

RIVM Rapport 607800003/2007

Afleiding maximumtemperatuurnorm goede ecologische toestand (GET) voor Nederlandse grote rivieren

E. van der Grinten (RIVM-LER)
F.C.J. van Herpen (Royal Haskoning)
H.J. van Wijnen (RIVM-LER)
C.H.M. Evers (Royal Haskoning)
S. Wuijts (RIVM-IMD)
W. Verweij (RIVM-LER)

Contact:
Esther van der Grinten
RIVM-LER
esther.van.der.grinten@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directoraat-Generaal Milieubeheer (BWL), in het kader van het project Ondersteuning eutrofiëringsbeleid.

© RIVM 2007

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

Rapport in het kort

Afleiding maximumtemperatuurnorm goede ecologische toestand (GET) voor Nederlandse grote rivieren

Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) adviseert een maximumtemperatuurnorm voor de goede ecologische toestand in grote rivieren van 25 °C. Voor het voorjaar is een lagere maximumtemperatuur vastgesteld, namelijk 20 °C, om de voortplanting en groei van planten en dieren niet in gevaar te brengen.

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) eist dat lidstaten hun natuurlijke oppervlaktewateren in een goede ecologische toestand (GET) brengen of houden. Dat is de vereiste situatie voor de aanwezigheid van planten- en diersoorten. De biologische normen voor GET zijn al eerder vastgelegd. Daarnaast moeten normen voor ondersteunende fysisch-chemische parameters worden vastgesteld, waaronder normen voor temperatuur. Deze norm was voor grote rivieren nog niet bepaald. De maximumtemperatuur in dit advies is lager dan de 28 °C die vooralsnog in Nederland wordt aangehouden.

Als basis van het advies zijn literatuurgegevens en meetgegevens gebruikt van macrofauna en vissen. Daarmee is uitgerekend bij welke temperatuur de grens ligt tussen een goede en een matige ecologische toestand.

De KRW onderscheidt ook zogeheten beschermde gebieden die specifieke eisen stellen. Oppervlaktewater dat ingenomen wordt voor drinkwaterproductie mag niet warmer zijn dan 25 °C. Het RIVM adviseert de maximale verhoging uit de Viswaterrichtlijn van 3 °C voor karperachtigen en 1,5 °C voor zalmachtigen intact te laten, maar adviseert nader onderzoek te doen naar de maximale verhoging. Ook andere kennishiaten zijn in kaart gebracht.

De hier geadviseerde maximumtemperatuurnorm geldt voor de GET behorende bij natuurlijke wateren. Deze zal als basis gaan dienen voor het afleiden van een norm voor de niet-natuurlijke wateren (zoals de huidige Nederlandse grote rivieren).

Trefwoorden: Kaderrichtlijn Water, Goede ecologische toestand , temperatuurnorm, vissen, macrofauna, drinkwater, rivieren.

Abstract

Derivation of a standard for maximum temperature for the Good Ecological Status for Dutch large rivers

RIVM recommends a standard maximum temperature for the Good Ecological Status for Dutch rivers of 25 °C. For springtime a lower maximum temperature is recommended, viz. 20 °C, to ensure reproduction and growth of plants and animals.

The European Water Framework Directive (WFD) requires member states to bring or keep their natural waters in Good Ecological Status (GES), being the status required in terms of plant and animal species. The biological standards for the GES have already been determined. In addition, standards for supporting physico-chemical parameters have to be derived, including for temperature. A standard for temperature in the Dutch large rivers was not determined yet. The maximum temperature recommended here is lower than the current standard of 28 °C, which does not take into account the demands of the WFD.

The current advice is based on literature and measurement data for benthic invertebrate fauna and fish. This data was used to calculate the boundary between Good and Moderate Ecological Status.

The WFD also distinguishes protected areas with specific demands. Surface water used for drinking water production should not be warmer than 25 °C. RIVM recommends that the maximum temperature increase of 3 °C for cyprinid waters and 1.5 °C for salmonid waters, which stems from the Fish Water Directive, remains in use, but further investigation of the maximum increase in temperature is recommended. Other research recommendations were identified.

The maximum temperature standard recommended here, applies to the GES for natural waters. A standard for non-natural waters (such as the Dutch large rivers) will be derived, using the recommendation for GES as a starting point.

Key words: Water Framework Directive, Good Ecological Status, temperature standard, fish, benthic invertebrate fauna, drinking water, rivers.

Inhoud

Samenvatting	9
Summary	11
1 Inleiding	13
1.1 Aanleiding	13
1.2 Factoren die de watertemperatuur beïnvloeden	13
1.3 Relatie watertemperatuur en ecologie	15
1.4 Maatlatten	16
1.5 Opzet rapport	17
2 Macrofauna	21
2.1 Invloed temperatuur op macrofauna	21
2.2 Macrofauna maatlat	23
2.3 Toepassing maatlat	25
2.4 Conclusies	30
3 Vissen	31
3.1 Invloed temperatuur op vissen	31
3.1.1 Algemeen	31
3.1.2 Maximale temperatuur	32
3.1.3 Paaitemperatuur en paaiperiode	34
3.1.4 Exoten en temperatuur	36
3.2 Vissenmaatlat grote rivieren	37
3.2.1 Soortensamenstelling	37
3.2.2 Abundantie	38
3.2.3 Leeftijdsopbouw	38
3.2.4 Eindoordeel vissenmaatlat	38
3.2.5 Validatie maatlat	39
3.3 Toepassing maatlat	40
3.3.1 Bevindingen uit literatuuronderzoek	40
3.3.2 Bevindingen na rekenkundige analyse maatlat	41
3.4 Conclusies	46
4 Waterflora	47
4.1 Maatlat	47
4.2 Effect van temperatuur op macrofyten	48
4.3 Effect van temperatuur op fyto benthos	49
4.4 Conclusies	49
5 Beschermde gebieden	51
5.1 Drinkwater	51
5.2 Overige beschermde gebieden	53
6 Buitenland	55

7	Discussie en normafleiding GET	57
7.1	Biologische kwaliteitselementen	57
7.2	Beschermde gebieden	59
7.3	Aanbeveling temperatuurnorm GET grote rivieren	59
7.4	Afwenteling	60
8	Doorkijk naar het goed ecologisch potentieel (GEP)	61
9	Conclusies	63
10	Aanbevelingen	65
	Referenties	67
	Dankbetuiging	72
	Bijlage 1. Macrofauna maatlatsoorten	73
	Bijlage 2. Maximumtemperatuur vissen	76
	Bijlage 3. Paaiperiode en paaitemperatuur vissen I	78
	Bijlage 4. Paaiperiode en paaitemperatuur vissen II	80
	Bijlage 5. Maatlatgrenzen vissen grote riviertypen	82
	Bijlage 6. Gildenindeling vissen grote riviertypen	83
	Bijlage 7. EKR-score op vissenmaatlat per maand	84

Samenvatting

Voor de Kaderrichtlijn Water (KRW) is het nodig dat lidstaten hun natuurlijke oppervlaktewateren in een goede ecologische toestand (GET) brengen of houden. De GET is opgebouwd uit een biologisch deel en een ondersteunend hydromorfologisch en fysisch-chemisch deel, waaronder een norm voor temperatuur. Dit rapport bevat een advies voor een maximumtemperatuurnorm voor Nederlandse grote rivieren van de typen R7, R8 en R16. Het advies is gebaseerd op enerzijds eisen die voortvloeien uit de zogeheten maatlaten van de biologische kwaliteitselementen voor deze riviertypen (macrofauna, vissen en waterflora), anderzijds op eisen die vanuit de beschermde gebieden worden gesteld.

Voor de biologische kwaliteitselementen zijn literatuurgegevens verzameld en gegevens uit databases geanalyseerd. Op grond daarvan is nagegaan bij welke temperatuur een soort, die onderdeel uitmaakt van een maatlat, nog net voor kan komen. Daarmee is berekend bij welke temperatuur de grens ligt op de maatlat tussen een Goede en een Matige Ecologische Toestand. Voor macrofauna bleek de maximale waarde te liggen tussen de 22 en 25 °C. Voor vissen is de maximale waarde 26 °C. De maximale verhoging uit de Viswaterrichtlijn (van 3 °C voor water voor karperachtigen en 1,5 °C voor water voor zalmachtigen) kan intact blijven, met dien verstande dat de geadviseerde maximumtemperatuur niet overschreden mag worden. Voor waterflora bleken onvoldoende gegevens beschikbaar te zijn om tot een kwantitatief advies te komen.

Ook is nagegaan of er in specifieke perioden van het jaar een lagere temperatuur vereist is in verband met bijvoorbeeld reproductie en groei, aangezien een permanente blokkering van reproductie en groei op den duur ook een soort kan doen verdwijnen. Het bleek dat voor macrofauna in de gevoelige periode de temperatuur niet hoger moet zijn dan 21 °C (voor watertype R7) en 19 °C (voor R16). Deze normen zijn echter gebaseerd op een kleine dataset, met minder betrouwbare gegevens. Ook is het niet duidelijk wanneer de gevoelige periode precies valt. Voor vissen adviseert het RIVM, op basis van een betrouwbare analyse, een temperatuur van maximaal 20 °C in april en mei. Voor waterflora waren ook hier onvoldoende data beschikbaar.

Bij de berekeningen zijn diverse aannames gemaakt. Daarbij is in de meeste gevallen gekozen voor bestcase-aannames in die zin dat de adviesmaximumtemperatuur bij andere aannames bijna steeds *lager* uit zou vallen, met name bij de berekeningen voor vissen. De genoemde getallen voor vissen hebben een kleinere onzekerheid dan die voor macrofauna (zie tabel).

Biologisch kwaliteitselement	Maximale T (°C, max. dagwaarde)	T (°C max. dagw.) gevoelige periode	Mate van zekerheid
Macrofauna	22-25	19 (R16)-21(R7/8) periode niet precies bekend	
Vissen	26	20 april-mei	
Waterflora (Macrofyten/fytobenthos)	Niet bekend	Niet bekend	

Ook is nagegaan welke eisen aan temperatuur worden gesteld vanuit de zogeheten beschermde gebieden. Voor oppervlaktewateren waaruit water wordt ingenomen voor drinkwaterproductie mag de

temperatuur bij de innamepunten in de rivier niet hoger zijn dan 25 °C. Naar eventuele extra eisen van de Natura-2000-gebieden en de Viswaterrichtlijn is in deze studie niet gedetailleerd gekeken.

Daarom adviseert het RIVM een maximumtemperatuurnorm voor GET van 25 °C (maximale dagwaarde) vast te stellen, en de maximale verhoging van 3 respectievelijk 1,5 °C voor vissen intact te laten. Dan wordt rekening gehouden met de vele bestcase-aannames in de berekeningen alsmede met de norm voor inname van oppervlaktewater voor drinkwaterbereiding. Verder adviseert het RIVM een norm van 20 °C voor ten minste april en mei. Daarnaast adviseert het RIVM onderzoek te initiëren om de ‘witte vlekken’ in de kennis op te vullen. Daarmee kan op termijn blijken of deze norm voldoende bescherming biedt. Deze aanpak sluit aan bij de Nederlandse werkwijze ‘van grof naar fijn’.

De Nederlandse rivieren van type R7, R8 en R16 zijn alle niet-natuurlijke wateren (sterk veranderd in KRW-jargon). Voor dergelijke wateren gelden de GET-normen niet, maar moet op basis van het goed ecologisch potentieel (GEP) een temperatuurnorm voor niet-natuurlijke wateren worden afgeleid. Het GEP moet worden afgeleid op basis van de GET, rekening houdend met onomkeerbare hydromorfologische veranderingen (die zowel direct als indirect de ecologie kunnen beïnvloeden). Na de vaststelling van de temperatuurnorm voor niet-natuurlijke wateren kan een beleidsdoelstelling worden geformuleerd; in dit stadium kan zonodig fasering en/of doelverlaging worden toegepast. Deze studie heeft zich *niet* gericht op de stappen die na vaststelling van de GET-norm moeten worden gezet. Dit betekent nadrukkelijk dat dit advies voor een maximumtemperatuurnorm voor GET niet automatisch van toepassing zal zijn voor de Nederlandse rivieren.

Summary

The European Water Framework Directive (WFD) requires member states to bring their natural surface water to the Good Ecological Status (GES). Ecological status is determined by biological quality elements, supported by hydromorphological and physico-chemical quality elements. One of the physico-chemical quality elements is thermal condition, characterized by the parameter temperature. This report presents an advice for a standard for maximum temperature for Dutch large rivers (type R7, R8, R16). This advice is based on the one hand on requirements from the biological quality elements (benthic invertebrate fauna, fish, aquatic flora) and on the other hand on requirements from protected areas.

For the biological quality elements data from literature and databases was collected and analysed. On the basis of these analyses a maximum temperature for occurrence of each species that is part of the existing classification schemes for the biological quality elements was deduced. With this data it was calculated at which temperature the boundary between good and moderate ecological status was still just met. For benthic invertebrate fauna the maximum temperature turned out to be between 22 and 25 °C. For fish the maximum temperature is 26 °C. The maximum increase of temperature which stems from the Fish Water Directive (3 °C for cyprinid waters and 1.5 °C for salmonid waters) can continue to apply, in the sense that the recommended maximum temperatures may not be exceeded. For aquatic flora there was insufficient data to come to a quantitative advice.

In addition, it was investigated whether lower temperatures are required during specific periods to ensure for instance reproduction and growth, because inhibition of those processes can result in a species becoming extinct. It turned out that for benthic invertebrate fauna the temperature should not be higher than 21 °C (water type R7) and 19 °C (for R16) during the sensitive period. However, these standards are based on a small dataset, containing not very reliable data. Besides, it is unclear what is exactly the sensitive period. For fish, using reliable data, we recommend a temperature of 20 °C in April and May. For aquatic flora insufficient data was available.

Several assumptions had to be made for the calculations. In most cases, 'best-case' was chosen in the sense that the maximum temperature recommended would have been *lower* with other assumptions, especially for the fish calculations. The recommended values for fish are more certain than those for benthic invertebrate fauna (see Table).

Biological quality element	Maximum T (°C, max. day value)	T (°C max. day value) sensitive period	Degree of certainty
Benthic invertebrate fauna	22-25	19 (R16)-21(R7/8) period not known exactly	
Fish	26	20 April - May	
Aquatic flora (Macrophytes/phytobenthos)	Unknown	Unknown	

The protected areas have specific requirements. For surface water used for drinking water production the temperature limit is 25 °C. Additional demands potentially arising from Natura-2000 or the Fish Water Directive were not studied in detail.

Taking everything into account, RIVM recommends a maximum temperature standard for the GES of 25 °C (maximum day value), and to preserve the maximum temperature increase of 3 resp. 1.5 °C for fish. Doing so, the numerous ‘best-case’ assumptions are respected as well as the standard for drinking water production from surface water. At least for April and May RIVM recommends a temperature standard of 20 °C to protect the sensitive period. In addition, we recommend further research to fill the current knowledge gaps. In time it will be clear if our advice offers sufficient protection. This approach fits well in the Dutch tactic of starting with a coarse approximation, then later on refine where necessary.

The Dutch large rivers of types R7, R8 and R16 are all non-natural waters (heavily modified in WFD-terms). For such waters, the GES-standards do not apply, but, based on the Good Ecological Potential (GEP), a temperature standard for non-natural waters needs to be derived. The GEP should be derived from GES, taking into account irreversible hydromorphological changes (which can influence ecology both directly and indirectly). After deriving GEP, environmental objectives can be determined; in that stage, exemptions can be applied. This study did *not* incorporate those steps. This explicitly means that our recommendation for a maximum temperature standard for GES does not automatically apply to the Dutch large rivers.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De Kaderrichtlijn Water (KRW; EU 2000) verplicht lidstaten een goede ecologische toestand (GET) te bewerkstelligen van alle natuurlijke wateren, waarbij onder andere biologische en fysisch-chemische normen horen. Het afleiden van de normen voor temperatuur voor grote rivieren (als onderdeel van de algemene fysisch-chemische kwaliteitselementen) voor de GET was tot nu toe moeilijk door gebrek aan kennis (Van der Molen et al. 2006). Men hanteerde tot nu toe een range van 25-28 °C voor de grens tussen goede en matige ecologische toestand.

