische toestand conform KRW³².

Een stijging van de watertemperaturen in de winter kan bijv. het voortijdige stopzetten van een rustperiode of veranderingen in de ontwikkelingstijden teweegbrengen³³.

Sommige soorten vertonen ook een hoger voltinisme, d.w.z. dat ze zich vaker voortplanten en er meerdere generaties per jaar zijn³⁴.

1.5 Visfauna



Figuur 1: Mannetjeszalm (foto: Ulrich Haufe, LÖBF)

Emissies en bodemmateriaal

Door de toevoer van fijn bodemmateriaal, bijv. bij zware neerslag, kan de interstitiële zone dichtslibben, d.w.z. dat de ruimtes tussen de zandkorrels en het slib in de grindbedden op de waterbodem, waar grindpaaiers (onder andere zalmen en forellen) 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

³⁰ MKUNLV 2010, RABITSCH et al. 2010

³¹ uit KLIWA 2010: LUBW 2004

³² DAUFRESNE et al. 2007, GROB 2003, LUBW 2004 en SCHÖLL 2007 in KLIWA 2010

³³ MEHLIG & ROSENBAUM-MERTENS 2008, FISCHER 2003, LADEWIG 2004 in KLIWA 2010

³⁴ uit KLIWA 2010: BRAUNE et al. 2008

water afneemt³⁵. Diffuse emissies kunnen bovendien de waterkwaliteit verslechteren en daardoor schade berokkenen aan viskuit en jonge vissen.

De sedimentdynamiek is een natuurlijk proces in rivieren dat de waterbodem steeds opnieuw structureert en voorziet van zuurstof. Echter, tijdstip en frequentie zijn hierbij doorslaggevend en zouden als gevolg van de klimaatverandering kunnen veranderen.

Omdat er door het smelten van de gletsjers en de permafrost in de Alpen puin bloot komt te liggen, gaat men ervan uit dat veel bergrivieren voortaan meer grind en zand zullen vervoeren. Het gevolg hiervan is dat het transport van bodemmateriaal toeneemt. Gebeurt dit ook in de winter in de periode van de voortplanting en het uitkomen van de eitjes van de beekforel, die in het grind paait, kunnen het viskuit en de jonge vissen hiervan schade ondervinden³⁶.

Laagwater

Lage afvoeren zijn in het algemeen ongunstig voor de vismigratie. Als een laagwaterfase te lang duurt, overschrijden trekvisen hun tijdsbudget voor het bereiken van de paairivieren en kan het komen tot noodpaai in suboptimale habitats. Bovendien is het sterfterisico als gevolg van visserij of predatie verhoogd.

Door een afname van de afvoer zou in 2070 lokaal 4% tot 22% (met pieken tot 75%) van de biodiversiteit van vissen kunnen zijn verdwenen³⁷.

Droge periodes kunnen, vooral als ze samenvallen met verhoogde watertemperaturen, leiden tot meer vissterfte en frequentere ziektes (zie hieronder).



Figuur 2: Laagwater in de Rijn in 2009 (foto: Marc Braun)

Watertemperatuur

Vergeleken met de karperachtigen, die vrij temperatuurtolerant zijn, vertonen zalmachtigen een relatief kleine temperatuurtolerantie (zie tabel 1 in bijlage 1). Waarden als de kritische temperatuurgrens en de optimale temperatuurbandbreedte (zie hierboven) verschillen per levensstadium en luisteren bij eitjes en jonge dieren meestal nauwer dan bij 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 doorslaggevend³⁸. Bovendien passen vispopulaties zich per soort aan aan de regionale omstandigheden. Voor forellen (*Salmo trutta*, in het Rijngebied komen meerdere ondersoorten voor) wordt een bedreiging door hoge watertemperaturen en laagwater bijvoorbeeld alleen voor Zuid-

³⁵ MKULNV 2010, IBISCH 2004

³⁶ Lopend project SEDRIVER, <http://www.wsl.ch/fe/gebirgshydrologie/wildbaeche/projekte/sedriver/>

³⁷ uit KLIWA 2010: XENOPOLOUS et al. 2005

³⁸ TISSON & SOUCHON 2010

Europa, inclusief de Alpen, voorspeld³⁹. 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. 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.

Indien als gevolg van de zachtere winters de paaitijd van vissen vroeger begint, zal er gedurende een langere periode in het jaar kleine zoöplanktivore vis aanwezig zijn in de voedselketen⁴⁰.

Omdat forellen belangrijke predatoren van macrozoöbenthos zijn, zou hun achteruitgang uitwerkingen hebben op de gehele aquatische voedselketen⁴¹.

Verdeling van de visgemeenschappen over de lengte van de rivier

In het middelgebergte en de Alpen leidt de temperatuursafhankelijkheid van vitale processen tot een duidelijke verdeling van de visgemeenschappen over de rivier van bron tot monding. Zo is er sprake van het forellen-, vlagzalmen-, barbelen- en brasemgebied. Deze indeling resulteert 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 alleen in de benedenlopen.

Als de watertemperatuur stijgt, wordt het leefgebied van warmwatervissen, zoals de barbeel, de brasem, de alver, het biermpje en de kopvoorn, groter. Ze kunnen zich stroomopwaarts verspreiden en dus eventueel zelfs profiteren van de klimaatverandering.

Zalmachtigen zijn daarentegen aangepast aan koel water en worden teruggedrongen of zullen proberen om door migratie naar hoger gelegen gebieden kritische temperaturen te vermijden⁴². 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 salmonidegebieden 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 kopvoorn⁴³. 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 3,0°C in de benedenloop, die daarvoor al werd gedomineerd door thermofiele soorten. Enkele reofiele karperachtigen hebben zich teruggetrokken in hoger gelegen gebieden⁴⁴.

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 van visgemeenschappen naar hoger gelegen wateren daarom meestal helemaal niet mogelijk is, zouden hogere watertemperaturen de achteruitgang of lokaal zelfs de teloorgang van sommige soorten kunnen betekenen (zie tabel 1 in bijlage 1). Bovendien zijn veel soorten uit de midden- en benedenloop (vlagzalmen- en barbelengebied) niet aangepast aan de hoge stroomsnelheden in bovenlopen, zodat het twijfelachtig is of ze de "leemte" in het soortenspectrum kunnen aanvullen en de visstand in de bovenloop van rivieren stabiel kan blijven.

³⁹ EUROLIMPACS 2009, NOTTER & STAUB 2009; zie ook figuur 2

⁴⁰ STOWA 2011

⁴¹ EUROLIMPACS 2009

⁴² RABITSCH et al. 2010

⁴³ PONT 2003

⁴⁴ KHALANSKI et al. 2008

Door de vestiging van verwante soorten zullen de populaties in de zomercoele tot licht zomerwarme midden- en benedenloop (vlagzalmen- en barbelengebied) uniformer worden⁴⁵.