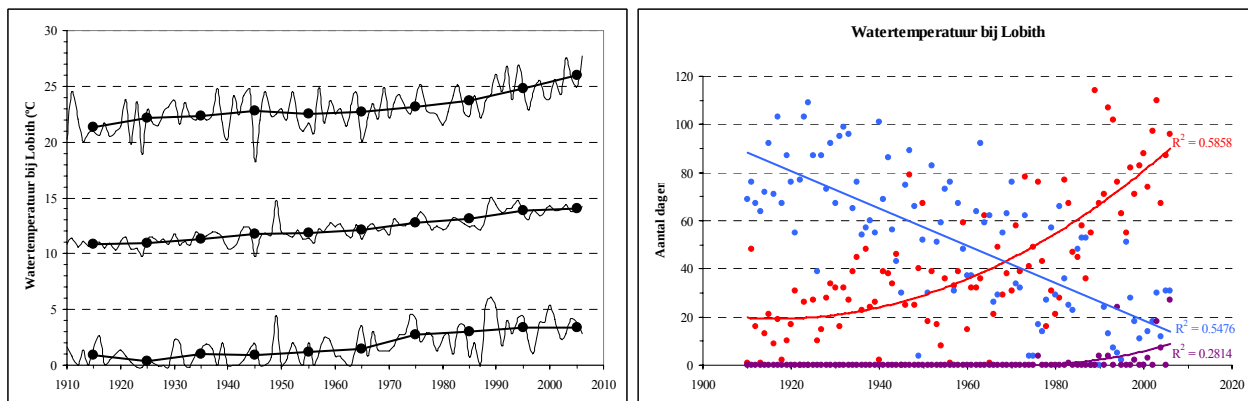
De 25 °C-grens was afkomstig van analyses van macrofauna (Evers 2007). Er waren echter niet voldoende gegevens beschikbaar voor de typen R7 en R8 om een goed onderbouwde afleiding te kunnen maken. De huidige Nederlandse invulling van de Viswaternrichtlijn (EU 2006) ligt ook op maximaal 25 °C. De 28 °C-grens voor de grote rivieren was afkomstig uit de lopende discussie over de ophoging van 25 °C naar 28 °C voor ‘water voor karperachtigen’ onder de nieuwe Viswaternrichtlijn. Ook is uit onderzoek naar stroomminnende vissen gebleken dat een temperatuur van 28 °C in de zomer geen schade zou moeten opleveren voor deze stroomminnende vissen aangezien dat alleen voor de trek het geval zal zijn en die vindt doorgaans in het voor- en najaar plaats (Kikkert en Beers 2006). Om de temperatuurdoelstelling voor de GET voor grote rivieren onder de KRW nader in te vullen is aanvullend onderzoek nodig. Aan het RIVM is door het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer gevraagd hieraan invulling te geven.

1.2 Factoren die de watertemperatuur beïnvloeden

In een natuurlijke situatie wordt de temperatuur van een rivier bepaald door diverse factoren: luchttemperatuur, zonnestraling, schaduw, herkomst van water, morfologie, et cetera. Menselijke invloed treedt op door bijvoorbeeld onttrekking van water, lozingen van warm afvalwater, veranderingen in morfologie en gebruik van oppervlaktewater voor koelwater. Mogelijk kan warmte-koude-opslag in grondwater in de toekomst een extra temperatuurverhogende werking hebben. Klimaatverandering zorgt voor een verhoging van de luchttemperatuur (Van den Hurk et al. 2006), waardoor ook de watertemperatuur zal stijgen.

Temperatuurverloop in het verleden

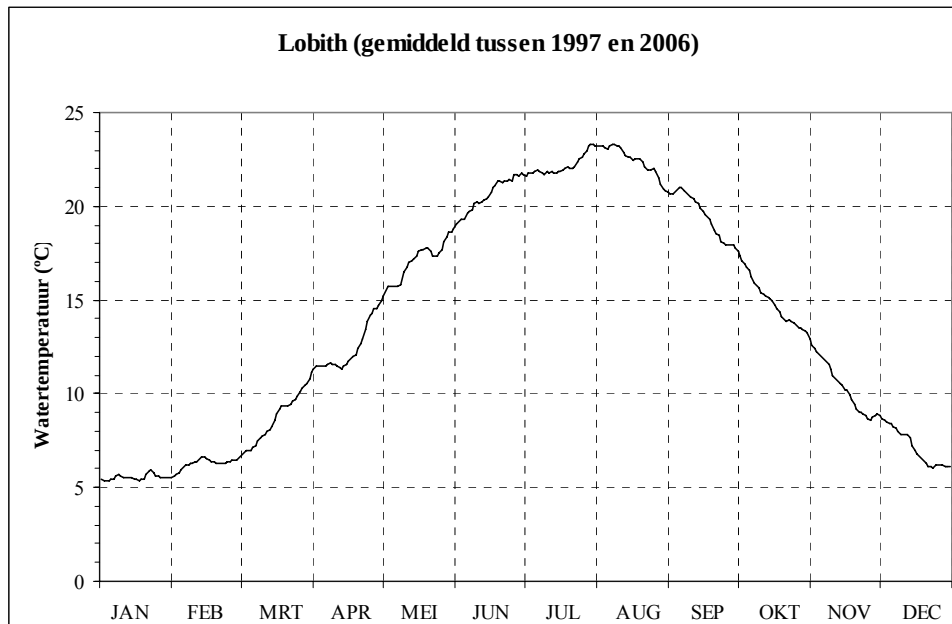
Ongeveer vanaf 1960 is de luchttemperatuur in Nederland gaan stijgen als gevolg van menselijk handelen (Van Dorland 1999). Mede als gevolg van een toenemende luchttemperatuur en een toename in koelwaterlozingen, is de watertemperatuur ook hoger geworden (Figuur 1). Zowel de gemiddelde als de minimum- en maximumtemperatuur namen de afgelopen honderd jaar toe. Dit komt ook tot uiting in het rechterdeel van Figuur 1, waaruit blijkt dat het aantal dagen dat de watertemperatuur per jaar boven de 20 en 25 °C uitkomt sterk toeneemt. Tegelijkertijd neemt het aantal dagen dat de watertemperatuur onder de 5 °C uitkomt sterk af.



Figuur 1. Links: van boven naar onder: jaarmaximum, jaargemiddelde en jaarminimum watertemperatuur van de Rijn bij Lobith (data van RIZA, www.waterbase.nl)
Rechts: aantal dagen dat de watertemperatuur boven de 25 °C komt (paars), aantal dagen dat de watertemperatuur boven de 20 °C komt (rood) en aantal dagen dat de watertemperatuur onder de 5 °C komt (blauw).

Temperatuur als functie van seizoen

De watertemperatuur van een van de waterlichamen met KRW-watertype R7 (Rijn bij Lobith) staat vermeld in Figuur 2. Deze varieert gemiddeld gedurende een jaar rond 5 °C in de winter tot 23 °C in de zomer. De temperatuur in de Grensmaas (type R16) is vergelijkbaar met de andere grote rivieren. In het verleden lagen zowel de maximum- als de minimumtemperaturen lager (Figuur 1).



Figuur 2. Gemiddelde watertemperatuur tussen 1997 en 2006 in de Rijn bij Lobith (type R7). De temperatuur voor de Grensmaas (type R16) bleek vrijwel hetzelfde te zijn..

Toekomstverwachting

De twee belangrijkste drukfactoren voor watertemperatuur zijn koelwaterlozingen en klimaatverandering. Van beide mag worden aangenomen dat die in de toekomst een grotere invloed zullen hebben dan nu het geval is.

1.3 Relatie watertemperatuur en ecologie

Aquatische ecosystemen zijn erg gevoelig voor veranderingen in temperatuur. De effecten van temperatuur op organismen zijn zichtbaar op allerlei niveaus: celniveau, op het niveau van biochemische processen tot en met ecosysteemeffecten, veroorzaakt door veranderingen in groei en ontwikkeling (Patra et al. 2007). Concreet zijn de gevolgen van temperatuurverhoging (Verwey 1973):

- biologische en chemische processen worden versneld;
- de zuurstofcyclus verandert. Ten eerste worden organische stoffen sneller afgebroken waardoor het zuurstofverbruik toeneemt, ten tweede neemt de oplosbaarheid van zuurstof af bij toenemende temperatuur;
- organismen worden gevoeliger voor toxische stoffen;
- de concurrentieverhoudingen tussen soorten worden beïnvloed;
- de kans op waterkwaliteitsproblemen van biologische aard zoals botulisme en blauwalgbloeiën neemt toe;
- invasieve exoten kunnen een competitievoordeel hebben ten opzichte van autochtone soorten.

De niche van een soort wordt bepaald door een breed scala aan omgevingsvariabelen. Iedere soort vertoont voor elk van deze variabelen een optimum en een marge waarbinnen de soort nog kan voorkomen. Daardoor zal overschrijding van deze marges leiden tot veranderingen in soortensamenstelling. Daarom is het noodzakelijk om voor elke variabele een boven- en ondergrens af te leiden waarbinnen een GET is gewaarborgd. Gezien de huidige temperatuurstijging van de aarde is voor temperatuur vooral de bovengrens van cruciaal belang (Verdonschot et al. 2007).

Een van de belangrijkste gevolgen van watertemperatuurstijging is de vervroeging van levenscycli. Multivoltiene soorten kunnen er een generatie per jaar bij krijgen, terwijl univoltiene soorten te vroeg kunnen uitvliegen. Dit zou weer kunnen leiden tot een 'mismatch' in de tijd tussen predator en prooi, tussen mannen en vrouwen (verlaagde ontmoetingskans), maar ook tot het ontregelen van 'temporele niche-differentiatie' tussen soorten en het ontregelen van het ingaan van diapauze, een essentiële stap in de levenscyclus van vele ongewervelden.

Met name in eutrofe systemen zal de primaire productie toenemen waardoor de zuurstofhuishouding nadelig beïnvloed wordt, hetgeen ook in stromend water tot een toename van de frequentie en duur van zuurstofarme (of zuurstofloze) periodes zou kunnen leiden. Vervroeging en toename van de groei van macrofyten zal bovendien leiden tot een toename van de overschaduwing. Dit zou weer kunnen leiden tot een verandering in de concurrentieverhoudingen tussen de verschillende groepen primaire producenten.

Overigens is het zo dat veranderingen in de soortensamenstelling (structuur) niet per se hoeven te leiden tot een aantasting van ecosysteemprocessen (functie). Overname van de taken van een bepaalde soort door andere soorten behoort zeker tot de mogelijkheden (functionele redundantie). Ergo, een systeem met een veranderde soortensamenstelling, maar met gelijkblijvende diversiteit en functionaliteit zou toch door de KRW beoordeeld kunnen worden als 'niet voldaan aan de GET' omdat bepaalde kensoorten verdwenen zijn.

Omdat op vogels en zoogdieren na alle aquatische organismen koudbloedig zijn impliceert het directe effect van temperatuurstijging altijd een versnelling van processen en daarmee ook van levenscycli. Omdat de mate van versnelling verschilt tussen soorten zijn veranderingen in de concurrentieverhoudingen de belangrijkste indirecte effecten van temperatuurstijging. Voor veranderingen in de soortensamenstelling van levensgemeenschappen zijn de indirecte ecologische

effecten zeker zo belangrijk als, zo niet belangrijker dan de directe fysiologische effecten (Sweeney et al. 1992).

Exoten

Exoten (planten, dieren of ander organismen, die van nature niet in een gebied voorkomen) kunnen vaak makkelijker standhouden bij hogere temperatuur. Bepalend daarbij is niet zozeer een hogere temperatuur in de zomer maar vaak meer een hoge wintertemperatuur. Specifiek voor stromend water geldt dat soorten en levensgemeenschappen zich met hun optimum temperatuur mee stroomopwaarts zouden kunnen verplaatsen, dat benedenstrooms letale maximumtemperaturen zouden kunnen worden overschreden, koude stenotherme soorten lokaal zouden kunnen uitsterven en er benedenstrooms een habitat gecreëerd wordt voor warmteminnende exoten. Het temperatuurprobleem is daarmee ook voor een deel een exotenprobleem. Er moet onderscheid gemaakt worden tussen enerzijds soorten die door toeval een ecosysteem binnentreden doordat ze door de mens verder verplaatst zijn dan hun eigen dispersiecapaciteit zou toelaten en anderzijds soorten die de kans krijgen door watertemperatuur gerelateerde verandering in de concurrentieverhoudingen (Verdonschot et al. 2007).

1.4 Maatlatten

De KRW verplicht lidstaten een goede ecologische toestand (GET) te bewerkstelligen van alle natuurlijke wateren, waarbij onder andere biologische en fysisch-chemische normen horen. Deze toestand wordt beoordeeld ten opzichte van een referentietoestand. De referentietoestand houdt in dat de waarden voor de kwaliteitselementen normaal zijn voor het betreffende watertype in onverstoorde toestand. De relevante biologische kwaliteitselementen voor rivieren zijn: overige aquatische flora (macrofyten en fytoebenthos), macrofauna en vissen.

Om deze toestand te beoordelen zijn in Nederland maatlatten opgesteld voor de natuurlijke wateren. Een maatlat is gedefinieerd als de beoordeling van een watertype per biologisch kwaliteitselement. Een maatlat is veelal opgebouwd uit een aantal deelmaatlatten. De maatlatten geven een beschrijving van de referentietoestand. Naast de referentie bevat de maatlat van een natuurlijk watertype nog vier klassen (zie Figuur 3). De goede ecologische toestand (GET) is de ecologische doelstelling die volgens de KRW in 2015 gehaald moet worden. De natuurlijke referentietoestand voor grote rivieren in Nederland is moeilijk te achterhalen doordat de rivieren al lange tijd geleden sterk zijn veranderd. De kwantificering van de natuurlijke referentietoestand is daarom gebaseerd op een combinatie van historische gegevens, beschrijvingen van onverstoorde situaties in binnen- en buitenland, modeluitkomsten en expertkennis. In Nederland hebben de grote rivieren geen natuurlijke status voor de KRW. De grote rivieren zijn aangewezen als sterk veranderde waterlichamen. Voor sterk veranderde en kunstmatige waterlichamen is het maximaal ecologisch potentieel (MEP) het hoogste ecologische niveau; het hiervan afgeleide goed ecologisch potentieel (GEP) is de norm. De bijbehorende maatlat bestaat uit vijf klassen, hierbij zijn de twee hoogste klassen samen genomen in een klasse 'GEP en hoger'. Het MEP van sterk veranderde en kunstmatige waterlichamen wordt afgeleid van de maatlat van het meest gelijkende natuurlijke watertype. In deze studie ligt de focus echter alleen op het afleiden van een temperatuurnorm behorende bij de GET.

Maatlatten en deelmaatlatten voor natuurlijke wateren geven een score die loopt van 0,0 tot 1,0 en worden aangeduid met de term EKR (Ecologische KwaliteitsRatio). Deze drukt de afstand tot de referentie uit. De grens tussen een goede ecologische toestand en een matige ecologische toestand ligt bij een EKR van 0,6.



Figuur 3. De vijf klassen van de maatlat van de natuurlijke watertypen waar de onderzochte riviertypen onder vallen. De klasse 'Goed' vertegenwoordigt de goede ecologische toestand (GET). Om (nog net) te voldoen aan GET moet er dus minimaal een EKR van 0,6 gescoord worden.

1.5 Opzet rapport

Te bestuderen watertypen

Deze studie heeft zich gericht op drie KRW-watertypen: R7 (onder andere Gelderse IJssel, Bedijkte Maas, Bovenmaas, Zandmaas, Nederrijn/Lek en een deel van de Waal), R8 (onder andere Afgedamde Maas, Amer, Brabantse Biesbosch, Haringvliet oost, Hollands Diep, Nieuwe Merwede en Oude Maas) en R16 (Grensmaas). Er zijn drie biologische kwaliteitselementen beschouwd: macrofauna, vissen en waterflora (macrofyten en fytobenthos).

In Figuur 4 is weergegeven waar de waterlichamen van de onderzochte typen liggen; tevens is aangegeven of die wateren aangewezen zijn als Natura-2000-gebied. Ook zijn de drinkwaterwinningen weergegeven die geheel of grotendeels oppervlaktewater gebruiken (oeverinfiltratie).

Aanpak

De KRW vraagt een norm af te leiden vanuit de biologie (alle gespecificeerde biologische kwaliteitselementen) voor de natuurlijke toestand voor alle watertypen, specifiek voor de ondersteunende fysisch-chemische parameters, waaronder temperatuur. De KRW geeft ook aan dat daarbij het meest gevoelige kwaliteitselement leidend zou moeten zijn en dat ook onderbouwd moet worden. Bij die afleiding mag geen rekening worden gehouden met kunstmatige ingrepen of vervuiling, het gaat puur om een toestandsbeschrijving van de natuurlijke goede toestand.

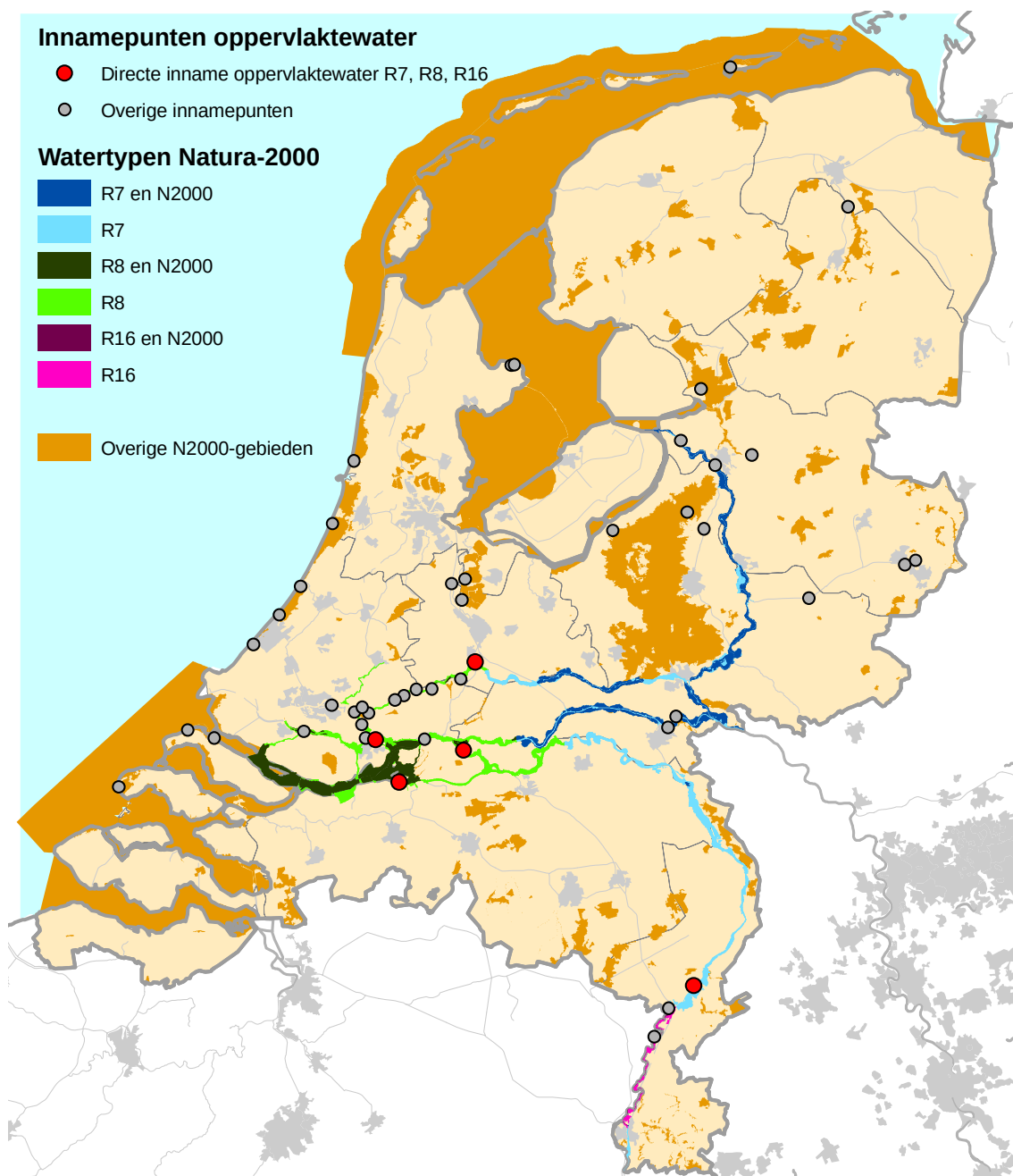
Volgens de KRW zou dus eerst onderzocht moeten worden welk biologisch kwaliteitselement het meest gevoelig is voor temperatuur. Daarna kan voor dat kwaliteitselement de temperatuurgrens tussen goede en matige ecologische toestand bepaald worden aan de hand van een wetenschappelijke afleiding. Of dat haalbaar is, is natuurlijk afhankelijk van de beschikbare gegevens.

Voor alle biologische kwaliteitselementen wordt via de literatuur informatie verzameld over de effecten van temperatuur. Voor die kwaliteitselementen waarvoor voldoende gegevens zijn, wordt de EKR berekend als functie van de temperatuur. Daaruit wordt de maximaal toegestane temperatuur berekend, behorend bij een EKR van 0,6, zijnde de grens tussen goede en matige ecologische toestand. Daarnaast wordt nagegaan of er in bepaalde perioden van het jaar (bijvoorbeeld voorjaar met het oog op voortplanting) lagere temperaturen vereist zijn. Voor deze analyses moeten soms aannames worden

gedaan. Wanneer er gesproken wordt van best-case, wil dat zeggen dat de aanname leidt tot de minst strenge temperatuurgrens. Bij worst-case wordt uitgegaan van de strengste optie voor de norm.

Beschermde gebieden en afwenteling

Voor een definitief antwoord op de vraag welke maximumtemperatuurnorm moet gelden moet ook worden nagegaan welke temperatuureisen voortvloeien uit bepaalde functies (Natura-2000-gebieden, drinkwatergebieden) en zal er nagegaan moeten worden of de afgeleide norm het halen van de goede toestand in benedenstroomse gebieden niet verhindert (afwenteling). Dat is niet allemaal gelukt in de beperkte tijd die beschikbaar was. Eisen vanuit drinkwater zijn wel goed onderzocht, overige beschermde gebieden marginaal, afwenteling niet.



Figuur 4. Ligging van oppervlaktewaterlichamen van de typen R7, R8 en R16. De Natura-2000-gebieden die overlappen met deze waterlichamen en de overige Natura-2000-gebieden alsmede directe innamepunten voor drinkwater in deze waterlichamen en overige innamepunten voor drinkwater zijn ook aangegeven.

2 Macrofauna

De centrale vraag in dit hoofdstuk zal zijn wat voor macrofauna betreft de hoogte van de watertemperatuur is die de grens vormt tussen een goede ecologische toestand (GET) en een matige ecologische toestand, voor wat betreft de wateren R7, R8 en R16 in Nederland. Allereerst zal worden bekeken wat er in de wetenschappelijke literatuur bekend is over de relatie tussen macrofauna in deze wateren en de watertemperatuur. Er zal worden gekeken naar individuele soorten en interacties tussen soorten, en hoe die afhankelijk zijn van temperatuur. Ook zal de invloed van exoten op de ecologische toestand worden onderzocht. Vervolgens zullen de belangrijkste bevindingen van dit literatuuronderzoek en gegevens uit databases naast de maatlat worden gelegd die voor deze wateren is opgemaakt, en zal worden bekeken in hoeverre de gevonden literatuurgegevens ook daadwerkelijk doorwerken in de maatlat. Er zal een advies worden gegeven over welke temperatuur er vanuit de macrofauna bekeken nog maximaal hoort bij een goede ecologische toestand.

2.1 Invloed temperatuur op macrofauna

De temperatuur van het water is erg belangrijk voor macrofauna en het heeft ook invloed op andere factoren die van belang zijn, zoals de zuurstofconcentratie in het water. Het beïnvloedt het metabolisme en de reproductie van macrofauna en het bepaalt mede welke soorten in een rivier kunnen overleven. Voor wat betreft de macrofauna correleert watertemperatuur van alle omgevingsfactoren het beste met de hoeveelheid individuen van een soort, ook wel abundantie genoemd (Rossaro et al. 2006).

Een aantal algemene effecten van temperatuur op macrofauna zijn bekend (Verdonschot et al. 2007; zie ook paragraaf 1.3):

- levenscycli verschuiven in de tijd;
- soorten migreren stroomopwaarts bij hogere temperatuur;
- concurrentieverhouding tussen soorten verandert;
- soorten die afhankelijk zijn van koud water verdwijnen;
- aantal exoten neemt toe.

Met name de steenvliegen (Plecoptera) en de vedermuggen (Orthocladiinae) worden als temperatuurgevoelig beschouwd. Ze zijn gewend aan een kouder, constant temperatuurverloop, met een laag kritisch maximum (Van den Hoek en Verdonschot 2001). Veel van deze koudstenotherme soorten zijn al verdwenen uit de huidige grote rivieren in Nederland. Andere soortengroepen zijn minder gevoelig omdat ze een grotere temperatuurrange hebben waarin ze kunnen voorkomen.

Chironomiden

Chironomiden is een groep macrofaunasoorten die vooral door omgevingsfactoren wordt gestuurd en waar veel gegevens over bekend zijn. Zo is watertemperatuur belangrijk, naast factoren als sedimentgrootte en stroomsnelheid (Rossaro 1991). Er is binnen deze groep een grote variatie in de optimum watertemperatuur en het minimum/maximum waarbij ze kunnen voorkomen. Rossaro (1991) heeft voor 127 soorten chironomiden de optimum watertemperatuur bepaald, inclusief een standaarddeviatie. Zo heeft bijvoorbeeld de *Diamesa vaillanti* een optimum watertemperatuur van 4 °C, terwijl de *Parachironomus*-soorten hun optimum bij 25 °C hebben. Dit komt overeen met het feit dat chironomiden van alle insectenfamilies de grootste range aan geschikte condities kennen waardoor ze vaak de eerste zijn die een nieuwe habitat koloniseren (Daly et al. 1978).

Fysiologische effecten

Veel fysiologische processen van macrofauna zijn temperatuurafhankelijk. Zo neemt de groeisnelheid toe. Dit zorgt voor hogere energiekosten, waardoor er minder energie overblijft voor reproductie tenzij dit kan worden gecompenseerd door meer te eten. De generatietijd wordt over het algemeen korter (Verdonschot et al. 2007; Kamler en Mandecki 1978). Hierdoor worden de levenscycli van organismen binnen het voedselweb verstoord, waardoor een 'mismatch' ontstaat in de timing van levensfasen (Bij de Vaate en Winter 2005).

Zo gaat de ontwikkeling van eieren van *Asellus aquaticus* sneller in warmer water, maar de overlevingskans wordt kleiner (Holdich en Tolba 1981). Ook de mate van stress die deze soort ondervindt neemt toe bij hogere temperaturen, blijkend uit de asymmetrie van het organisme bij 27 °C (Savage en Hogarth 1999). De mate van asymmetrie geeft een maat voor de hoeveelheid stress die een populatie ondervindt. Er is een hoge mate van stress nodig om asymmetrie in het lichaam van het organisme te veroorzaken (Savage en Hogarth 1999).

Bij *Astacus astacus* treedt een zeer snelle stijging van het zuurstofverbruik op bij temperaturen boven de 24 °C (Schot en Verdonschot 1996). Aangezien warm water minder zuurstof kan bevatten, treedt dan al snel een zuurstoftekort op.

Seizoensgebonden effecten

Om de relaties tussen macrofauna en de omgeving beter te kunnen begrijpen is het nodig ook de winter in het onderzoek te betrekken (Füreder et al. 2001). Macrofaunasoorten blijken sterk afhankelijk te zijn van het winterklimaat (Durance en Ormerod 2007). Met name de hogere wintertemperatuur zorgt ervoor dat meer exoten zich in deze wateren kunnen vestigen.

Het is van belang te weten wat de kritische periode is in de levenscyclus van macrofaunasoorten waarbij de watertemperatuur niet te hoog mag zijn. Zo zal in het voorjaar en de zomer de meeste groei en reproductie plaatsvinden. In deze periode ligt de temperatuur tussen de 10 en 23 °C (Figuur 2), wat overeenkomt met de optimale temperatuur van veel macrofaunasoorten (Figuur 5 en 7 in paragraaf 2.3). Het is dan de vraag wat de effecten op de populatie en het ecosysteem zullen zijn buiten deze periode, als temperaturen behoorlijk kunnen oplopen. Het zou goed zijn om onderscheid te maken tussen de maximumtemperatuur die in de gevoelige periode gewenst is voor een goede ecologische toestand, en een maximumtemperatuur die gewenst is om het voorkomen van soorten te waarborgen (met name in de zomer van belang).

Invloed op populaties en interacties tussen populaties

Effecten van temperatuur op de interacties tussen soorten en populaties in een voedselweb zijn nog niet goed beschreven. De verwachting is dat soorten verschillend reageren op temperatuur, waardoor ook de interactie tussen soorten zal veranderen. Zo zal mogelijk de uitvliegperiode van insecten veranderen, waardoor predatoren plotseling een andere prooi moeten zoeken (Verdonschot et al. 2007). Predator-prooi relaties tussen macrofauna en micro-organismen, die gebalanceerd zijn bij gematigde watertemperaturen, kunnen uit balans raken bij hogere temperaturen. Dit is met name het geval tijdens hete zomers (Viergutz et al. 2006).

Veranderingen in watertemperatuur hebben vele consequenties. Zo verandert onder andere de zuurstofconcentratie. Ook kan het voedselaanbod sterk wijzigen en kunnen predatoren voordeel of nadeel ondervinden van de temperatuurwijziging. Met andere woorden: de structuur van het voedselweb verandert.

Temperatuurverhoging vermindert de *resilience* ofwel de veerkracht van macrofaunagemeenschappen (Daufresne et al. 2007). Een hete zomer kan dan bijvoorbeeld genoeg zijn om bepaalde groepen macrofaunasoorten in de problemen te laten raken. Bij hogere temperaturen zullen bepaalde soorten van een soortengroep (ook wel functionele groep genoemd) er niet meer zijn. Dat betekent dat het voedselaanbod voor predatoren ook minder wordt, zodat een predator minder te kiezen heeft. Dit gat kan worden aangevuld met exotische soorten, maar dit hoeven niet noodzakelijkerwijs geschikte prooien te zijn.

Het is al gebleken dat in meren de toename in gemiddelde temperatuur een grote invloed heeft gehad op de soortensamenstelling en de structuur van het voedselweb (Burgmer et al. 2007).

Exoten

Sinds 1985 komt er een aanzienlijke hoeveelheid exoten voor in de grote rivieren in Nederland (Bij de Vaate et al. 2006). Over het algemeen is dit geen probleem voor mensen, maar in ecologische zin verstoren zij het evenwicht en voorkomen zij dat inheemse soorten zich kunnen handhaven, dan wel zich weer kunnen vestigen. Dit is vooral belangrijk voor de zeldzame inheemse soorten. Kenmerkend voor exoten is dat ze snel groeien, sterk dominant worden en zorgen voor soortenarme ecosystemen (r-strategen genoemd).

Een van de factoren die de toename van exoten bevordert is de hogere watertemperatuur (vooral in de winter). Toegenomen watertemperatuur en ook de afwezigheid van geschikt habitat voorkomen dat gevoelige inheemse macrofaunasoorten zich weer kunnen vestigen (Bij de Vaate et al. 2006).

De verwachting is dat de zogenoemde ecoregio's zullen verschuiven, waarbij soorten uit zuidelijke streken naar Nederland komen (Van den Hoek en Verdonchot 2001). Koudeminnende (vaak univoltiene) soorten die gewend zijn aan geringe temperatuurwisselingen zullen afnemen (zoals vedermuggen en steenvliegen), andere nemen toe of blijven gelijk. Bij verschuivende ecoregio's is de grootste toename te verwachten bij de platwormen, de watermijten, de steenvliegen, de libellen, de kevers en de wantsen (Van den Hoek en Verdonchot 2001). Invasieve soorten zijn vaak iets groter, ze zijn vraatzuchtiger en ze kunnen beter omgaan met de habitat van de kribben. Een voorbeeld hiervan is de *Dikerogammarus villosus* (Pontokaspische vlokreeft) en *Corophium curvispinum*, die de inheemse vlokreeft (*gammarus pulex*) en een eerdere exoot (*gammarus tigrinus*) bijna compleet hebben verdrongen.

2.2 Macrofauna maatlat

Soortensamenstelling en abundantie

Voor de beschrijving van de ecologische toestand van een waterlichaam op basis van macrofauna wordt gebruikgemaakt van kenmerkende, positief dominante en negatief dominante taxa (Knoben et al. 2004). Toedeling van soorten aan deze groepen indicatoren heeft plaatsgevonden op grond van de eigenschappen van soorten. Negatief dominante soorten zijn soorten die bij dominant voorkomen een slechte ecologische toestand indiceren. Positief dominante soorten kunnen juist in de referentiesituatie dominant voorkomen. Kenmerkende soorten zijn soorten die in de referentiesituatie bij uitstek in het betrokken watertype voorkomen. Voor de taxonlijsten van de indicatoren is uitgegaan van de aquatisch supplementen op het Handboek Natuurdoeltypen (Bal et al. 2001) en vervolgens van bewerkingen van verschillende gegevensbestanden, autecologische informatie van de soorten, overige (historische) literatuurgegevens en *expert judgement*. De lijst met soorten voor de typen R7 en R16 is weergegeven in bijlage 1. Voor het type R8 is geen maatlat beschikbaar omdat:

- er maar zeer weinig soorten kenmerkend zijn voor zoet getijdenwater (de waarde voor 'kenmerkende soorten' (KM) op de maatlat is te laag om onderscheidend effect te geven);
- in getijdenrivieren van nature sedimentatie optreedt; hierdoor komen soorten die in het algemeen als dominant negatief gelden algemeen voor (de waarde voor 'dominant negatieve soorten' (DN) op de maatlat is te hoog om een onderscheidend effect te geven);
- er geen goede (buitenlandse) referentiegegevens beschikbaar zijn.

De kenmerkende indicatorsoorten komen in de referentiesituatie voornamelijk voor in geringe aantallen individuen (bij standaard netbemonstering). Positief dominante taxa kunnen ook in de referentiesituatie in grote aantallen (> negentig individuen per soort in een standaard macrofaunatmonster van 5m x 0,3 m) voorkomen. In de berekening van de maatlat voor een actueel monster hoeft deze abundantiedrempel echter niet gehaald te worden om mee te tellen voor de parameters waarin de dominante taxa een rol spelen. Negatief dominante taxa komen onder referentieomstandigheden vrijwel niet voor.