De populaties in het brongebied zullen een toename in de soortendiversiteit beleven als gevolg van de immigratie van soorten uit verder benedenstrooms gelegen wateren. Echter, door de toegenomen concurrentie kunnen speciale bronsoorten lokaal uitsterven, aangezien ze niet stroomopwaarts kunnen vluchten en eventueel te maken krijgen met de (tijdelijke) uitdroging van de bronnen.



Figuur 8: 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 gebied 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

Net zoals de zalm is de **spiering** een trekvis met een vetvin die bij lage temperaturen paait en een relatief hoog zuurstofgehalte nodig heeft. In een aantal meren waarin de spiering voorkomt, onder andere in het IJsselmeer, is de zuurstofhuishouding door de klimaatverandering veranderd. In gebieden waar ook eutrofiëring is, en dus veel organische belasting, is het zuurstofverbruik extra groot. Bij hoge temperaturen kan dit (kortstondig) leiden tot zuurstofgehalten die zo laag zijn dat ze sterfte veroorzaken bij de spiering. Het is zeer duidelijk aangetoond dat ook coregoniden en kwabaal hieronder te lijden hebben. De teruggang van de visstand wordt niet gecompenseerd door soorten die beter zijn aangepast aan hogere temperaturen en lagere zuurstofconcentraties, waardoor de visstand in zijn geheel sterk achteruitgaat door het verlies van de koudeminnende soorten. In rivieren zijn deze verbanden niet waargenomen, omdat de zuurstoftoevoer in stromend water beter is⁴⁶.

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 hogere afvoeren in rivieren van alle afmetingen kunnen de omstandigheden voor de vismigratie gedurende een korte periode lokaal zelfs beter worden.

⁴⁵ uit KLIWA 2010: BUISSON & GRENOUILLET 2009

⁴⁶ vgl. Kangur et al., diverse publicaties; LAMMENS (RWS), mondelinge mededeling

Te warme watertrajecten tussen de zee en de paaigebieden kunnen ware thermische barrières worden voor trekvis (bijv. zalm, zeeforel, elft). 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 bereiken (onderste zone van het forellengebied, barbelengebied). 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 beschikken⁴⁷. 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 (warmtelozingen) zou een verhoogde watertemperatuur in de Rijn en zijn zijrivieren in de toekomst een beperkende factor kunnen vormen voor de zalmpopulatie in de Rijn⁴⁸.

Ziektes

Bij hoge temperaturen onder de letale grens stijgt het sterfterisico door stress en infecties, vooral voor onopzettelijk bijgevangen dieren die worden teruggezet⁴⁹. 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 bij beekforellen vanaf een watertemperatuur van 15°C dodelijk is, als gevolg van de opwarming van het klimaat waarschijnlijk vaker voorkomen⁵⁰. 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 gewerkt⁵¹.

1.6 Exoten

De afgelopen jaren wordt er in de Rijn en zijn zijrivieren, geholpen door de scheepvaart en antropogene gebruiksfuncties, een aanzienlijke verandering in de levensgemeenschappen waargenomen als gevolg van immigrerende exoten, waardoor biologische interacties abiotische 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 beïnvloeden⁵².

Veel exoten zijn tolerant voor eutrofiëring, verzilting en vooral hogere temperaturen en profiteren op die manier indirect van de klimaatverandering.

De toename en verspreiding van de meeste warmteminnende exoten wordt begunstigd door zachte winters en belemmerd door strenge winters met aanhoudende koude en watertemperaturen onder 5°C.

Macrofyten

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 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

⁴⁷ ICBR 2009b; BREUKELAAR (RWS), mondelinge mededeling

⁴⁸ ICBR 2009b

⁴⁹ ICBR 2009b

⁵⁰ uit KLIWA 2010: WAHLI et al. 2002, STERUD et al. 2007; BURKHARDT-HOLM 2009

⁵¹ ICBR 2004, KOOP et al. 2007

⁵² STOWA 2011

zou kunnen profiteren van de klimaatverandering als de watertemperatuur stijgt. De afgelopen jaren heeft *E. nuttallii* de brede waterpest (*Elodea canadensis*) verdrongen. Dit is ook een neofyt die tot voor kort een brede verspreiding kende, maar slechts temperaturen tot 25°C kan verdragen. Ook planktonalgen staan in grote concurrentie met *E. nuttallii*.

De grote waternavel (*Hydrocotyle ranunculoides*) geeft de voorkeur aan stilstaand of traag stromend, eutroof water en bereikt zijn fysiologisch optimum bij een temperatuur tussen 25°C en 30°C. Tot dusver is de soort in het Rijnstroomgebied alleen in de Erft waargenomen. Als er sprake is van dichte begroeiing oefent de soort als gevolg van haar drijvende en boven het wateroppervlak uitstekende bladeren een grote concurrentiedruk uit op andere, ondergedoken soorten; ze kan inheemse soorten verdringen⁵³.

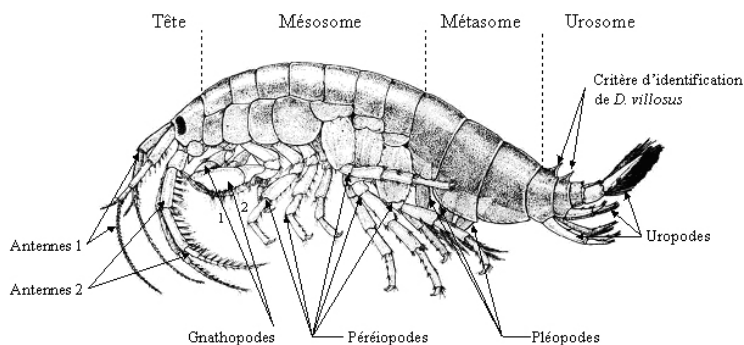
Ook voor de warmteminnende grote kroosvaren (*Azolla filiculoides*) wordt er uitbreiding verwacht⁵⁴.

Macrozoöbenthos

De oorspronkelijk uit Zuidoost-Azië stammende Aziatische korfmossel (*Corbicula fluminea*) domineert thans als invasieve soort de vaarwegen. De soort is 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 zoetwaterslakken 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 sterfte⁵⁵.

Andere soorten die waarschijnlijk wel zullen varen bij hogere watertemperaturen zijn de Pontokaspische vlokreeft (*Dikerogammarus villosus*) en de tijgerplatworm (*Dugesia tigrina*).

De exotische, uit Nieuw-Zeeland stammende Jenkins' waterhoren (*Potamopyrgus antipodarum*) profiteert van de lage waterstanden, omdat de soort als grazer in het zachte substraat foerageert.



Figuur 3: Exoot *Dikerogammarus villosus* (Quelle: Université de Lorraine)

Visfauna

De Kesslers grondel (*Neogobio kessleri*) is inheems in de Donau en heeft zich via het Main-Donaukanaal verspreid naar het Rijngebied. De soort tolereert watertemperaturen van 25°C tot 30°C. Omdat ze als roofvis ongewervelde dieren vreet, staat ze in concurrentie met inheemse vissoorten. De Kesslers grondel eet daarenboven ook visseneitjes, waardoor de soort een negatieve invloed zou kunnen hebben op de programma's voor de herintroductie van de zalm en andere vissen.

⁵³ HUSSNER et al. 2010; diverse bronnen in KLIWA 2010

⁵⁴ MKULNV 2010

⁵⁵ KOOP et al. 2007

De zwartbekgrondeel (*Neogobio melanostomus*, onder andere inheems in de Zwarte Zee) vertoont een vergelijkbaar gedrag. Daarnaast zou ook het feit dat deze soort 's nachts foerageert inheemse vissoorten de das om kunnen doen. Soortgelijke effecten zijn ook te verwachten van de Pontische stroomgrondeel (*Neogobius fluviatilis*), hoewel deze soort met een temperatuurtolerantie van 4°C tot 20°C waarschijnlijk minder zal profiteren van de klimaatverandering.

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 zuurstofgehalten. Daarom zou ook deze soort baat kunnen vinden bij de klimaatverandering⁵⁶.

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

- Moeras, riet en ruigte (biotooptype 3)
- Grasland (biotooptype 4)
- Droge biotopen (biotooptype 5)
- Ooibossen / overige bossen in voormalige uiterwaarden (biotooptypes 6 en 7)

Tijdens aanhoudende droogte in de zomer kan verdroging, verdamping en daling van het grondwaterpeil in natte biotopen, zoals riet, ruigte, vochtig en nat grasland en ooibossen, leiden tot toegenomen humus- en veenvorming en daardoor tot een verhoogde beschikbaarheid van voedingsstoffen en uiteindelijk eutrofiëring. In droge biotopen daalt daarentegen de beschikbaarheid van voedingsstoffen, wat leidt tot oligotrofiëring. Beide processen kunnen verschuivingen in het soortenspectrum teweegbrengen, wat gepaard kan gaan met een verlies van zeldzame soorten.

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 bedreigd⁵⁷.

Droge biotopen kunnen bijvoorbeeld 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 waarschijnlijk profiteren van de stijgende



temperatuur en eventueel ook verloren leefgebieden kunnen heroveren. Hierbij speelt het Rijndal tussen de Duits-Franse Bovenrijn en de Rijndelta een bijzondere rol als migratieroute van het zuiden naar het noorden.

Op grasland moet er rekening worden gehouden met een vroeger begin van het maai- en graasseizoen, wat gevolgen heeft voor de graslandsoorten.

Figuur 4: Uiterwaardlandschap bij Bingen (foto: Klaus Wendling)

⁵⁶ BUWAL 2002

⁵⁷ MKUNLV 2010

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

Hoewel het onderwerp klimaatverandering niet expliciet wordt genoemd in de tekst van de EU-KRW, hebben de EU-waterdirecteuren in hun "gezamenlijke implementatiestrategie" vastgesteld dat dit onderwerp in tal van actieterreinen van de cyclische implementatie van de KRW kan worden geïntegreerd. Concreet gaat het om de typologie van wateren, de analyse van negatieve invloeden ("*pressures and impacts*"), de economische analyse, de monitoring, de maatregelenprogramma's en de doelstellingen⁵⁸. De maatregelenprogramma's zouden op basis van beschikbare kennis moeten worden onderworpen aan een "klimaatcheck". Er moet worden nagegaan welke maatregelen het adaptatievermogen vergroten dan wel verkleinen, welke maatregelen kunnen worden beschouwd als no-regret- of win-winoplossingen en welke maatregelen wat hun effectiviteit in het bereiken van de KRW-doelstellingen betreft min of meer robuust zouden kunnen zijn tegen de gevolgen van de klimaatverandering (*robust measures*). Vanaf 2015 moeten de beheerplannen "klimaatbestendig" (*climate proofed*) zijn⁵⁹. Vooral de ecologische en morfologische kwaliteitsdoelstellingen van de KRW lijken geschikt om de veerkracht (het weerstandsvermogen) 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 zijn⁶⁰. 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.

3.1 Versteving 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. 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

⁵⁸ European Commission 2009, vgl. ook REESE 2011

⁵⁹ Rapport "Best practices and approaches for a climate check of the first Programmes of Measures" aan de EU-waterdirecteuren (11/2008)

⁶⁰ "middelharde" resp. "harde" stelling uit Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Österreich (2010)

passen. De referentietoestand (o.a. soortengemeenschap) zou eventueel moeten worden herzien.

Uitheimse, in het bijzonder invasieve soorten, (neozoa en neofyten) zouden moeten worden geobserveerd en onderzocht (vgl. hoofdstuk 4). Echter, zeker in de scheepvaartwegen zijn preventie en controle gebonden aan nauwe grenzen (WIESNER et al. 2010, LUWG 2011).

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).

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 reofiele 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 ontwikkelen⁶¹.

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

- "Rivieren revitaliseren" (*Flussrevitalisierungen*) in Zwitserland⁶²
- "Groene en blauwe basisstructuur" (*Trame verte et bleue*) in Frankrijk⁶³
- "Geïntegreerd Rijnprogramma" (*Integriertes Rheinprogramm*) in de Duitse deelstaat Baden-Württemberg⁶⁴
- "Actie blauw" / "Actie blauw plus" (*Aktion Blau / Aktion Blau Plus*) in de Duitse deelstaat Rijnland-Palts
- "Levendige wateren" (*Lebendige Gewässer*) in de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen
- "Ruimte voor de rivier" in Nederland⁶⁵
- het Masterplan trekvissen Rijn van de ICBR in het gehele Rijnstroomgebied⁶⁶

Er zouden potentiële klimaatrefugia kunnen worden geïdentificeerd en verbonden met actuele arealen van bedreigde vissoorten⁶⁷.

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 komende realisatie van het "Biotoopnetwerk Rijn"⁶⁸, 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.