Berekening van Ecologische Kwaliteitsratio (EKR) in het algemeen

De maatlat combineert soortensamenstelling en abundantie in drie parameters waarin de indicatoren voor kenmerkende soorten, positief dominante en negatief dominante soorten samen komen. De EKR wordt als volgt berekend voor het watertype R7:

$$EKR = fEPT * [\{ 200 * (KM\%/KM_{max}) + 200 * (1 - DN\%/DN_{max}) + (KM\% + DP\%) \} / 500]$$

Voor het watertype R16 wordt de EKR op een iets andere manier berekend:

$$EKR = [\{ 200 * (KM\%/KM_{max}) + 2 * (100 - DN\%) + (KM\% + DP\%) \} / 500]$$

fEPT

fEPT is een correctiefactor voor het aandeel Ephemeroptera (haften), Plecoptera (steenvliegen) en Trichoptera (kokerjuffers). Dit zijn soortengroepen die een positieve indicatie geven van de toestand van het water en gevoelig zijn voor verstoring (bijvoorbeeld morfologie en vervuiling). Deze factor is afhankelijk van het aantal families uit deze groepen dat wordt aangetroffen:

- 0-2 families: fEPT = 0,6
- 3-4 families: fEPT = 0,8
- 5 of meer families: fEPT = 1,0

Deze factor is alleen bij de maatlat van type R7 van toepassing, bij de andere typen, dus ook R16, heeft deze de waarde 1,0.

KM% - percentage kenmerkende soorten

De parameter KM% wordt berekend door het aantal taxa dat zowel in het monster als op de lijst met kenmerkende taxa voorkomen te delen door het totaal aantal taxa in het monster.

KMmax

KMmax is het percentage kenmerkende soorten dat onder referentieomstandigheden mag worden verwacht. KMmax varieert per watertype (voor R7 is dit 25% en voor R16 is dit 26%).

DN% - percentage negatief dominante soorten

De parameter DN% wordt berekend door de abundanties van de taxa die zowel in het monster als op de lijst negatief dominante indicatoren voorkomen om te zetten naar een abundantieklasse en te sommeren en vervolgens te delen door de som van alle abundantieklassen voor alle taxa.

DNmax

DNmax is het percentage dominant negatieve individuen (als abundantieklasse) dat onder de slechtste omstandigheden kan worden verwacht (voor R7 is dit 47% en voor R16 is dit 30%).

KM% + DP% - Som van percentage kenmerkende en positief dominante soorten

De parameter KM% + DP% wordt berekend door de abundanties van taxa die zowel in het monster als op de lijst met kenmerkende taxa of positief dominante indicatoren voorkomen om te zetten naar een abundantieklasse en te sommeren en vervolgens te delen door de som van alle abundantieklassen voor alle taxa.

Huidige toestand

De maatlat is toegepast op actuele meetgegevens van de grote rivieren. De huidige toestand op basis van de EKR-waarde van de maatlat voor natuurlijke wateren ligt voor vrijwel alle waterlichamen rond de grens ontoereikend en matig (Van der Molen en Pot 2007):

Bedijkte Maas (R7): EKR = 0,43 - **Matig**

Bovenmaas (R7): EKR = 0,24 - **Ontoereikend**

Zandmaas (R7): EKR = 0,38 - **Ontoereikend**

Nederrijn/Lek (R7): EKR = 0,36 - **Ontoereikend**

Bovenrijn/Waal (R7): EKR = 0,35 - **Ontoereikend**

IJssel (R7): EKR = 0,37 - **Ontoereikend**

2.3 Toepassing maatlat

De maatlat en temperatuur

Uit de literatuur en uit databases zijn gegevens gehaald over macrofauna in relatie tot de watertemperatuur (Rossaro 1991, Van den Hoek en Verdonschot 2001, Limnodata Neerlandica 2007).

Uit deze dataset zijn voor de soorten uit de maatlaten van de typen R7 en R16 waarvoor gegevens beschikbaar waren, de maximumwatertemperatuur gehaald waarbij deze soort nog kan voorkomen. Ook kon voor een aantal soorten van de maatlaten de maximumwatertemperatuur afgeleid worden waarbij ze nog kunnen groeien, reproduceren en zich kunnen ontwikkelen. Er is alleen uitgegaan van het voorkomen van kenmerkende soorten (en dus niet de abundantie), waarbij de positief en negatief dominante soorten niet zijn meegenomen. Dit is gedaan om een aantal redenen:

- Van een redelijk aantal soorten uit Tabel 2 zijn geen gegevens bekend, waardoor het sterk van het toeval afhangt (wel of geen gegevens van een negatief dominante soort) hoe hoog de berekende EKR-waarde wordt bij een bepaalde temperatuur.
- De GET wordt voornamelijk door kenmerkende soorten bepaald.
- Het percentage DN en DP van de soorten waar wel gegevens over zijn bleek niet representatief voor het percentage DN en DP van alle DN- en DP-soorten uit de maatlaten.
- Abundantie van soorten is moeilijk in te schatten op basis van deze theoretische berekening.

Als alleen het voorkomen van kenmerkende soorten wordt meegenomen in de berekening van EKR, dan wordt de formule als volgt:

$$EKR = fEPT * KM/KM_{max}$$

KM is hierbij het aantal kenmerkende soorten en KMmax het maximum aantal kenmerkende soorten waar gegevens over bekend zijn (dus niet het getal dat gegeven is in de maatlat). Het gaat hier dus om een berekening op basis van de steekproef van soorten waarvoor gegevens beschikbaar waren.

Aannames hierbij zijn:

- De lijst met soorten waar gegevens over zijn (de steekproef) is representatief voor dit watertype. Dit is een bestcase-aanname, omdat er mogelijk geen gegevens zijn gevonden van bepaalde soorten omdat ze heel temperatuurgevoelig zijn. In dat geval is de steekproef niet representatief en zou de GET-temperatuurgrens lager komen te liggen.
- $fEPT = 1$, dat wil zeggen dat van de indicatieve groepen de optimale hoeveelheid families aanwezig is (bestcase-aanname).
- KM_{max} is het totale aantal soorten, gebaseerd op de soorten uit de steekproef en niet op de totale lijst in bijlage 1.

De EKR is berekend door de maximumwatertemperatuur van alle soorten uit de steekproef oplopend te sorteren. De laagste maximumwatertemperatuur die voor een soort is gevonden krijgt een EKR van 1 ($KM = KM_{max}$). Als de maximumtemperatuur hoger wordt, verdwijnt de eerste soort van de lijst en wordt $KM < KM_{max}$. Uiteindelijk zit er nog een soort in de steekproef. Dit is de soort met de hoogste maximumwatertemperatuur. De EKR is nu het laagst.

Mate van voorkomen - Rossaro 1991

Gegevens over de abundantie van soorten in relatie tot de watertemperatuur (habitat-responsrelaties) zijn gehaald uit Rossaro (1991) en uit de Limnodata Neerlandica (2007).

De Rossarogegevens zijn gebaseerd op continue veldmetingen van watertemperatuur in de rivier de Po (Italië) en maandelijkse macrofaunatellingen (van chironomiden) in diezelfde rivier tussen 1977 en 1982. Ook zijn er veldwaarnemingen verzameld in de Italiaanse Alpen tussen 1978 en 1981. De totale database bevatte 6.566 records. De macrofaunadata en de temperatuurdatabank zijn gecombineerd en daaruit zijn habitat-responsrelaties afgeleid voor elf soorten die ook in R7 voorkomen en veertien soorten die in R16 voorkomen. Dit is respectievelijk 9 en 18% van het totale aantal kenmerkende soorten dat in R7 en R16 voorkomt. Vervolgens is het 95-percentiel bepaald van deze habitat-responsrelatie, dat als maximumtemperatuur voor deze soorten is gesteld waarbij ze nog kunnen voorkomen. Dit is gedaan omdat de echte maximumtemperatuur niet beschikbaar was in de literatuur. Deze methode levert een zo goed mogelijke schatting op van de relatie macrofauna-watertemperatuur, maar kent een paar beperkingen:

- De steekproef met 9 en 18% van het totale aantal kenmerkende soorten is klein, waardoor onzekerheid over de uitkomst relatief groot is.
- De monsters komen uit de Po-rivier. Het is niet bekend hoe representatief dit is voor de Nederlandse rivieren.
- De koppeling tussen macrofauna en watertemperatuur is gedaan op de plaats en de dag waarop beide zijn gemeten. De mogelijkheid bestaat dat de macrofauna ook kan voorkomen bij hogere temperatuur (zomer), maar daar zijn dan geen metingen van (bijvoorbeeld bij voor- en najaarsbemonstering). Dit is dus mogelijk een worstcasebenadering.
- Omdat dit een benadering is die een correlatie oplevert en geen causaal verband, kunnen andere factoren een rol hebben gespeeld die de habitat-responsrelatie hebben beïnvloed (zoals het zuurstofgehalte, de mate van vervuiling, stroomsnelheid etc. (worst-case)).
- De steekproef bestaat alleen uit chironomiden, die vaak niet de meest gevoelige soorten zijn (best-case).

Mate van voorkomen - Limnodata Neerlandica 2007

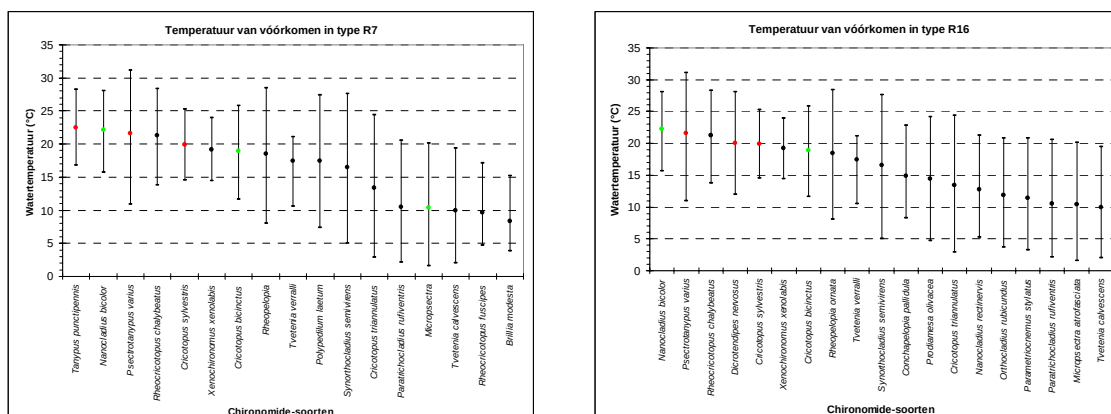
De gegevens uit de limnologische database van Nederlandse oppervlaktewateren (Limnodata Neerlandica 2007) zijn op een vergelijkbare manier geanalyseerd. Abundantiegegevens van afzonderlijke macrofauna soorten in alle stromende wateren in Nederland (alle stromende wateren die in de limnodata zijn aangewezen als 'stromend' zonder de bronnen) zijn gekoppeld met de watertemperatuur. In tegenstelling tot de Rossarodata is nu de koppeling gelegd door de maximumwatertemperatuur te nemen die op dezelfde plek en hetzelfde jaar is gemeten als waarin de

macrofaunamonsters zijn verzameld. Dit is gedaan omdat de macrofauna vooral in het voor- en najaar zijn verzameld, waardoor de zomertemperaturen niet worden meegenomen. Het niet meenemen van de zomertemperatuur is niet realistisch, aangezien de macrofauna die in het najaar is geteld wel de zomer ervoor is doorgekomen. Per soort is nu de maximumtemperatuur genomen waarbij de kenmerkende soort nog is waargenomen, ongeacht de abundantie (en niet het 95-percentiel zoals bij de Rossarodata). Zodoende is voor 96 van de 126 kenmerkende R7-soorten (76%) een maximumwatertemperatuur afgeleid. Hetzelfde is gedaan voor 63 van de 79 kenmerkende R16-soorten (80%). Dit is een iets andere benadering dan al eerder voor macrofauna was uitgevoerd voor de bepaling van de GET-temperaturen (Evers 2007) waarbij toentertijd is gekeken naar de EKR van het monster (op basis van de soorten die daar in zaten) en niet per soort. Deze relatief grote steekproef levert betrouwbaardere resultaten op dan bij de Rossarodata. De resultaten van deze analyse zouden kunnen worden opgevat als een bestcasebenadering, maar kent ook een aantal beperkingen:

- Andere factoren hebben mogelijk een rol gespeeld bij het wel of niet voorkomen van een soort. Als dit het geval is, dan zouden de werkelijke maximumtemperaturen hoger kunnen liggen (worstcase-aanname).
- De macrofauna- en temperatuurwaarnemingen zijn niet gekoppeld op dezelfde dag dat ze zijn waargenomen, maar er is een maximumtemperatuur op die plaats van hetzelfde jaar genomen. Hierdoor is niet met zekerheid te zeggen dat de macrofaunasoorten ook daadwerkelijk bij die temperatuur kunnen voorkomen (best-case).
- De soorten die niet in de database zijn gevonden, waren mogelijk niet aanwezig vanwege hoge watertemperaturen. Dit betekent dat de uiteindelijke steekproef in dat geval een bestcasebenadering is en dat mogelijk de werkelijke GET-grens lager ligt.

Mate van voorkomen - resultaten

Voor wat betreft de chironomiden is het opvallend dat de negatief dominante soorten het optimum bij een relatief hoge temperatuur hebben. Bij stijgende temperaturen zullen zij het meeste voordeel hebben (Figuur 5). Het percentage DN zal dan dus stijgen en de EKR daardoor dalen.

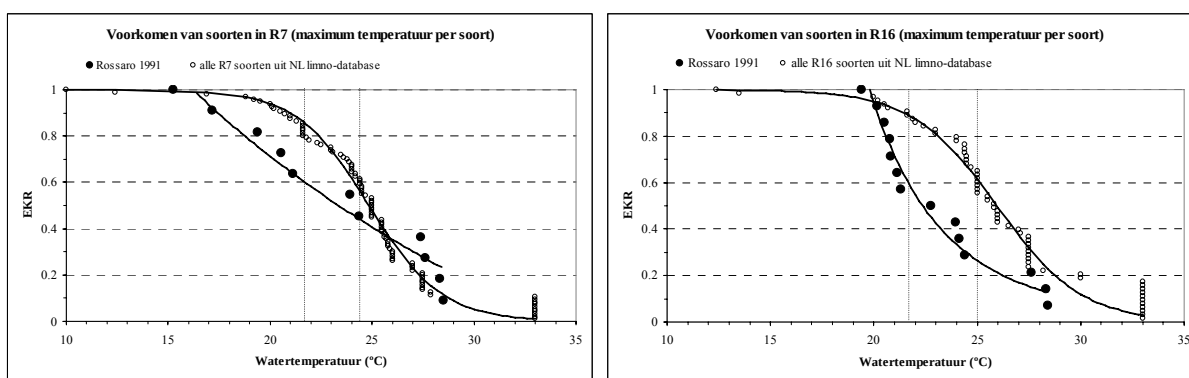


Figuur 5. Abundantie van chironomidesoorten die ook in type R7 en R16 voorkomen, in relatie tot watertemperatuur (Rossaro 1991). De figuur geeft het optimum in abundantie (bolletjes) en het minimum en maximum (95-percentiel) van voorkomen (streepjes) aan. Rode bolletjes geven negatief dominante soorten aan, groene bolletjes zijn positief dominante soorten en zwarte bolletjes zijn kenmerkende soorten (zie paragraaf 2.2).

De maximumtemperatuur waarbij chironomiden kunnen voorkomen varieert voor de onderzochte soorten in type R7 tussen 15 °C voor *Brillia modesta* en 31 °C voor *Psectrotanypus varius*, en tussen 20 °C en 31 °C in type R16. Gemiddeld ligt het maximum voor kenmerkende soorten in beide typen

wateren op 23 °C, voor positief dominante soorten op 25 °C in R7 en 27 °C in R16, en voor negatief dominante soorten op 28 °C in zowel R7 als R16. Let wel, dit zijn maxima van voorkomen van de soort. Er zijn boven deze maxima geen individuen aangetroffen. Overigens is dit slechts een beperkte steekproef van de chironomiden die kunnen voorkomen. Het zijn alleen de soorten waar informatie over bekend is.

In Figuur 6 zijn de resultaten van beide benaderingen (Rossaro en Limnodata) samen weergegeven. Het blijkt dat de grens voor macrofauna tussen GET en matig ligt tussen 22 en 25 °C voor beide typen wateren. De ondergrens wordt gevormd door de analyse van de Rossarogegevens, die als een worstcasebenadering kan worden opgevat. De bovengrens wordt gevormd door de analyse van de limnodatabase (een meer bestcasebenadering).



Figuur 6. Maximumwatertemperatuur waarbij macrofaunasoorten uit de typen R7 en R16 kunnen voorkomen, uitgezet tegen EKR voor de twee gebruikte benaderingen (Rossaro en Limnodata).

Groei, reproductie en ontwikkeling

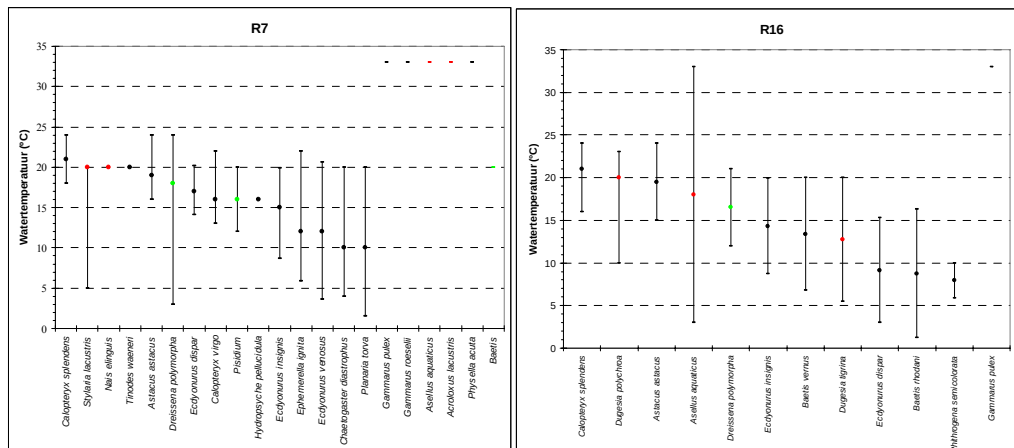
Gegevens over de invloed van temperatuur op de groei, reproductie en ontwikkeling van macrofaunasoorten zijn gehaald uit Van den Hoek en Verdonchot (2001), dat een samenvatting geeft van veel temperatuureffecten die in de literatuur bekend zijn. Deze gegevens zijn dus een samenstelling van veel verschillende bronnen en veel verschillende soortengroepen. Uit de gegevens is de maximumtemperatuur per soort gehaald waarbij de groei en/of reproductie en/of de ontwikkeling nog niet sterk werden gereduceerd. Voor type R7 waren er gegevens van twaalf kenmerkende soorten (8% van het totaal), en voor type R16 waren er gegevens van acht kenmerkende soorten (ook 8% van het totaal). Enkele beperkingen van deze aanpak zijn:

- De steekproef is klein met 8% van het totale aantal soorten in beide typen, waardoor de onzekerheid over de uitkomst relatief groot is.
- De gegevens komen uit veel verschillende bronnen. Het is niet bekend hoe representatief deze gegevens zijn voor de Nederlandse rivieren, en of ze vergelijkbaar met elkaar zijn.
- De temperatuurmaxima zijn bepaald op basis van het maximum van een optimale situatie. Hierboven is de groei, reproductie en/of ontwikkeling verstoord. Dit zijn dus geen letale maxima, waardoor de waarden moeilijker zijn in te schatten en te interpreteren. Anderzijds geldt dit voor een gevoelige periode van de levenscyclus van de organismen en het is dus extra belangrijk dit goed te beschermen.

Groei, reproductie en ontwikkeling - resultaten

Wanneer in de literatuur wordt gezocht naar de effecten van watertemperatuur op alle mogelijke stadia in de levenscyclus, dan komt het volgende beeld naar voren (Figuur 7). Hier is de groei (van het individu en de populatie), ontwikkeling en reproductie bekeken als afhankelijke parameter van de

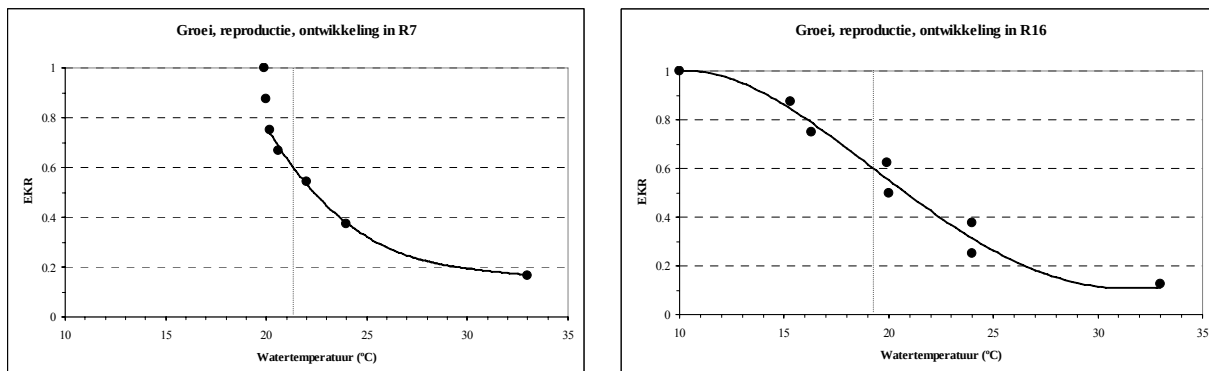
watertemperatuur. Als er per soort gegevens van meerdere parameters bekend waren, dan is steeds de meest gevoelige parameter uitgezet. Onzekerheden bij deze analyse zijn groot gezien de kleine dataset en de moeilijk te meten effecten. Hier komt hetzelfde beeld naar voren als in Figuur 5, namelijk dat de optimum watertemperatuur varieert tussen ongeveer 10 en 21 °C.



Figuur 7. Alle beschikbare gegevens van optimum-, minimum- en maximumwatertemperatuur van macrofaunasoorten uit de matlatten van R7 en R16, voor wat betreft de reproductie, groei en ontwikkeling. Minima en maxima geven in dit geval minima en maxima van het optimum aan. Rode bolletjes geven negatief dominante soorten aan, groene bolletjes zijn positief dominante soorten en zwarte bolletjes zijn kenmerkende soorten (zie paragraaf 2.2).

Ook hebben de negatief dominante soorten een voorkeur voor hogere watertemperaturen en variëren de maxima tussen 20 en 33 °C voor type R7 en tussen 10 en 33 °C voor type R16. Het blijkt dus dat een watertemperatuur tussen 10 en 20 °C het meest optimaal is voor deze soorten. Boven de 20 °C is het voor een aantal soorten al problematisch. Het is dan de vraag hoe lang en in welk seizoen deze hogere temperaturen mogen voorkomen om geen negatieve effecten te veroorzaken.

Uit de EKR-analyse komt voor GET in de gevoelige periode een grenswaarde van 21 °C in R7 en 19 °C in R16 (Figuur 8). Dit is iets lager dan bij het voorkomen van soorten werd gevonden. De groei, reproductie en de ontwikkeling van soorten vindt meestal plaats tijdens een korte (gevoelige) periode in het jaar. De vraag is nu welke periode voor macrofauna van belang is als het gaat over de groei, reproductie en de ontwikkeling. Het blijkt dat ongeveer de helft van de onderzochte soorten in Figuur 8 bestaat uit uitvliegers. Eieren worden over het algemeen in mei/augustus gelegd (De Pauw en Vannevel 1993, Merritt en Cummins 1996). Het uitkomen en de ontwikkeling gebeurt dan in juli/augustus. Uitvliegen vindt over het algemeen ook plaats in juli/augustus. Zowel het moment als de snelheid van uitvliegen wordt sterk door de temperatuur bepaald (Hynes 1970). Uitvliegers zijn specifiek gevoelig tijdens de uitvliegperiode. De onderzochte soorten zijn vooral univoltiene soorten (een generatie per jaar), en daardoor kwetsbaar voor verstoring. Andere soorten kennen niet zo'n specifieke gevoelige periode. Uitgaande hiervan zou de grenswaarde voor GET (voor wat betreft de groei, reproductie en ontwikkeling) ongeveer moeten gelden voor de periode mei/augustus. Een gedetailleerde analyse van de precieze periode is echter op basis van de beschikbare gegevens niet mogelijk.



Figuur 8. Maximumwatertemperatuur waarbij macrofaunasoorten uit de maatlaten voor R7 en R16 kunnen groeien, reproduceren en ontwikkelen, uitgezet tegen EKR.

2.4 Conclusies

Uit het literatuuronderzoek bleek dat een hoge watertemperatuur zorgt voor stress bij macrofaunasoorten, een toename van exoten bevordert en dat het de rekolonisatie van inheemse soorten tegengaat. Ook bleek dat interacties tussen soorten veranderen en ecosystemen minder stabiel worden. Het is op basis van de huidige wetenschappelijke literatuur echter nog moeilijk in te schatten hoe groot de effecten hiervan zijn (vooral de effecten van hoge temperaturen in de winter) en hoe deze doorwerken in de maatlat en in hoeverre ze dus een goede ecologische toestand in de weg staan.

Voor R8 is nog geen macrofaunamaatlat beschikbaar, maar voorlopig is de maatlat van R7 een goede aanname voor R8. Voor de typen R16 en R7 ligt de op dit moment meest voor de hand liggende maximumwatertemperatuur die hoort bij een goede ecologische toestand voor macrofauna in de range van 22 tot 25 °C. Het verschil in betrouwbaarheid van de analyses geeft aanleiding om eerder uit te gaan van de bovenkant van de range dan de onderkant. De 25 °C-grens is echter wel afgeleid met overwegend bestcase-aannames, waardoor de maximumtemperatuur voor GET waarschijnlijk lager, of gelijk aan, 25 °C zal moeten zijn.

Voor de gevoelige periode is voor R7 een maximum van ruim 21 °C gevonden en voor type R16 een maximum van 19 °C. De analyses hiervan zijn gebaseerd op een kleine dataset waardoor de uitkomst minder betrouwbaar is. Ook zijn de effecten op de groei en reproductie vaak moeilijker te meten dan op het voorkomen van soorten, waardoor de onzekerheid van deze resultaten groter is.

Het is lastig de exacte gevoelige periode aan te wijzen op basis van de gevonden gegevens in de literatuur. Deze zal afhankelijk van de soort ongeveer tussen mei en augustus liggen, maar een gedetailleerde analyse zoals gedaan bij de vissen is voor macrofauna op dit moment nog niet mogelijk.

3 Vissen

3.1 Invloed temperatuur op vissen

3.1.1 Algemeen

Fysiologie

Vissen zijn ectotherme organismen. Groei, reproductie en gedrag zijn alle afhankelijk van de temperatuur van het water. Bij een hogere temperatuur zullen de biochemische processen in cellen sneller verlopen. De snelheid van het metabolisme stuurt weer biologische processen in de vis aan zoals groei en reproductie (Verdonschot et al. 2007, Ficke et al. 2007, Kerkum et al. 2004, Turnpenny en Liney 2006). Een algemeen principe is dat bij een toenemende temperatuur de respiratie van vissen toeneemt (Kitchel et al. 1977). De groeisnelheid neemt ook toe met toename van de temperatuur, mits er voldoende voedsel aanwezig is in het systeem om het verhoogde metabolisme op gang te houden (Ficke et al. 2007). Er zijn ook *trade-offs* voor een hogere temperatuur. In relatief warme jaren groeiden juveniele snoeken en baarzen in Lake Windermere (Engeland) sneller en hadden een lagere mortaliteit, maar hadden ook een verlaagde reproductie en kortere levensduur (Craig en Kipling 1983). De lengte van vissenlarven die uit de eieren komen is korter als de incubatietemperatuur hoger was; de groei na de periode dat de larven leven van de dooierzak is wel positief gecorreleerd met een hogere temperatuur (Blaxter 1992).

Ziekten en infecties

In warmer water zijn vissen gevoeliger voor infecties, ziekten en parasieten. In het gebied waar koelwater van de Flevocentrale wordt geloosd zijn meer bacteriële infecties aan huid en vinnen gevonden dan in het gebied daarbuiten (De Kruik 1983). Ook zijn parasitaire wormen gevonden in brasem die in het lozingsgebied leeft, terwijl de parasitaire wormen niet zijn aangetroffen bij brasem buiten het lozingsgebied (De Kruik 1983). Een hogere temperatuur heeft ook meer gevoeligheid voor ziekten tot gevolg. Een voorbeeld hiervan is de aal, die bij een hoge watertemperatuur vatbaar is voor de roodziekte (*vibriosis*) (Turnpenny en Liney 2006, McCarthy 1976). Hierbij moet de kanttekening worden geplaatst dat de gevoeligheid voor ziektes van sommige vissoorten niet het gevolg is van *hoge* temperaturen maar van *temperatuurschommelingen*, waarbij een hogere wintertemperatuur het aantal zieke vissen kan beperken (Snieszko 1974).

Maximale temperatuur

Alle vissen kennen een soortspecifieke temperatuurrange die wordt begrensd door een kritiek temperatuurminimum en een kritiek temperatuurmaximum (letale temperaturen). De temperatuurrange kan zowel nauw (stenotherm) als breed (eurytherm) zijn (Ficke et al. 2007). Vissen zijn in staat om zowel in een laboratorium als in natuurlijke omstandigheden door acclimatisatie de grenzen van de temperatuurrange enigszins op te rekken (Ficke et al. 2007). De temperatuurrange voor eieren, juvenielen en volwassenen kan variëren (Ficke et al. 2007, Küttel et al. 2002, Elliot en Elliot 1995) waardoor voor een bepaalde levensfase een bepaalde temperatuur dodelijk is terwijl dezelfde temperatuur voor de adulte vis geen probleem oplevert (Küttel et al. 2002). Vissoorten die paaieren zullen dit doen in water met temperaturen waarbij de eieren en larven kunnen overleven. In een aantal reviews en boeken worden tabellen gegeven met de maximumtemperaturen voor het voorkomen van verschillende vissoorten. De maximumtemperaturen voor volwassenen staan in bijlage 2. De maximale temperatuur voor vissen komt uitgebreider aan de orde in paragraaf 3.1.2.

Paaiperiode en -temperatuur

De watertemperatuur speelt een belangrijke rol in de paaiperiode. Sommige soorten (onder andere kwabaal, spiering, winde, serpeling) hebben een koude periode in de winter nodig om tot reproductie te komen (Ficke et al. 2007, Kerkum et al. 2004). De paaiperiode en de benodigde paaitemperatuur voor verschillende vissoorten staat gegeven in bijlage 3. Deze bijlage is samengesteld uit gegevens afkomstig van verschillende boeken en reviews. De paaitemperatuur en paaiperiode komen aan de orde in paragraaf 3.1.3.

Beleid en beheer

De Europese Viswaternrichtlijn (EU 2006) onderscheidt twee typen water: water voor zalmachtigen en water voor karperachtigen. De temperatuurgrenzen gesteld in de Viswaternrichtlijn zijn respectievelijk 21,5 °C en 28 °C. In Nederland is alleen de Grensmaas aangewezen als water voor zalmachtigen, de overige grote rivieren zijn water voor karperachtigen. In Nederland is in de Vierde Nota Waterhuishouding de temperatuurnorm op 25 °C gesteld (Ministerie van Verkeer en Waterstaat 1998). In het kader van de KRW zijn er al voorstellen gedaan voor getalswaarden voor algemene fysisch-chemische kwaliteitselementen (Evers 2007). Voor watersystemen kleiner dan de grote rivieren is het voorstel een maximale dagwaarde ≤ 25 °C; voor de grote rivieren van type R7 en R8 was dit nog niet ingevuld (Van der Molen et al. 2006), voor R16 is het voorstel $\leq 21,5$ °C. De Grensmaas heeft als enige rivier in Nederland het KRW-type R16. Hoe de conceptmaatlaten voor de KRW watertypen R7, R8 en R16 eruit zien voor het biologische kwaliteitselement vissen wordt besproken in paragraaf 3.2.

3.1.2 Maximale temperatuur

De maximale temperatuur voor voorkomen van vissoorten wordt met name bepaald door de letale temperatuur voor die soorten. In bijlage 2 staan de letale temperaturen voor een groot aantal Nederlandse zoetwatervissoorten. De bijlage is samengesteld uit gegevens die worden gepresenteerd in een aantal reviews over de relatie tussen vissen en temperatuur. De uitgangspunten voor deze reviews varieerden van koelwater (Kerkum et al. 2004) en klimaatverandering (Verdonschot et al. 2007) tot rivierherstel (Küttel et al. 2002) en KRW (Turnpenny en Liney 2006, Carvalho et al. 2002). Er is spreiding aanwezig tussen de verschillende reviews wat betreft de maximale temperatuur. Oorzaken hiervoor zijn te vinden in de gebruikte onderzoeksmethoden voor het bepalen van de maximale temperatuur en de gehanteerde definitie. De maximale temperatuur is onder andere afhankelijk van acclimatisatietemperatuur (Ficke et al. 2007, Kerkum et al. 2004), zuurstofgehalte (Kerkum et al. 2004, Rutledge en Beitinger 2005), de herkomst van de gebruikte vissen in de experimenten (Feminella en Matthews 1984, Schaeffer en Ryan 2006), de snelheid van opwarmen (Blaxter 1992) en duur van de blootstelling van vissen aan de hoge temperaturen (Blaxter 1992).

Voor een aantal soorten presenteert bijlage 2 geen getalswaarden voor de maximale temperatuur. Voor deze soorten zijn in de literatuur aanvullende gegevens gezocht.

Voor ongeveer 25% van de Nederlandse vissoorten (uit bijlage 2) blijkt de maximumtemperatuur zeker boven de 30 °C te liggen. Soorten als de aal (*Anguilla anguilla*), karper (*Cyprinus carpio*), kroeskarper (*Carassius carassius*) en zeelt (*Tinca tinca*) overleven in sommige gevallen temperaturen tot boven de 38 °C.