⁶¹ Partenariat für Umwelt und Klima 2011, Luxemburg

⁶² zie BAFU / EAWAG 2010

⁶³ zie www.legrenelle-environnement.fr/-Trame-verte-et-bleue-.html

⁶⁴ zie www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1188090/index.html

⁶⁵ zie www.ruimtevoorderivier.nl/

⁶⁶ zie ICBR 2009c

⁶⁷ FREYHOF 2009 in RABITSCH et al. 2010

⁶⁸ ICBR 2006

3.2 Mitigatie van de effecten van verhoogde watertemperaturen

Als zijwateren zijn verbonden met de hoofdstroom kunnen vissen uit de Rijn koelere (bijv. lommerrijke) zijtakken- en rivieren gebruiken als lokaal refugium. Dankzij rivierverruiming kan er bovendien uitwisseling plaatsvinden tussen rivierwater en grondwater. Bij hoge watertemperaturen vormt het koude grondwater dat hierbij opwelt ook een toevluchtsoord voor vissen. 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. 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.

De extra, antropogene stijging van de watertemperatuur door warmtelozingen zou tot een minimum moeten worden beperkt en mag het bereiken van de goede ecologische toestand of het goede ecologische potentieel niet in de weg staan. De in de EU-richtlijn⁶⁹ vastgelegde maximumtemperatuur die niet mag worden overschreden, bedraagt 21,5°C in water voor zalmachtigen (water waarin koudwatervissen / zalm- en forelachtigen leven) en 28°C in water voor karperachtigen (water waarin warmwatervissen / karperachtigen leven). In wateren waarin vissoorten kunnen voorkomen die koud water nodig hebben voor hun voortplanting mag de watertemperatuur in de paaitijd niet hoger worden dan 10°C. De temperatuurgrenzen mogen echter in 2% van de tijd worden overschreden.

Omdat in de KRW is bepaald dat de Viswaterrichtlijn, waarin normen zijn gesteld voor de EU-lidstaten, eind 2013 wordt ingetrokken, zullen er nieuwe regels moeten worden ontwikkeld voor warmtelozingen. In Duitsland bestaat het plan om de nieuwe regels vast te stellen op basis van de bepalingen in de onlangs aangenomen nationale verordening inzake oppervlaktewater. Hierbij zal er rekening worden gehouden met de eisen die soorten of soortgemeenschappen in de loop van hun gehele levenscyclus aan bepaalde riviertypes stellen.

In specifieke gevallen kan met vernieuwende sturingsinstrumenten worden gegarandeerd dat seizoensgebonden richtwaarden 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 reduceren⁷⁰. In hete periodes zou de informatie-uitwisseling over getroffen maatregelen ter vermindering van warmtelozingen en de internationale netwerkvorming tussen de actoren moeten worden verbeterd.

Bij uitzetmaatregelen met vissen zou moeten worden gecontroleerd of het geselecteerde riviertraject op het moment van de uitzet qua temperatuur geschikt is voor de gewenste soort, ook als de soort er vroeger algemeen voorkwam⁷¹.

3.3 Mitigatie van bodemerrosie en sedimentaanvoer als gevolg van zware neerslag en hoogwater

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 bodemerrosie en sedimentaanvoer worden beperkt, vooral bij zware neerslag of hoogwater (zie 2.1).

Het reduceren van verharde oppervlakken kan hiertoe ook een belangrijke bijdrage leveren en is daarenboven een preventieve maatregel tegen overstromingen (*win win*)⁷².

⁶⁹ Richtlijn 2006/44/EG van 6 september 2006 betreffende de kwaliteit van zoet water dat bescherming of verbetering behoeft teneinde geschikt te zijn voor het leven van vissen. Vervalt per 31 december 2013 (artikel 22 KRW).

⁷⁰ HOFFMANN et al. 2011

⁷¹ FIBER-newsletter 03/2010,

http://www.fischereiberatung.ch/newsletter/News_10_03/index?clear_lang=1#klima

⁷² Partenariat für Umwelt und Klima 2011, Luxemburg

4. Dwarsverbanden naar klimaatgerelateerde maatregelen door gebruikers

De gebruikssectoren aan de Rijn – o.a. energieopwekking, industrie, scheepvaart en landbouw – moeten als gevolg van de klimaatverandering bedacht zijn op veranderingen, die indirect effecten zullen hebben op de ecologie van de Rijn.

Dergelijke effecten kunnen worden teweeggebracht door activiteiten die hetzij ter reductie van CO₂-emissies hetzij ter compensatie van effecten van de klimaatverandering worden ondernomen.

Teelt van energiegewassen

De teelt van energiegewassen impliceert intensieve akkerbouw. Als dit gebeurt op gronden die weer in gebruik zijn genomen als uiterwaard kan dit leiden tot een afname van de diversiteit aan soorten en leefgebieden in de uiterwaard en tot een toename van de emissie van nutriënten en fijn sediment naar het water. De meeste energiegewassen onttrekken bovendien meer water aan de bodem dan andere akkervruchten.

Hydro-elektriciteit

De bouw van nieuwe kunstwerken met waterkrachtcentrales maakt rivieren minder goed passeerbaar en verkleint de hoeveelheid vrij afstromende watertrajecten. Vooral voor rivieren die, eventueel in het kader van programma's voor doelsoorten, zijn aangewezen als habitat voor trekvis en rondbekken en voor de migratieroutes en paaigebieden van deze soorten vormt dit een bijzondere belasting, die zo mogelijk zou moeten worden voorkomen⁷³.

Bescherming tegen overstromingen

De technische bescherming tegen overstromingen zou alleen lokaal in woongebieden mogen worden uitgebreid. Vanuit het oogpunt van de natuurbescherming verdienen beschermingsmaatregelen tegen overstromingen die rekening houden met de ecologische functies van oeverstructuren en uiterwaarden (inundatie van polders of dijkverlegging) waar mogelijk de voorkeur boven technische beschermingsmaatregelen tegen overstromingen.

Scheepvaart

Als gevolg van de nu al frequentere laagwatersituaties in de Rijn heeft de scheepvaartsector een eerste aanzet gegeven tot het gebruik van kleinere schepen, vooral voor het goederenverkeer. Dit zou minder golfslag en daardoor minder effecten op planten en dieren in de oeverzone tot positief gevolg moeten hebben.

Verdieping van de vaargeul, waardoor scheepvaart ook bij laagwater mogelijk moet zijn, is een aanslag op de rivierbedding als leefgebied, voor bijv. macrozoöbenthos.

Als de natuur haar gang kan gaan, ontstaan er in rivieren vanzelf ondiepe zones met traag stromende wateren en kolken, waar jonge vissen, bijv. zeewaarts migrerende smolts en jonge elften, maar ook glasalen die het stroomgebied intrekken zich kunnen ophouden. Stroomopwaarts trekkende paairijpe dieren (bijv. zalm, zeeforel, elft) zoeken de koelere kolken vooral op in laagwatersituaties (als de watertemperaturen bijzonder hoog zijn) om daar een migratiepauze in te lassen. Het egaliseren en (gedeeltelijk) opvullen van deze structuren zou, zo mogelijk, moeten worden vermeden, teneinde leefgebieden en wijkplaatsen te behouden.

⁷³ ICBR 2009b

5. Mogelijkheden voor de optimalisatie van de gegevensbasis voor de biologische KRW-toestand- en trendmonitoring met het oog op de te verwachten effecten van de klimaatverandering

Goede ecologische toestand / goed ecologisch potentieel

Niet alleen bij de maatregelen, maar ook bij de beheersdoelen moet er rekening worden gehouden met mogelijke effecten van de klimaatverandering. Per watertype is er aan de hand van de natuurlijke referentietoestand een concrete definitie gegeven van de “goede ecologische toestand” en voor sterk veranderde waterlichamen van het “goede ecologische potentieel”. Als de “goede ecologische toestand” in een onbelaste (referentie)rivier niet meer wordt bereikt of als het doelbereik in de veranderde klimaatomstandigheden disproportioneel veel inspanningen zou vergen, kan aanpassing van de doelen geboden zijn. Met dergelijke doelbijstellingen moet echter zeer voorzichtig worden omgesprongen om een verlaging van de nagestreefde ecologische kwaliteit te voorkomen⁷⁴.

Als gevolg van stijgende watertemperaturen zouden de soortensamenstelling en de dominantiestructuur in rivieren kunnen veranderen met een verschuiving van arealen naar het noorden of naar wateren in hoger gelegen gebieden als resultaat. Dit geldt voor het spectrum van de inheemse soorten, maar ook voor afzonderlijke exoten, waarvan de explosieve uitbreiding in de wateren, vooral in de bevaarbare delen, mede wordt veroorzaakt door de klimaatverandering. Plaatselijk maken exoten meer dan 90% van de biomassa in de Rijn uit. Op zijn minst bij de “recente” nieuwkomers uit warmere streken (Zwarte Zee, Zuid-Amerika, Azië) wordt ervan uitgegaan dat een toenemende opwarming van de wateren de verspreiding verder in de hand kan werken⁷⁵.

Door deze dynamische ontwikkeling komt de geldigheid van de referentietoestand voor de biologische kwaliteitselementen macrozoöbenthos en eventueel ook vissen en macrofyten op lange termijn misschien op losse schroeven te staan. Een aantal staten in het Rijnstroomgebied heeft het vestigingspotentieel en de ecologische, economische en gezondheidsgerelateerde effecten van exoten al beoordeeld⁷⁶.

Monitoring van het klimaat

Als gevolg van de uiteenlopende gebruiksfuncties van grote rivieren en hun stroomgebied is het bijzonder moeilijk om de interacties tussen invloeden die worden teweeggebracht door de klimaatverandering en andere antropogene invloeden (scheepvaart, koelwaterlozingen, enz.) te ontwarren. De ontwikkeling van exoten in de waterwegen is hiervan een treffend voorbeeld. Daarenboven worden veel biologische processen mee gestuurd door de afvoer. Dit geldt in het bijzonder voor de ontwikkeling van het fytoplankton en voor de vorming van waterplantvelden in rivieren⁷⁷. Gelet op de waargenomen biologische verschuivingen binnen de soortgemeenschappen van ongewervelde organismen, maar ook binnen de visfauna in de Rijn is het dan ook uiterst lastig om afzonderlijke indicatororganismen te bekijken. Wijzigingen die het gevolg zijn van de klimaatverandering worden eventueel pas op lange termijn zichtbaar in biocenotische indices die direct of indirect worden beïnvloed door het temperatuur- of afvoerregime of door het nutriëntengehalte. Hiernaar wordt op dit moment onderzoek gedaan⁷⁸. In hoeverre de resultaten van dit onderzoek kunnen worden vertaald naar in de praktijk bruikbare monitoringsprogramma's voor de Rijn is nu nog onduidelijk. Daarom is een solide gegevensbasis, zoals bijeengebracht in het bestaande ICBR-meetprogramma biologie⁷⁹, zeer belangrijk voor de toekomstige ontwikkeling van instrumenten voor klimaatmonitoring.

⁷⁴ REESE 2011

⁷⁵ Regeringspresidium Freiburg 2009

⁷⁶ BUWAL 2002, Zwitserland; Partenariat für Umwelt und Klima 2011, Luxemburg

⁷⁷ KLIWA 2010

⁷⁸ Bijv. MARTEN 2011

⁷⁹ Zie ICBR 2009d

6. Bibliografie

- BAFU (BUNDESAMT FÜR UMWELT) (2010): Strategie der Schweiz zur Anpassung an die Klimaänderung - Zwischenbericht zuhanden des Bundesrats.
- BAFU / EAWAG 2010: Flussrevitalisierungen: Synergien zwischen Hochwasserschutz und Ökologie. Informationstagung des Projekts «Integrales Flussgebietsmanagement», 25. November 2010, Kulturhalle 12, Bern.
www.rivermanagement.ch .
- BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (2006): Niedrigwasserperiode 2003 in Deutschland: Ursachen - Wirkungen - Folgen. Mededeling nr. 27. 211.
- 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. Wenen.
- BUNZEL-DRÜKE, Margret (2011): Wie reagieren Fische und Rundmäuler auf den Klimawandel? Natur in NRW 4/11, S. 27 – 32.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT DER SCHWEIZ (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.
<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00533/index.html?lang=de>
- Euro-Limpacs-Projekt (2009): Definition of indicators for Climate Change effects on freshwater ecosystems. <http://www.climate-and-freshwater.info>.
- Europees Parlement en Europese Raad (2006): Richtlijn 2006/44/EG van 6 september 2006 betreffende de kwaliteit van zoet water dat bescherming of verbetering behoeft teneinde geschikt te zijn voor het leven van vissen (Gecodificeerde versie). Publicatieblad van de Europese Unie.
- 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). (richtsnoer 24 voor de gezamenlijke implementatiestrategie voor de Kaderrichtlijn Water).
- HOFFMANN, A.; KAUFMANN, G.; WINDMANN, M.; TISCHBIERECK, J.; LEONHARD, V. (2011): Temperaturmanagement in der Wupper. Natur in NRW 1/11, p. 34-40.
- HUSSNER, A., WEYER, K. VAN DE, GROSS, E., HILT, S. (2010): Eine Übersicht über die aquatischen Neophyten in Deutschland – Etablierung, Auswirkungen und Managementperspektiven. Handbuch Angewandte Limnologie – 27. Erg. Lfg. 4/10: 1-27.
- IBISCH, Ralf B. (2004): Biogene Steuerung ökologischer Systemeigenschaften des hyporheischen Interstitials der Lahn (Hessen). Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Wasserwesen, Institut für Hydrobiologie, Dresden.
- ICBR (2004): Warmebelasting der Gewässer im Sommer 2003. Zusammenfassung der nationalen Situationsberichte. 70e Plenaire Vergadering op 8 en 9 juli 2004 te Bern. ICBR-rapport 142 (alleen beschikbaar in het Duits en het Frans).
- ICBR (2006): Biotoopverbond Rijn. Rapport en atlas. www.iksr.org – Brochures.
- ICBR (2009a): Analyse van de stand van de kennis over de veranderingen die zich tot dusver hebben voorgedaan in het klimaat en over de gevolgen van de klimaatverandering voor de waterhuishouding in het Rijnstroomgebied. ICBR-rapport 174, www.iksr.org.