De Atlantische steur (*Acipenser sturio*) komt alleen in de juveniele levensfasen voor in rivieren (Van Emmerik en De Nie 2006) maar is bijna overal in Europa uitgestorven. In de Nederlandse rivieren is de steur niet meer gesignaleerd sinds de jaren vijftig van de vorige eeuw (Van Emmerik en De Nie 2006). Momenteel wordt er onderzoek gedaan naar het uitzetten van gekweekte steuren in het wild (Van Emmerik 2004) en zijn er experimenten gaande voor de herintroductie van de steur door middel van opkweek en uitzetten van juvenielen in Frankrijk en Duitsland. Het valt echter niet te verwachten dat de

steur al in de komende jaren zal bijdragen aan het bereiken van een goede ecologische toestand van de Nederlandse grote rivieren.

In een van deze onderzoeken is de groei van juveniele steuren waargenomen bij een watertemperatuur van 13-27 °C (Kirschbaum et al. 2000). De maximale temperatuur voor steur zal waarschijnlijk een aantal graden boven de 27 °C liggen. De steur is mogelijk gevoelig voor temperatuurverstoringen.

De optimumtemperatuur voor de bittervoorn (*Rhodeus sericeus*) ligt rond de 24 °C (De Lange en Van Emmerik 2006). De maximumtemperatuur zal hier mogelijk een aantal graden boven liggen, maar hoe hoog deze dan is, komt niet duidelijk naar voren in de literatuur.

De kleine modderkruiper (*Cobitis taenia*) heeft een brede temperatuurrange en heeft een maximale temperatuur van 29 °C (Bohlen 2003).

De spiering (*Osmerus eperlanus*) heeft een voorkeur voor koeler water (Nellbring 1989, Kangur et al. 2007). Een combinatie van een aantal negatieve milieuomstandigheden, waaronder een hoge temperatuur van 26,6 °C, veroorzaakt massale sterfte van spiering in een meer in Estland (Kangur et al. 2005). De maximumtemperatuur voor de eerste levensfasen voor spiering ligt rond de 20,7 °C (Nellbring 1989). Spiering komt in Nederland voor in het IJsselmeer, een aantal meren en plassen en in mindere mate in de grote rivieren (Van Emmerik en De Nie 2006). Bij temperaturen boven de 26 °C is massale sterfte gerapporteerd (Kangur et al. 2005). De populatiedynamica van spiering (vroeg geslachtsrijp, hoge vruchtbaarheid) maakt wel een redelijk snel herstel van de populatie mogelijk (Horppila et al. 1996).

De zeeforel en beekforel zijn de migrerende en de standplaatsgetrouwe vormen van de *salmo trutta*. Forellen zijn typische koudeminnende, rheofiele soorten. De maximumtemperatuur voor de zeeforel is rond de 26-27 °C; voor juvenielen (smolts) is deze lager (rond de 24 °C). De smolts trekken in het voorjaar van de rivier naar de zee, wanneer het rivierwater nog koel is (10-15 °C) (Kikkert en Beers 2006).

De populaties van forel en zalm zijn zich aan het herstellen nu de waterkwaliteit van de grote rivieren beter geworden is en er vindt weer trek plaats tussen de zee en paaigebieden. Temperaturen van 27-28 °C liggen boven het optimum van de zalm en forel. Als het rivierwater te warm is voor de forel/zalm (> 23,4 °C) zal de trek stil komen te liggen totdat het water is afgekoeld. Om de trek van juveniele forel en zalm naar zee mogelijk te maken mag de temperatuur in de maanden dat er wordt getrokken (april/mei) niet boven de maximumwaarden voor de juvenielen komen (circa 23 °C) (Kikkert en Beers 2006).

De driedoornige stekelbaars is niet in staat goed te overleven bij temperaturen boven de 26-27 °C (Blahm en Snyder 1975, Jordan en Garside 1972), hoewel er een ondersoort is in Californië (Verenigde Staten), *Gasterosteus aculeatus williamsoni* (*unarmored stickleback*), die een hogere temperatuurtolerantie heeft (tot boven de 30 °C) (Feldmeth en Baskin 1976).

Over de rivierprik (*Lampetra fluviatilis*) is weinig informatie over de maximale temperaturen bekend (Maitland 2003). De zeeprik (*Petromyzon marinus*) komt als larve voor in de rivieren en als volwassene om te paaieren. Larven van de zeeprik zijn gevonden in wateren met een temperatuur tot 26,1 °C (Maitland 2003). De optimum paaitemperatuur voor de zeeprik heeft een bovengrens van 25 °C (Maitland 2003). Het is aannemelijk dat de maximale temperatuur voor de zeeprik een aantal graden boven deze 25 °C zal liggen.

De soort met de laagste maximale temperatuur is de als typisch koudstenotherme soort beschouwde kwabaal (*Lota lota*). Waarden gevonden in de reviews variëren van 20 °C (Verdonschot et al. 2007) tot 23 °C (Van Emmerik en De Nie 2006), hoewel juvenielen zijn gevonden in de litorale zone met een watertemperatuur van 25 °C (Hofmann en Fischer 2002). De kwabaal zal bij watertemperaturen boven de 23-25 °C in problemen komen. Als overlevingsstrategie bij hoge temperaturen in de zomer nemen de activiteit en het metabolisme van de kwabaal af (Hardewig et al. 2003) en zal de kwabaal op zoek gaan naar koudere waterlagen (Hofmann en Fischer 2002). De kwabaal is een sterk bedreigde vissoort in Nederland. Een van de veronderstelde oorzaken is het opwarmen van het rivierwater door koelwaterlozingen en het verdwijnen van geschikt habitat voor de larven (Van Emmerik en De Nie 2006).

Voor de grote modderkruiper (*Misgurnus fossilis*), houting (*Coregonus oxyrinchus*), fint (*Alosa fallax*), elft (*Alosa alosa*), bot (*Platichthys flavipes*) en elrits (*phoxinus phoxinus*) is geen literatuur over de maximumtemperatuur gevonden.

3.1.3 Paaitemperatuur en paaiperiode

Voor vissen is de paai vaak afhankelijk van het bereiken van een bepaalde watertemperatuur (Verdonschot et al. 2007, Ficke et al. 2007, Kerkum et al. 2004, Turnpenny en Liney 2006) en is dus in onze gematigde streek vaak beperkt tot een aantal maanden per jaar met de geschikte temperatuur. Sommige soorten (onder andere kwabaal, spiering, winde, serpel) hebben een koude periode in de winter nodig om tot reproductie te komen (Ficke et al. 2007, Kerkum et al. 2004). Andere soorten hebben een minimale (rivierprik (Maitland 2003)) of stijgende temperatuur (barbeel (Van Emmerik en De Nie 2006)) nodig voordat de paai begint. Het kan zijn dat voor dezelfde soort maar op een hogere of lagere breedtegraad de paaiperiode in andere maanden valt dan in Nederland. Maar de paaiperiode kan ook door andere omgevingsfactoren worden beïnvloed, zoals stroomsnelheid in de rivieren. Een voorbeeld van een soort met een verschil in paaiperiode tussen Nederland en het Verenigd Koninkrijk is de fint. De fint paait in Nederland in april en mei. De trek naar de paaigronden begint derhalve voor april, als het water minimaal 11-12 °C is (Van Emmerik en De Nie 2006). In het Verenigd Koninkrijk loopt de paaitijd van halverwege mei tot halverwege juli (Maitland en Hatton-Ellis 2003). Verschil in paaiperiode kan ook bestaan binnen een waterlichaam. Als gevolg van koelwaterlozingen paaiden spieringen en blankvoorn in een deel van het IJsselmeer iets eerder dan de spiering en blankvoorn die buiten het invloedgebied van de koelwaterlozing leefden (De Kruik 1983).

De paaiperiode en de benodigde paaitemperatuur voor verschillende vissoorten staat in bijlage 3. Deze bijlage is samengesteld uit gegevens afkomstig van verschillende boeken en reviews (Verdonschot et al. 2007, Van Emmerik en De Nie 2006, Carvalho et al. 2002, Küttel et al. 2002, Mann 1996). Niet voor alle soorten worden getalswaarden voor maximale paaitemperatuur en/of specifieke paaiperiode gegeven in de reviews, hiervoor is aanvullende literatuur gezocht. De tabel in bijlage 3 is aangevuld met de gevonden getalswaarden.

Paaitemperatuur

Aal (*Anguilla anguilla*) en bot (*Platichthys flesus*) zijn katadrome soorten. De paai vindt plaats op zee. Paaitemperatuur en paaitijd zijn dus niet van toepassing voor de Nederlandse grote rivieren.

De Atlantische steur is een anadrome vis die in het voorjaar de rivier op trekt naar de paaigronden. De steur is bijna overal in Europa uitgestorven. De paaitemperatuur voor de Atlantische steur is afhankelijk van het riviersysteem. Voor de Rijn is het 14-15 °C, voor andere rivieren zijn temperaturen gevonden in de range van 17-21 °C. Of de steur in de toekomst weer terug zal komen in de grote rivieren om te paaien of op te trekken naar paaigebieden bovenstrooms is nog maar de vraag (Van Emmerik 2004).

Het is overigens niet waarschijnlijk dat de steur ooit in Nederland heeft gepaaid (Van Emmerik en De Nie 2006).

De kleine modderkruiper (*Cobitis taenia*) heeft een brede temperatuurtolerantie en kan worden beschouwd als een soort aangepast aan reproductie in warmer water. Eieren van de kleine modderkruiper zijn gevonden in water met een temperatuur van 18 °C tot 26 °C (Bohlen 2003).

De rivierprik (*Lampetra fluviatilis*) is een anadrome soort die vanuit de zee optrekt naar de paaigronden in de midden- en bovenloop van de rivieren. Het is niet duidelijk of de rivierprik momenteel in Nederland paait (Van Emmerik en De Nie 2006), maar zou dat in de referentietoestand wel doen. Paaitrek vindt plaats in het najaar, het paaïen zelf in maart-april (bij hogere noorderbreedte mei-juli) bij temperaturen vanaf 8,5 °C en gaan door bij hogere temperaturen (Maitland 2003).

De zeeprik (*Petromyzon marinus*) is een anadrome soort en paait in de huidige situatie waarschijnlijk niet in Nederland door het ontbreken van geschikte paaiplaatsen (Van Emmerik en De Nie 2006). De paai vindt plaats in mei/juni. De paaitemperatuur ligt tussen de 11 en 25 °C (Maitland 2003).

De zalm (*salmo salar*) is een anadrome soort en paait niet in Nederland, maar trekt wel door de Nederlandse gebieden naar bovenstroomse paaigebieden (Van Emmerik en De Nie 2006). De migrerende vorm van de forel (zeeforel) is anadroom en paait niet in de Nederlandse grote rivieren door het ontbreken van geschikte habitats (Van Emmerik en De Nie 2006). De zeeforel zou wel kunnen paaïen in zijlopen van de rivieren (bijvoorbeeld beken in Zuid-Limburg) De standplaatsgetrouwe beekforel paait wel in Nederland, maar in kleine beken en niet in de grote rivieren (Van Emmerik en De Nie 2006). De beekforel paait rond de 6 °C (Alabaster en Lloyd 1982) hoewel ook paaitemperaturen tussen de 1 en 13 °C worden aangegeven in de literatuur (Küttel et al. 2002); de paaitemperatuur voor de zeeforel ligt tussen de 1 en 8 °C (Alabaster en Lloyd 1982). De trek van diadrome vissoorten vanaf de zee naar de paaigronden is afhankelijk van een aantal factoren waaronder temperatuur. Bij een te hoge temperatuur komt de paaitrek stil te liggen en wordt vervolgens hervat als het water afkoelt (Kikkert en Beers 2006).

Voor de fint (*Alosa fallax*) en elft (*Alosa alosa*) begint de paaitrek in het voorjaar als de watertemperatuur de 11-12 °C bereikt (Van Emmerik en De Nie 2006). De paaiperiode van de elft loopt van april tot juli (Van Emmerik en De Nie 2006, Maitland en Hatton-Ellis 2003). De temperatuur moet boven de 15 °C liggen voordat er wordt gepaaid. Voor de fint loopt de paaiperiode april-juli (Van Emmerik en De Nie 2006, Maitland en Hatton-Ellis 2003). De eieren van de fint hebben een bovengrens van 25 °C om goed tot ontwikkeling te komen (Aprahamian et al. 2003). De fint paait wel in Nederland, de elft trekt verder stroomopwaarts (Van Emmerik en De Nie 2006).

De houting (*Coregonus oxyrinchus*) is in de jaren dertig van de vorige eeuw uitgestorven in Nederland maar de populaties herstellen zich momenteel weer, onder andere door het uitzetten van gekweekte houtingen in Duitsland (Horppila et al. 1996, Kranenbarg et al. 2002). Waarschijnlijk paait de houting sinds kort ook weer in Nederland (Van Emmerik 2004, Wageningen Imares 2007).

Paaitijd

Wat betreft paaitijd zijn er in Nederland twee perioden te onderscheiden. Een aantal soorten paait in de winter bij lage watertemperaturen. Het merendeel van de vissoorten paait echter in het voorjaar of zomer. Wat betreft de 'winterpaaïers' paaïen de zalm en forel niet in de Nederlandse grote rivieren. De kwabaal plant zich wel voort in Nederland maar staat sterk onder druk door het verdwijnen van geschikte paaigebieden. Sinds kort paait de houting waarschijnlijk wel weer in Nederland (Van

Emmerik 2004). Vanuit het oogpunt van deze winterpaaiers mag de temperatuur niet boven de 6-8 °C komen in de maanden december, januari en februari.

In maart kan de kwabaal nog paaïen als uitloop van de wintermaanden. In het vroege voorjaar paaït verder de spiering (februari-april) in relatief koud water. De *landlocked* populatie van de spiering in Nederland, veruit de grootste populatie in Nederland, paaït in het IJsselmeer (Van Emmerik en De Nie 2006), de anadrome vorm paaït in de uitlopers van grote rivieren (bijvoorbeeld het Haringvliet) (Van Emmerik en De Nie 2006) maar ook in de rivieren zelf (Nellbring 1989). De populatie van de spiering is de laatste jaren wel onder druk komen te staan. Redenen hiervoor zijn nog niet duidelijk maar het zou aan overbevissing kunnen liggen maar ook aan het warmer worden van het water (Van Emmerik en De Nie 2006). Ook de rivierdonderpad en serpeling paaïen in maart maar de bovengrens van de paaitemperatuur ligt voor deze soorten wat hoger, rond de 14 °C. Overigens begint de paaiperiode voor de serpeling en rivierdonderpad al in februari.

In april begint de paaiperiode voor een groot aantal soorten. Voor veel van deze soorten loopt de paaiperiode tot juni/juli. De laagste bovengrens voor de paaitemperatuur ligt op 12 °C (spiering). De serpeling en rivierdonderpad paaïen tot 14 °C maar de paaiperiode voor deze soorten begint al in februari. De winde paaït tot 15 °C, de sneep tot 16 °C en de riviergrondel tot 17 °C. De overige soorten van de maatlaten voor de grote rivieren paaïen bij temperaturen boven de 20 °C.

Voor de maand mei, maar ook juni en juli, is er weinig verschil met april qua soorten en paaiperiode. Dat wil zeggen dat er een aantal soorten zijn die bij koeler water paaïen (14-17 °C), maar dat voor het grootste deel van de soorten de bovengrens voor de paaitemperaturen boven de 20 °C ligt. Voor de soorten die koeler water nodig hebben voor hun paaï, begint de paaiperiode ook al eerder in het jaar (februari/maart) waardoor een temperatuur van circa 20 °C eind mei geen problemen op zal leveren voor deze soorten.

De paaiperiode is vaak temperatuurgestuurd voor vissen. Informatie over paaiperiode en paaitemperatuur is afkomstig uit Europese literatuur. De in bijlage 3 weergegeven paaiperiodes kunnen daarom verder doorlopen dan van toepassing voor Nederland. Een voorbeeld hiervan is de rivierdonderpad. De paaiperiode voor deze soort loopt van februari tot juli maar de lengte van de voortplantingsperiode en het aantal malen dat er wordt gepaaïd is variabel en afhankelijk van de productiviteit van het watersysteem (Peters 2005).

3.1.4 Exoten en temperatuur

In de Nederlandse rivieren komen exoten voor. De belangrijkste oorzaak voor het verschijnen van exoten in de Nederlandse rivieren is de opening van het Main-Donaukanaal in 1992 dat de stroomgebieden van de Rijn en Donau met elkaar verbindt (Bij de Vaate et al. 2002).

Naast migratie van inheemse vissoorten uit andere stroomgebieden komen ook vissoorten die in de andere stroomgebieden zijn uitgezet hierheen (secundaire introductie). Andere oorzaken van het voorkomen van exoten in de Nederlandse rivieren zijn viskwekerijen, het uitzetten voor de sportvisserij (bijvoorbeeld regenboogforel) en het vrijlaten van aquarium- en/of vijvervissen (bijvoorbeeld guppy of de zonnebaars).