- ICBR (2009b): Visecologische totaalanalyse incl. beoordeling van de effectiviteit van de lopende en beoogde maatregelen in het Rijngebied met het oog op de herintroductie van trekvis. ICBR-rapport 167 (uitgebreide versie).
- ICBR (2009c): Masterplan trekvis Rijn. ICBR-rapport 179, www.iksr.org.
- ICBR (2009d): Rijn-Meetprogramma Biologie 2006/2007, deel A: Syntheserapport over de kwaliteitselementen fytoplankton, macrofyten / fytoënthos, macrozoënthos, vis. ICBR-rapport 168, www.iksr.org.
- ICBR (2009e): Rijn-Meetprogramma Biologie 2006/2007, deel II-A. Het fytoplankton in de Rijn (2006-2007). ICBR-rapport 169, www.iksr.org.
- ICBR (2011): Studie naar scenario's voor het afvoerregime van de Rijn – stand: april 2011. ICBR-rapport 188, www.iksr.org.
- 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. Long-term effects of concurrent eutrophication and environmental extremes on the fish community of Lake Peipsi (Estonia/Russia). Submitted to *Fishery Management and Ecology*.
- 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.
- KLIWA (2010): Einfluss des Klimawandels auf die Fließgewässerqualität – Literatúrauswertung und erste Vulnerabilitätseinschätzung. Bericht im Auftrag des KLIWA-Konsortiums. 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“ <http://fliessgewaesserbiologie.kliwa.de/>.
- 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.
- LAWA (2007): Leitlinien für ein nachhaltiges Niedrigwassermanagement – Empfehlungen, 15 p.
- LAWA (2010): Strategiepapier „Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft“ - Bestandsaufnahme und Handlungsempfehlungen. 36 S.
- LUWG (Hg.) (2011): Neubürger in Rhein und Mosel. – Infoblatt Gewässerschutz 01/11.
- MARTEN, M. (2011): Makrozoobenthos und Klimawandel – reichen unsere Monitoringsysteme aus? Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie, Bayreuth 2010. p. 375-380.
- MINISTERE DE L'ÉCOLOGIE, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT (2011): Plan national d'adaptation de la France aux effets du changement climatique 2011 – 2015. www.developpement-durable.gouv.fr .
- MINISTERIE VAN INFRASTRUCTUUR EN MILIEU, MINISTERIE VAN ECONOMISCHE ZAKEN, LANDBOUW EN INNOVATIE (2010): Deltaprogramma / Nationaal waterplan 2009 - 2015. www.rijksoverheid.nl

- 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. www.umwelt.nrw.de.
- MOSS, B., KOSTEN, S., MEERHOFF, M., BATTARBEE, R.W., JEPPESEN, E., MAZZEO, N., HAVENS, K., LACEROT, G., ZHENGWEN, L., DE MEESTER, L., PAERL, H. & SCHEFFER, M. (2011): Allied attack: climate change and nutrient pollution. *Inland waters* 1 (2011), pp. 101-105
- NOTTER, B., STAUB, E. (2009) Lebensraum der Bachforelle um 2050. GWA Gas, Wasser, Abwasser. Nr. 1/2009: 39-44.
- PARTENARIAT FÜR UMWELT UND KLIMA (2011): « Paquet Climat » (6 mai 2011), Synthesedokument der *groupe de pilotage* für eine nationale Nachhaltigkeitsstrategie, Luxemburg. www.developpement-durable-infrastructures.public.lu.
- PONT, D. (Koordinator) (2003): Programme GICC – AQUABIO. Conséquences potentielles du changement climatique sur les biocénoses aquatiques et riveraines françaises - Rapport final. CNRS, Université de Lyon
- RABITSCH, W., WINTER, M., KÜHN, E., KÜHN, I., GÖTZL, M., ESSL, F. und 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.
- REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG (2009): Bewirtschaftungsplan Hochrhein (Baden-Württemberg) gemäß EG-WRRL. Freiburg.
- 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-Bericht Nr. 2011-20 im Auftrag von Rijkswaterstaat waterdienst. Amersfoort.
- TERRA INCOGNITA STEDENBOUW EN LANDSCHAPSARCHITECTUUR im Auftrag des Ministerie van Infrastructuur, Milieu, Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (2009): Handreikingen Ruimtelijke Kwaliteit Rijn / Waal / IJssel. www.ruimtevoorderivier.nl.
- 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 Appliquée*, Band 17, p. 17-76.
- UNECE (2009): Guidance on water and adaptation to climate change.
- WAHLI, T., KNUESSEL, 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. & S. Nehring (2010): Gebietsfremde Fische in Deutschland und Österreich. BfN-Skripten 279, 192 p.
- WWF Deutschland (2009): Die mögliche Wirkung des Klimawandels auf Wassertemperaturen von Fließgewässern. Frankfurt am Main.
- ZEBISCH, M., GROTHMANN, T., SCHRÖTER, D., HABE, C., FRITSCH, U., CRAMER, W. (2005): Klimawandel in Deutschland – Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Kurzfassung. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), UFOPLAN 201 41 253.

Bijlage 1**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**: verordening 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; **FFH-richtlijn of 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 wetenschappelijke naam	Vissoort Nederlandse naam	Prognose	Beschermingsstatus, herkomst	Opmerking <u>Getolereerde temperaturen / extreme waarden (en optimum)</u>	BRON
<i>Abramis brama</i>	brasem	Toename		Eitjes 8-28°C (18-23°C) Larven 17,5-19,5°C Jonge exemplaren 14-34°C 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
<i>Alburnus alburnus</i>	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°C Larven 22,5°C Volwassen exemplaren 20-38°C (20-30°C) Paaitijd 14-28°C	BUNZEL-DRÜKE 2011, MKUNLV 2010, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	gestippelde alver	Afname		Als gevolg van de waarschijnlijk kleinere omvang van het vlagzalmengebied Eitjes 16,3-19,3°C Larven 12-24°C Volwassen exemplaren 1,9-23,9°C Paaitijd 12-25°C	BUNZEL-DRÜKE 2011, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Alosa alosa</i>	eift	Toename	FFH bijlage II & V	Als gevolg van het herintroductieproject, niet als gevolg van de klimaatverandering	BUNZEL-DRÜKE 2011

Vissoort wetenschappelijke naam	Vissoort Nederlandse naam	Prognose	Beschermingsstatus, herkomst	Opmerking	BRON
<i>Anguilla anguilla</i>	aal	Afname	CITES bijlage II, EU-Aalverordening	Getolereerde temperaturen / extreme waarden (en optimum) 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 Geen verandering	KÜTTEL et al. 2002, ICBR 2004
<i>Aspius aspius</i>	roofblei	Toename	FFH bijlage II & V		BUNZEL-DRÜKE 2011
<i>Barbus barbus</i>	barbeel	Afname Toename	FFH bijlage V	Bij een temperatuurstijging van 2°C Eitjes 12,1-21°C(16-19°C) Larven 14,8-18,9°C (18,5°C) Jonge exemplaren 7-27°C Volwassen exemplaren 7-30°C Paaitijd 8-20°C / 29°C Vergroting van het leefgebied naar de rivieren in het middelgebergte en de Alpen	PONT 2003 KÜTTEL et al. 2002
<i>Barbatula barbatula</i>	bermpje	Toename		Kan watertemperaturen > 20°C verdragen	MKUNLV 2010, BUNZEL-DRÜKE 2011
<i>Blicca bjoerkna</i>	kolblei	Afname Toename		Afname voorspeld in Franse rivieren bij een temperatuurstijging van 2°C Eitjes 15-20°C Volwassen exemplaren 15-25°C Paaitijd 9,6-29°C	PONT 2003 BUNZEL-DRÜKE 2011, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Carassius carassius</i>	croeskarper	Afname		Als gevolg van het droogvallen van kleine stilstaande wateren en sloten in de zomer	Bunzel-Drüke 2011
<i>Chondrostoma nasus</i>	sneep	Afname		Eitjes 8,6-19°C Larven 10-28°C (15°C) Jonge exemplaren 7-27°C Volwassen exemplaren 4-24°C Paaitijd 6-16,2°C	KÜTTEL et al. 2002, PONT 2003, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010

Vissoort wetenschappelijke naam	Vissoort Nederlandse naam	Prognose	Beschermingsstatus, herkomst	Opmerking Getolereerde temperaturen / extreme waarden (en optimum)	BRON
<i>Cottus gobio</i>	rivier-donderpad	Afname	FFH bijlage II	Jonge exemplaren < 28°C (5-27°C) Volwassen exemplaren < 16 / 20°C (10-15°C) Paaitijd 7-14°C	BUNZEL-DRÜKE 2011, KÜTTEL et al. 2002, PONT 2003
<i>Cyprinus carpio</i>	karper	Toename	Door uitzet wijd verspreid	Paaitijd > 17°C Jonge exemplaren 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
<i>Esox lucius</i>	snoek			Eitjes 2-23°C (8-15°C) Larven 12,3-21°C Jonge exemplaren 9-28°C (26°C) Volwassen exemplaren 10-30 / 34°C (20-26°C) Paaitijd 0-20°C (7-17°C)	EUROLIMPACS; KÜTTEL et al. 2002, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	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
<i>Gobio gobio</i>	rievergrondel			Eitjes 16-20°C Larven 20,5°C Jonge exemplaren 7-27°C Volwassen exemplaren 5-30,9 / 37°C (15-27°C) Paaitijd 12-17°C	KÜTTEL et al. 2002, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	pos	Afname		Eitjes 9-21°C Larven 16,5-30°C Jonge exemplaren 7-24,8°C Paaitijd 2-18°C	BUNZEL-DRÜKE 2011, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Lampetra planeri</i>	beekprik	Afname	FFH bijlage II	Afname voorspeld in Franse rivieren bij een temperatuurstijging van 2°C	BUNZEL-DRÜKE 2011, PONT 2003
<i>Lepomis gibbosus</i>	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

Vissoort wetenschappelijke naam	Vissoort Nederlandse naam	Prognose	Beschermingsstatus, herkomst	Opmerking	BRON
<i>Leucaspilus delineaatus</i>	vetje	Afname		Getolereerde temperaturen / extreme waarden (en optimum)	Bunzel-Drüke 2011
<i>Leuciscus (Squalius) cephalus</i>	kopvoorn	Toename		Als gevolg van het droogvallen van kleine stilstaande wateren en sloten in de zomer Eitjes 12,3-30°C (17-23°C) Larven 14-25°C (17,5-25°C) Jonge exemplaren 7-24°C Volwassen exemplaren 7-27 / 34°C (8-25°C) Paaitijd 14-20°C Stroomopwaartse verspreiding	BUNZEL-DRÜKE 2011, KÜTTEL et al. 2002, PONT 2003, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Leuciscus leuciscus</i>	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
<i>Lota lota</i>	kwabaal	Afname		Sterke afname verwacht, onder andere in het IJsselmeer als gevolg van tijdelijk zuurstofgebrek	BUNZEL-DRÜKE 2011, LAMMENS 2012, mondelinge mededeling
<i>Misgurnus fossilis</i>	grote modderkruiper	Afname	FFH bijlage II	Als gevolg van het droogvallen van kleine stilstaande wateren en sloten in de zomer	Bunzel-Drüke 2011
<i>Neogobio kessleri</i>	Kesslers grondel	Toename	Uitheimse soort	Uit de Zwarte Zee 25-30°C, concurrent en predator van inheemse soorten en hun kuit, o.a. zalm	KLIWA 2010
<i>Neogobio melanostomus</i>	zwartbekgrondel	Toename	Uitheimse soort	Vgl. Kesslers grondel	KLIWA 2010
<i>Neogobio fluviatilis</i>	Pontische stroomgrondel	./.	Uitheimse soort	Zal als gevolg van zijn relatief kleine temperatuurtolerantie van 4-20°C waarschijnlijk minder profiteren van de klimaatverandering dan andere grondelsoorten	KLIWA 2010
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	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