Onder de abiotische factoren die een rol spelen bij het succes van uitheemse vissoorten is onder andere de algemene opwarming van het rivierwater van belang, waardoor exoten makkelijker in de winter kunnen overleven en een voordeel hebben qua groei en voortplanting. Een ander punt zijn de thermische refugia die ontstaan door koelwaterlozingen door industrie en elektriciteitscentrales waardoor warmwatersoorten toch de Nederlandse winters kunnen overleven (Reeze et al. 2005).

In verhouding tot macrofauna is het aantal vissoorten dat als exoot beschouwd wordt gering (Reeze et al. 2005). Soorten die inmiddels in de grote rivieren in Nederland zijn aangetroffen zijn de graskarper (*Ctenopharyngodon idella*), roofblei (*Aspius aspius*), Amerikaanse hondsvij (Umbra pygmaea), blauwband (*Pseudorasbora parva*), marmergrondel (*Proterorhinus marmoratus*), zwartbekgrondel (*Neogobius melanostomus*) en de Donaubrasem (*Abramis sapra*) (Wiegerinck et al. 2006). De roofblei heeft inmiddels een vaste plaats in de visfauna in Nederland (Wiegerinck et al. 2006). Echter, de dichtheden van de exotische vissoorten zijn relatief laag en het is niet de verwachting dat deze een bedreiging vormen voor de inheemse vissoorten (Reeze et al. 2005, Wiegerinck et al. 2006) ondanks de wellicht gunstigere levensomstandigheden (onder andere watertemperatuur).

3.2 Vissenmaatlat grote rivieren

De KRW geeft aan voor de beoordeling van het biologische kwaliteitselement vissen de deelmaatlaten soortensamenstelling, abundantie en levensopbouw te gebruiken. In Nederland zijn de deelmaatlaten voor soortensamenstelling en abundantie uitgewerkt (Jaarsma et al. 2007). De deelmaatlat leeftijdsopbouw is (voorlopig) komen te vervallen.

Onderstaand is de vissenmaatlat voor grote rivieren per deelmaatlat besproken. De maatlatgrenzen voor de deelmaatlaten soortensamenstelling en abundantie zijn per parameter weergegeven in bijlage 5.

3.2.1 Soortensamenstelling

De huidige inzichten geven aan dat beoordeling voor de soortensamenstelling van de visfauna het beste plaats kan vinden door gebruik te maken van een IBI (Index voor Biotische Integriteit). De IBI is een instrument dat de reactie van de visfauna op diverse verstoringen bepaalt door te vergelijken met de visfauna van een onverstoorde situatie. Het uitgangspunt bij de keuze van indicatoren voor de deelmaatlat soortensamenstelling is de gevoeligheid van de verschillende ecologische gilden (groepen van soorten met overeenkomende voorkeur voor abiotische en biotische factoren) voor de mate waarin het ecosysteem onder invloed staat van menselijke ingrepen. De verschillende soorten vertegenwoordigd in de gilden maken gebruik van specifieke habitats binnen een riviersysteem en zijn daarom ook gevoelig voor specifieke verstoringen van het systeem. Voor de deelmaatlat soortensamenstelling worden bij de grote riviertypen (R7, R8, R16) de volgende parameters gebruikt:

- aantal inheemse diadrome soorten (indicatie voor optrekbaarheid);
- aantal inheemse rheofiele soorten (indicatie voor stroomsnelheid);
- aantal inheemse limnofiele soorten (indicatie aanwezigheid vegetatie).

De deelmaatlat soortensamenstelling wordt bepaald door het aantal rheofiele, diadrome en limnofiele soorten te tellen dat aanwezig is in het waterlichaam. De soorten moeten op de bij het betreffende watertype behorende soortenlijst van de deelmaatlat staan. De indeling van de soorten in de onderscheiden gilden of groepen voor elk van de deelmaatlaten en de vermelding welke soorten daarin kenmerkend zijn voor een watertype staat weergegeven in bijlage 6. Bij het aantal aangetroffen rheofiele, diadrome en limnofiele soorten horen deelmaatlatcores. De scores zijn uitgedrukt als een getal tussen 0 en 1. Voor de deelmaatlatcores voor de grote rivieren zie bijlage 5. Een voorbeeld: bij vijftien rheofiele vissoorten in een waterlichaam van het type R7 leidt dit tot een score van 0,7; vijftien rheofiele vissoorten in een waterlichaam type R16 levert daarentegen slechts een score op van 0,3. Zo zijn er ook scores voor het aantal limnofiele en diadrome vissoorten. Om de deelmaatlatcore voor soortensamenstelling te berekenen worden de gevonden waarden (drie scores tussen de 0 en 1) voor de rheofiele, limnofiele en diadrome bij elkaar opgeteld en gedeeld door 3. Dit levert een waarde op tussen 0 en 1.

3.2.2 Abundantie

Voor de deelmaatlat abundantie worden bij de grote riviertypen de volgende parameters gebruikt:

- relatieve abundantie inheemse rheofiele soorten;
- relatieve abundantie inheemse limnofiele soorten.

Voor de deelmaatlat abundantie wordt de relatieve dichtheid van de rheofiele vissoorten en van de limnofiele vissoorten bepaald. De toedeling van soorten aan de rheofiele of limnofiele gilden staat in bijlage 6. Hier wordt het aandeel van alle soorten die tot de groep horen vergeleken met het totaal aantal gevangen vissen van alle soorten (ook soorten die niet op de maatlat staan). Voor elk watertype is een tabel met klassengrenzen opgesteld waaruit de score blijkt bij het gevonden aandeel van deze soorten (zie bijlage 5). Binnen een klasse verloopt de score lineair en waarden voorbij de buitengrens van de zeer goede toestand krijgen een score 1. De indeling van de soorten is dezelfde als bij de deelmaatlat soortensamenstelling (rheofiel en limnofiel; diadroom is geen onderdeel voor abundantie). De klassengrenzen zijn zoveel mogelijk gebaseerd op ecologisch relevante grenzen (overgang visgemeenschappen). Zie voor een toelichting de achtergronddocumenten bij de maatlaten (Klinge et al. 2004, Jaarsma et al. 2007).

Een voorbeeld: een relatieve dichtheid van rheofiele vissoorten van 25% in een waterlichaam type R8 resulteert in een score van 0,6. Om de deelmaatlatscore voor abundantie te berekenen worden de gevonden waarden (twee scores tussen de 0 en 1) voor de abundantie van rheofiele en limnofiele soorten bij elkaar opgeteld en gedeeld door 2. Dit levert een waarde op tussen 0 en 1.

3.2.3 Leeftijdsopbouw

Voor de grote riviertypen (R7, R8 en R16) werd in de eerste versie van de conceptmaatlaten de parameter relatieve abundantie van karakteristieke 0+ rheofiele vis voor leeftijdsopbouw gebruikt. Door methodische onduidelijkheden en vooralsnog onvoldoende mogelijkheden om tot internationale harmonisatie te komen wordt deze deelmaatlat vooralsnog niet toegepast. Voor nadere informatie wordt verwezen naar het achtergronddocument (Klinge et al. 2004, Jaarsma et al. 2007).

3.2.4 Eindoordeel vissenmaatlat

Voor de berekening van de ecologische toestand voor het biologische kwaliteitselement vissen zijn de scores van de twee deelmaatlaten nodig. Aan de deelmaatlaten soortensamenstelling en abundantie is een zelfde gewicht toegekend, dus worden de scores voor de deelmaatlaten bij elkaar opgeteld en gedeeld door 2, om tot de score voor de vismaatlat te komen (uitgedrukt als EKR, ecologische kwaliteitsratio, een getal tussen de 0 en 1).

In formulevorm:

$$EKR = [(soortscore\ diadroom + rheofiel + limnofiel) / 3 + (abund.-score\ rheofiel + limnofiel) / 2] / 2$$

De monitoring van de visstand dient te worden uitgevoerd conform het handboek visstandbemonstering en -beoordeling (Klinge et al. 2003). De gepresenteerde beoordelingsmethode is namelijk afgestemd op de bemonsteringsinspanning die het handboek hanteert. De gestandaardiseerde bemonstering volgens het handboek is niet uitputtend. Deze methode is daarom adequaat voor een goede kwantitatieve bemonstering van meer algemene, goed te bemonsteren soorten. Met de geringere trefkans van zeldzame en/of moeilijker te bemonsteren soorten is rekening gehouden bij de deelmaatlat voor de soortensamenstelling door deze te baseren op de vangkans per soort bij gestandaardiseerde bemonstering. Voor de KRW moeten waterlichamen, zoals beken en riviertjes als geheel worden beoordeeld. Dit betekent dat de maatlat dient te worden toegepast op een bestandschatting van de visstand in het hele waterlichaam. In het geval van stromende wateren kan een waterlichaam echter uit

verschillende R-typen bestaan (bovenloop -> middenloop/benedenloop -> klein riviertje). Bij het toepassen van maatlaten moet daarom onderscheid gemaakt worden in de toegekende R-typen. Dit betekent dat als een waterlichaam uit delen van verschillende R-typen bestaat, voor elk deel een aparte bestandschatting moet worden gemaakt. Op elke bestandschatting wordt vervolgens de maatlat voor het betreffende R-type toegepast (Klinge et al. 2004, Jaarsma et al. 2007). Met internationale harmonisatie (intercalibratie) is een start gemaakt maar de resultaten daarvan worden niet voor 2009 verwacht.

3.2.5 Validatie maatlat

De ecologische toestand van de bestudeerde wateren uit het riviertype R7 (Amer, Gelderse IJssel, Maas, Rijn en Waal), R8 (Haringvliet, Hollands Diep, Nederrijn/Lek, Nieuwe Maas/Nieuwe Waterweg, Nieuwe Merwede en Oude Maas) en R16 (Grensmaas) werden als 'matig' beoordeeld (Klinge et al. 2004) met de maatlat voor natuurlijke wateren. De meeste locaties in de Nederlandse rivieren scoren 'ontoereikend' of 'slecht' ten aanzien van de deelmaatlaten die zijn gebaseerd op abundantie. De pressoren die op de rivieren inwerken hebben een dusdanige impact op de beschikbaarheid van rivierhabitats dat het aandeel van karakteristieke riviersoorten in de visgemeenschap zeer laag is ten opzichte van de referentiesituatie. De deelmaatlaten voor soortensamenstelling scoren beduidend beter, soms tot zeer goed. Blijkbaar bieden de Nederlandse rivieren nog voldoende geschikte omstandigheden om het voorkomen van soorten te garanderen. Dit resultaat komt overeen met de sterke mate van menselijke beïnvloeding in de Nederlandse rivieren.

Doordat er geen rivieren zijn met een geringe mate van menselijke beïnvloeding, is niet duidelijk wat precies de waarde is van deze maatlat bij het beoordelen van wateren met een hogere ecologische kwaliteit. Bij de toepassingen moet bedacht worden dat de beoordeling nu heeft plaatsgevonden met een maatlat voor natuurlijke wateren. Wanneer de rivieren een aanwijzing krijgen als sterk veranderd of kunstmatig, mogen de deelmaatlaten worden aangepast aan de onomkeerbare hydromorfologische veranderingen. De uitkomsten zullen dan positiever uitvallen. De variatie in deelmaatlatcores tussen de riviertrajecten binnen een riviertype is voor veel deelmaatlaten groot. Het is aan te bevelen om een nadere analyse uit te voeren naar de variatie in aanwezigheid/dichtheid van soorten in deelmaatlaten. Bij deze analyse moet duidelijk worden in hoeverre deze variatie veroorzaakt wordt door factoren als locatie, riviertraject, riviertype, periode, jaar en vangtuig en in hoeverre deze variatie veroorzaakt wordt door milieukarakteristieken/pressoren. Op basis van een dergelijke analyse kunnen de deelmaatlaten verbeterd worden door bijvoorbeeld alleen bepaalde soorten binnen een gilde mee te nemen, aanpassing van de klassengrenzen van de deelmaatlaten en door het toepassen van de vangtuiggegevens die het best bij de deelmaatlat passen.

Langs de gradiënt van afnemende connectiviteit van de hoofdstroom tot aan de geïsoleerde uiterwaardplassen is er een duidelijke gradiënt in de aanwezigheid van vissoorten (Klinge et al. 2003). In het huidige monitoringsprogramma wordt alleen de hoofdstroom bemonsterd. De rol van uiterwaardwateren voor veel vissoorten is echter groot. Deelmaatlaten voor limnofiele soorten en leeftijdsopbouw (0+ levenstadia) worden beter weerspiegeld in uiterwaardwateren (type M5). Daar veel maatregelen in het kader van ecologisch rivierherstel gericht zijn op de uiterwaarden en in de uiterwaarden ook de meeste kansen liggen voor herstel van de visgemeenschap is het opnemen van uiterwaardwateren in de toekomstige monitoring het overwegen waard.

3.3 Toepassing maatlat

3.3.1 Bevindingen uit literatuuronderzoek

Maximumtemperatuur

Er is een aantal vissoorten van de maatlat R16 dat bij hogere watertemperaturen dan de voorgestelde norm van 21,5 °C zou verdwijnen. Bij temperaturen onder de 21,5 °C is er geen gevaar voor het mogelijk verdwijnen van vissoorten als gevolg van een te hoge temperatuur. De kwabaal is erg gevoelig voor hoge temperaturen. Ook de elrits, gestippelde alver en biermpje zijn meer gebaat bij koeler water en zullen bij temperaturen tussen de 25 en 28 °C naar verwachting in problemen komen volgens een aantal van de gebruikte reviews (Verdonschot et al. 2007, Van Emmerik en De Nie 2006, Küttel et al. 2002).

Wat betreft de langzaam stromende riviertypen (R7, R8) is wederom de kwabaal de meest temperatuurgevoelige soort. De driedoornige stekelbaars, spiering en de forel hebben een bovengrens tot 27 °C.

Paaitemperatuur en paaiperiode

Wat betreft de paaiperiode is de bovengrens van de paaitemperatuur van belang. In water boven deze temperatuur wordt er niet of zeer beperkt gepaaid. Als in de paaiperiode de watertemperatuur te laag is zal de paaiperiode worden uitgesteld totdat het water is opgewarmd. In bijlage 4a en 4b staan per maand aangegeven hoe vaak een bepaalde maximumtemperatuur voorkomt. Hierbij is aangenomen dat de soorten de hele paaiperiode nodig hebben om succesvol te kunnen paaieren (worst-case). De informatie is gebaseerd op de gegevens van bijlage 3, aangevuld met waarden voor de paaitemperatuur van zeeforel, zeepril en steur. Soorten waarvan alleen een minimumtemperatuur bekend was, zoals de elft en rivierpril, zijn weggelaten. Eveneens zijn de soorten die niet op de maatlat voor de grote rivieren staan (bijvoorbeeld snoek en baars) niet opgenomen. Deze soorten worden namelijk niet meegenomen voor het bepalen van de GET en/of het afleiden en bereiken van het MEP/GEP. Overigens vallen de ranges van paaitemperaturen voor deze soorten niet buiten de ranges van de soorten die wel op de maatlat staan. In bijlage 4a staan de gegevens voor de soorten van de typen R7 en R8. In bijlage 4b staan de gegevens voor de soorten van het type R16.

Effect op de maatlat

Soorten die het risico lopen te verdwijnen uit de grote rivieren in Nederland als gevolg van te hoge watertemperaturen in de paaiperiode of de zomer zijn de diadrome en rheofiele soorten. Limnofiele soorten tolereren hogere temperaturen en hebben een hogere bovengrens qua temperatuur wat betreft de paaiperiode.

Het effect op de KRW-maatlat van het verdwijnen soorten als kwabaal, forel, spiering en stekelbaars wordt gedempt door de werking van de deelmaatlaten en het eindoordeel.

Diadrome soorten maken geen deel uit van de deelmaatlat abundantie. Het verdwijnen van rheofiele soorten zal wel effect hebben op de deelmaatlat abundantie, maar dit numerieke effect zal uiteindelijk maar voor een kwart doorwerken in het eindoordeel omdat de scores voor rheofiele abundantie worden gemiddeld met de score van de abundantie van limnofiele soorten, en deze gezamenlijke abundantie score weer wordt gemiddeld met de score voor soortensamenstelling.

De meest talrijke soorten in de grote rivieren zijn blankvoorn, brasem, pos, baars en snoekbaars (Wiegerinck et al. 2006). Hier geldt dat het eventueel ontbreken van kwabaal of forel als gevolg van temperatuurverhoging door beperkt voorkomen weinig effect zal hebben op de maatlatscore. Het

ontbreken van spiering en in mindere mate stekelbaars zal van meer invloed zijn omdat deze soorten op basis van gevangen aantallen een rangnummer van 11 en 20 hebben gekregen (rangnummers lopen van 1-35), wat betekent dat ze in redelijke aantallen zijn gevangen in de bemonstering gedurende het winterhalfjaar 2005-2006 (Wiegerinck et al. 2006), maar dit effect zal deels worden weggemiddeld in de uiteindelijke berekening van de maatlatscore zoals hiervoor aangegeven.