Vissoort wetenschappelijke naam	Vissoort Nederlandse naam	Prognose	Beschermingsstatus, herkomst	Opmerking <u>Getolereerde temperaturen / extreme waarden (en optimum)</u>	BRON
<i>Osperus eperlanus</i>	spering	Afname		Als het zuurstofgehalte in meren (bijv. het IJsselmeer) te laag is, kan dit dodelijk zijn voor de spiering	LAMMENS 2012, mondelinge mededeling
<i>Perca fluviatilis</i>	rivierbaars	./.		Voor NRW geen verandering van het bestand voorspeld	Bunzel-Drüke 2011
<i>Phoxinus phoxinus</i>	elrits	Toename?		Eitjes 5-21°C 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°C	diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Pseudorasbora parva</i>	blauwband	Afname		Als gevolg van de waarschijnlijk kleinere omvang van het vlagzalmengebied	Bunzel-Drüke 2011
<i>Pungitius pungitius</i>	tiendoornige stekelbaars	Afname	Uitheimse soort	Als gevolg van het droogvallen van kleine stilstaande wateren en sloten in de zomer	Bunzel-Drüke 2011
<i>Rhodeus amarus</i>	bittervoorn	Toename	FFH bijlage II	Als gevolg van het droogvallen van kleine stilstaande wateren en sloten in de zomer Volwassen exemplaren 12-30°C / 37°C (25°C) Paaitijd 12-22°C	Bunzel-Drüke 2011, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Rutilus rutilus</i>	blankvoorn			Eitjes 5-27°C (12-20°C) Larven 17,5°C Jonge exemplaren 7-21°C 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
<i>Salmo trutta fario</i> (& <i>Salmo trutta trutta</i>)	beekforel (& 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. Volwassen exemplaren < 25 / 30°C (16-23°C) Paaitijd 1-9°C	BUNZEL-DRÜKE 2011, EUROLIMPACS, MKUNLV 2010, NOTTER & STAUB 2009, PONT 2003, WEBB & WALSH 2004 in WWF 2009
<i>Salmo trutta lacustris</i>	meerforel				KÜTTEL et al. 2002

Vissoort wetenschappelijke naam	Vissoort Nederlandse naam	Prognose	Beschermingsstatus, herkomst	Opmerking	Bron
<i>Salmo salar</i>	zalm	Afname	FFH bijlage II & bijlage V (in zoet water)	<p>Getolereerde temperaturen / extreme waarden (en optimum)</p> <p>Eitjes < 16°C (4-11°C) Jonge exemplaren < 17°C (< 10°C) Broed < 23°C</p> <p>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)</p> <p>De migratie wordt gestaakt bij ca. 25°C. Een lichte temperatuurstijging in de winter heeft een positief effect op de ontwikkeling van de eitjes. Gemiddelde risicoklasse in het kader van een analyse van de gevoeligheid voor het klimaat.</p>	BUNZEL-DRÜKE 2011, KÜTTEL et al. 2002
<i>Salvelinus fontinalis</i>	bronforel	Afname		Bewoner van de bovenste en de onderste zone van het forellengebied	BUNZEL-DRÜKE 2011
<i>Sander (Stizostedion) lucioperca</i>	snoekbaars	?		<p>Eitjes 3-24°C / 25°C Larven 13,1-26°C (13,1-15,5°C) Jonge exemplaren 27,3-30°C Volwassen exemplaren < 33,3°C Paaitijd 3-26°C</p>	diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Silurus glanis</i>	meerval	Toename		<p>Eitjes 22-25°C Jonge exemplaren > 13°C (24,5°C) Volwassen exemplaren 7-33°C (27°C) Paaitijd 17-25°C</p>	BUNZEL-DRÜKE 2011, STOWA 2011, diverse auteurs in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Thymallus thymallus</i>	vlagzalm	Afname	FFH bijlage V	<p>Eitjes 6-13 / 14°C (9°C) Volwassen exemplaren < 18 / 24°C (15-17°C) Paaitijd < 10°C (6-8°C)</p> <p>Heeft koude 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.</p>	BUNZEL-DRÜKE 2011, KÜTTEL et al. 2002, PONT 2003, NOTTER & STAUB 2009; RABITSCH et al. 2010
Alle voorkomende vissoorten		Toename: 26%; Afname: 21%		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 2

Legenda bij figuur 2: Abiotische factoren en groepen van organismen in de benedenloop van een water die kunnen worden beïnvloed door de klimaatverandering.

Bron: <http://fliessgewaesserbiologie.kliwa.de>

Duits

Klimawandel

Direkte Einflüsse

Strahlung

Lufttemperatur

Niederschlag: Extreme, Saisonalität

Indirekte Einflüsse

Landnutzung

Auen

Grundwasser

Mineralisierung / Verwitterung

Faktoren, die den Klimawandel imitieren

Gletscherwasserabfluss

Restwasser

Wärmeeinleitungen

Abiotische Veränderungen

Hydrologie

Abflussregime

Hochwasser-Abfluss (Q)

Hochwasser-Zeitpunkt

Niedrigwasser-Abfluss (Q)

Niedrigwasser-Zeitpunkt

Mittlerer Abfluss (Q) (Volumen)

Austrocknung

Verdunstung

Schneesmelze / Schneedecke

Morphologie

Beschattung

Randstreifen

Mesohabitate Aue

Mesohabitate Fließgewässer

Mikrohabitate Fließgewässer

Interstitial

Feinsedimenteintrag

Geschiebetransport

Physiko-Chemie

Wassertemperatur

Delta Temperatur (= Amplitude)

Sauerstoff

pH

Chlorid

Nährstoffe

Leitfähigkeit

Versauerung

Saprobie

Toxische Substanzen

Nederlands

Klimaatverandering

Directe invloed

Straling

Luchttemperatuur

Neerslag: extreme waarden, seizoensgebondenheid

Indirecte invloed

Landgebruik

Uiterwaarden

Grondwater

Mineralisatie / verwerking

Factoren die de klimaatverandering imiteren

Afvoer van gletsjerwater

Restafvoer

Warmtelozingen

Abiotische veranderingen

Hydrologie

Afvoerregime

Hoogwaterafvoer (Q)

Tijdstip van hoogwater

Laagwaterafvoer (Q)

Tijdstip van laagwater

Gemiddelde afvoer (Q) (volume)

Verdroging

Verdamping

Smeltende sneeuw / sneeuwdek

Morfologie

Schaduwwerking

Teeltvrije oeverzone

Mesohabitats uiterwaard

Mesohabitats rivier

Microhabitats rivier

Interstitial water

Toevoer van fijn sediment

Transport van bodemmateriaal

Fysicochemie

Wassertemperatuur

Delta temperatuur (= amplitude)

Zuurstof

pH

Chloride

Nutriënten

Geleidbaarheid

Verzuring

Saprobie

Toxische stoffen

Duits

**Biologische Veränderungen
Organismen**

Phytoplankton
Phytobenthos / Makrophyten
Makrozoobenthos
Fische
Andere Organismen
Neobiota
Bewertungsverfahren / Metrics
Indikatorarten

Nederlands

**Biologische veranderingen
Organismen**

Fytoplankton
Fytobenthos / macrofyten
Macrozoöbenthos
Vissen
Andere organismen
Exoten
Beoordelingsmethodes /metrics
Indicatorsoorten