Net als bij de deelmaatlat abundantie wordt ook bij de deelmaatlat soortensamenstelling het effect van verdwijnende rheofiele en/of diadrome soorten gedempt doordat de scores voor diadrome en rheofiele soorten worden gemiddeld met de score voor limnofiele soorten. Het effect zal wel groter zijn op de deelmaatlat soortensamenstelling dan voor abundantie. Voor abundantie wordt gewerkt met een lineaire score voor abundantie die tussen klassengrenzen vallen. Voor de deelmaatlat soortensamenstelling wordt bij een aantal soorten dat tussen de klassengrenzen valt de score genomen behorende bij de onderste klassengrens. In het onderzoek naar de visstand in het winterhalfjaar 2005-2006 (Wiegerinck et al. 2006) zijn in het Hollands Diep, Nieuwe Merwede en Grensmaas respectievelijk 23, 20 en 19 soorten gevonden, waaronder een aantal soorten die niet op de maatlat staan. Het ontbreken van aan klein aantal soorten door een hoge watertemperatuur (bijvoorbeeld verdwijnen van de kwabaal of spiering) kan dan net het verschil maken tussen een goede ecologische toestand of een matige ecologische toestand.

3.3.2 Bevindingen na rekenkundige analyse maatlat

Met behulp van een rekenkundige analyse is gekeken naar de maximale temperatuur van vóórkomen (dat wil zeggen de temperatuur waarboven de soort überhaupt niet meer voorkomt) en de maximale temperatuur van voortplanten (waarbij de soort dus overleeft maar niet meer kan voortplanten) waarbij nog net de goede ecologische toestand gehaald wordt voor het kwaliteitselement vis.

Maximale temperatuur voor het voorkomen van de vissen uit de maatlat

Doel was te bepalen bij welke temperatuur de EKR voor de watertypen R7, R8 en R16 onder de 0,6 daalt (de grens tussen goede en matige ecologische toestand). Daartoe moesten diverse uitgangspunten worden gekozen en aannames worden gedaan. Als basis voor de berekeningen zijn literatuurgegevens gebruikt, die samengevat zijn in bijlage 3.

Uit de afzonderlijke berekeningen voor alle drie de watertypen bleek dat bij een temperatuur van boven de 26 °C de EKR voor het kwaliteitselement vissen onder de 0,6 daalt. RIVM adviseert daarom voor vissen een temperatuur van maximaal 26 °C aan te houden, voor zowel R7, R8 als R16 (zie Figuur 9).

Bij de berekeningen zijn een aantal realistische (gemiddelde) en een aantal bestcase- (minst strenge) aannames gedaan. Ook zijn voor een aantal aannames verschillende scenario's berekend. De resultaten van deze verschillende scenario's laten zien dat de uitkomsten aan de bovenkant van de variatie zullen zitten: bij beschikbaarheid van meer gegevens zal de norm dus wel naar beneden (strenger) kunnen wijzigen, maar is het onwaarschijnlijk dat deze naar boven wijzigt (minder streng).

Uitgangspunten en aannames

Maatlat

Uitgangspunt voor de berekeningen is de huidige vismaatlat voor de verschillende watertypen. Er wordt dus van uitgegaan dat een score van $\geq 0,6$ op deze maatlat een goede ecologische toestand (GET) of hoger weerspiegelt. Er wordt ook van uitgegaan dat temperatuur de enige factor is waardoor vissen wel of niet voor kunnen komen.

Gebruikte formule voor de maatlatscore (zie voor uitleg paragraaf 3.2):

$$\text{EKR} = [(\text{soortscore diadroom} + \text{rheofiel} + \text{limnofiel})/3 + (\text{abund.score rheofiel} + \text{limnofiel})/2]/2)$$

Voor de berekening van EKR is steeds gekeken welke soorten uit welke groepen verdwijnen bij het stijgen van de temperatuur in stapjes van 1 °C en hoe dat doorwerkt in de EKR.

Abundantie

Voor abundantie is bij berekening van de EKR aangenomen dat als de soort voorkomt (en dus niet temperatuurgelimiteerd is), ook de score voor abundantie van deze soort in dezelfde klasse scoort. Hiervoor is de ondergrens van de betreffende klasse genomen. Deze aanname is best-case, aangezien het niet altijd zo zal zijn dat een soort ook in de goede hoeveelheid voorkomt. Het is zelfs zo dat in de huidige situatie alle grote rivieren slecht scoren op abundantie, terwijl er voor soortensamenstelling wel redelijk goed gescoord wordt (zie paragraaf 3.2.5).

Er wordt daarom steeds de ondergrens van de beste klasse genomen voor abundantie (zie getallen uit maatlat, herhaald in bijlage 5).

Grens maximale temperatuur

Voor de maximale temperatuur van voorkomen waren bij sommige soorten meerdere literatuurgegevens beschikbaar. Deze gegevens waren allemaal afkomstig uit review-artikelen. Uit de review-artikelen bleek dat er diverse *soorten* gegevens waren gebruikt (veldstudies en labstudies bij verschillende acclimatisatietemperaturen en blootstellingsduur, zie paragraaf 3.1.2). Helaas ontbrak de tijd om alle oorspronkelijke literatuur te bestuderen. Omdat niet alle gegevens op voorhand even relevant zijn voor de natuurlijke situatie, is hier voor de zekerheid de laagste waarde gekozen van de gerapporteerde maximale temperatuur van voorkomen (worst-case). Dit is vanwege de overige onzekerheden waarbij een gunstige aanname is gedaan, zeker een realistische keuze.

Er is verder aangenomen dat een in de literatuur gevonden maximale paaitemperatuur voor een vissoort betekent dat deze soort *tot en met* deze temperatuur in het geheel niet geremd wordt bij het paaien waardoor de soort geen enkel effect ondervindt van deze temperatuur (ook niet in abundantie). Als de temperatuur hoger is dan deze maximale temperatuur van een vissoort kan hij niet overleven en zal uit de score verdwijnen. Dit is een bestcase-aanname omdat er bij het naderen van de maximale temperatuur wel al remming van bepaalde processen zal optreden, waardoor eventueel het voorkomen, maar zeker de abundantie van de soort beïnvloed zal worden.

Onbekende maximale temperatuur

Voor sommige soorten waren geen gegevens beschikbaar voor de maximale temperatuur (Tmax). Daarvoor zijn drie scenario's doorgerekend: A: Tmax = oneindig (niet limiterend), B: Tmax = gemiddelde van beschikbare data andere maatlatvissen (27,5 °C), C: Tmax = minimum andere maatlatvissen (20 °C).

Er is vooralsnog geen reden om aan te nemen dat de soorten waar geen gegevens voor zijn specifiek de temperatuurgevoelige of -ongevoelige soorten zullen zijn. De literatuurgegevens zijn afkomstig uit verschillende bronnen en van verschillende locaties. Wel is het zo dat voor de diadrome soorten relatief veel gegevens missen, waardoor specifieke eisen van deze groep (bijvoorbeeld voor trek) onderbelicht zullen blijven. De verwachting is echter dat deze soorten een vergelijkbaar of lager temperatuurmaximum zullen hebben dan gemiddeld (best-case dus). Bovendien zijn de gegevens meestal gebaseerd op meer dan alleen gevonden temperatuur bij voorkomen van soorten, zeker in het geval van de Tmax. Deze is meestal gebaseerd op autecologische gegevens die zijn bepaald in laboratoriumexperimenten.

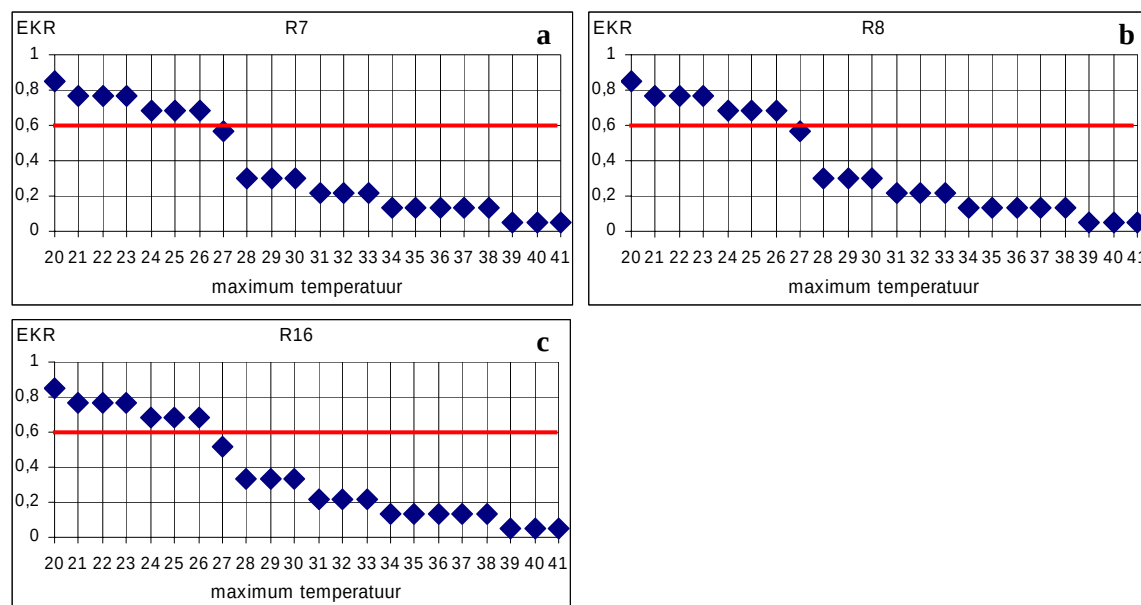
In Tabel 1 wordt aangegeven wat de gemiddelde maximale temperatuur is van de soorten waarvoor gegevens beschikbaar waren (per watertype) en welk percentage van de soorten hiermee gedekt is. Aangezien een groot percentage soorten gedekt is en er geen reden is om aan te nemen dat de beschikbare gegevens niet representatief zijn, kennen wij veel betekenis toe aan de uitkomsten van de berekeningen.

Tabel 1. Gemiddelde maximale temperatuur voor de soorten in de maatlat waarvoor maximale temperatuurgegevens beschikbaar waren.

Watertype	Gemiddelde $T_{\max}$ (°C) ($\pm$ stdev)	% soorten waarvoor gegevens beschikbaar zijn*
R7	27,5 ($\pm$ 4,4) n=17	65
R8	27,5 ($\pm$ 4,4) n=17	61
R16	27,5 ($\pm$ 4,1) n=20	71

*Voor diadrome soorten is er gemiddeld maar 40% van de gegevens bekend.

In Figuur 9 a, b en c is de berekende EKR op basis van bovenstaande uitgangspunten uitgezet tegen de temperatuur voor de drie verschillende watertypen.



Figuur 9. Berekende EKR (op basis van uitgangspunten zoals genoemd in de tekst) voor de watertypen R7 (a), R8 (b) en R16 (c) voor grote rivieren uitgezet tegen de maximale temperatuur van voorkomen. De rode lijn geeft de ondergrens van de goede ecologische toestand weer (0,6).

Uit Figuur 9 blijkt dat bij alle drie de riviertypen 26 °C de hoogste temperatuur is waarbij de EKR groter of gelijk aan 0,6 is ofwel een goede ecologische toestand haalbaar is.

Maximale paaitemperatuur en minimale paaiperiode voor de maatlat vissen

Behalve voorkomen is ook gekeken naar maximumtemperatuur waarbij een soort kan paaen. Aangenomen is dat als een soort die in principe hier moet kunnen paaen, dat niet kan omdat de temperatuur in de paaiperiode te hoog is, de soort op den duur niet meer voorkomt en de EKR negatief

beïnvloedt. Doel was per watertype per maand te bepalen bij welke temperatuur de EKR beneden de waarde van 0,6 uitkomt.

Als basis voor de berekeningen zijn literatuurgegevens over geschikte paaiperiode en maximale paaitemperatuur voor de soorten uit de maatlaten voor R7, R8 en R16 gebruikt, die samengevat zijn in bijlage 3.

Voor de maanden waarbij de berekende EKR beneden de 0,6 komt, wordt een strengere maximale temperatuur geadviseerd om te garanderen dat de soorten uit de maatlat zich ook kunnen voortplanten (zie Tabel 2, in bijlage 7 zijn de resultaten voor alle maanden in detail weergegeven). Bij de berekeningen zijn een aantal realistische (gemiddelde) en een aantal bestcase- (minst strenge) aannames gedaan. Ook zijn voor een aantal aannames verschillende scenario's berekend. De resultaten van deze verschillende scenario's laten zien dat de uitkomsten aan de bovenkant van de variatie zullen zitten, dat wil zeggen dat bij beschikbaarheid van meer gegevens de norm wel naar beneden (strenger) zal kunnen wijzigen, maar het is niet waarschijnlijk dat deze naar boven zal wijzigen (minder streng).

Tabel 2. Samenvatting maximale temperatuur (°C) voor de paaiperiode.

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sept	okt	nov	dec
R7				20	20							
R8				20	20							
R16				20	20	29*						

**De 29 °C voor R16 in juni ligt boven de maximale temperatuur voor voorkomen (26 °C) en zal daarom niet worden overgenomen voor een specifieke temperatuur voor juni voor R16.*

Uitgangspunten en aannames

Maatlat

Uitgangspunt voor de berekeningen is de huidige vismaatlat voor de verschillende watertypen. Er wordt dus van uitgegaan dat een score van $\geq 0,6$ op deze maatlat een goede ecologische toestand (GET) of hoger weerspiegelt.

Er wordt ook van uitgegaan dat temperatuur de enige factor is waardoor vissen wel of niet kunnen paaien en als ze niet kunnen paaien is de aanname dat ze ook niet voor kunnen komen.

Gebruikte formule voor de maatlatscore (zie voor uitleg paragraaf 3.2):

$$EKR = [(soortscore \text{ diadroom} + \text{rheofiel} + \text{limnofiel})/3 + (\text{abund.score rheofiel} + \text{limnofiel})/2]/2)$$

Voor de berekening van EKR is per maand steeds gekeken welke soorten uit welke groepen verdwijnen bij het stijgen van de temperatuur in stapjes van 1 °C en hoe dat doorwerkt in de EKR.

Paaiende soorten

Alleen de soorten die ook daadwerkelijk kunnen paaien in de natuurlijke situatie van de betreffende watertypen zijn meegenomen in de berekeningen, soorten die ook in een natuurlijke situatie nooit in de betreffende watertypen zullen paaien zijn weggelaten (zie bijlage 3). Dit is een realistische aanname.

Abundantie

Voor abundantie is bij berekening van de EKR aangenomen dat als de soort voorkomt (en dus niet temperatuurgelimiteerd is), ook de score voor abundantie van deze soort in dezelfde klasse scoort. Hiervoor is de ondergrens van de betreffende klasse genomen. Deze aanname is best-case, aangezien het niet altijd zo zal zijn dat een soort ook in de goede hoeveelheid voorkomt. Het is zelfs zo dat in de

huidige situatie alle grote rivieren slecht scoren op abundantie, terwijl er voor soortensamenstelling wel redelijk goed gescoord wordt (zie paragraaf 3.2.5).

Er wordt daarom steeds de ondergrens van de beste klasse genomen voor abundantie (zie getallen uit maatlat, herhaald in bijlage 5).

Maximale paaitemperatuur ($T_{max\ paai}$)

Voor de maximale paaitemperatuur is de hoogste temperatuur genomen uit de range in bijlage 3 (dit is best-case). Er is aangenomen dat een in de literatuur gevonden maximale paaitemperatuur voor een vissoort betekent dat deze soort *tot en met* deze temperatuur niet geremd wordt bij het paaïen waardoor de soort geen enkel effect ondervindt van deze temperatuur (ook niet in abundantie). Als de temperatuur hoger is dan deze maximumpaaitemperatuur van een vissoort kan hij niet paaïen en zal hij uit de score verdwijnen. Dit is een bestcase-aanname omdat er bij het naderen van de maximale temperatuur wel al remming zal optreden van bepaalde processen, waardoor eventueel het voorkomen, maar zeker de abundantie van de soort beïnvloed zal worden.

Minimale paaiperiode

Voor alle soorten waarvan een paaiperiode bekend is (variërend van een periode van twee tot en met zes maanden), is aangenomen dat deze soorten minimaal twee maanden nodig hebben om succesvol te kunnen paaïen en de temperatuur dat niet in de weg mag staan. Er is aangenomen dat bij een geschikte periode van meer dan twee maanden de soort in de koudste twee maanden succesvol kan paaïen als de temperatuur niet de maximale paaitemperatuur overschrijdt. De aanname van twee maanden is realistisch, de aanname om daarvoor de koudste twee te nemen is best-case (in tegenstelling tot het overzicht in bijlage 4).

Sommige soorten (onder andere kwabaal, spiering, winde en serpeling) stellen ook eisen aan de minimumtemperatuur: zij hebben een koudeperiode in de winter nodig om tot reproductie te komen. Hiermee is in deze analyse echter geen rekening gehouden, er is alleen gekeken naar de maximale paaitemperatuur.

Er zijn ook scenario's berekend voor minimaal een maand paaiperiode (er is dan geen garantie meer dat alle soorten ook echt succesvol kunnen paaïen maar dan rolt er voor alle watertypen alleen een maximum van 20 °C voor april uit) en voor de hele geschikte paaiperiode (dan rollen er ook maxima tussen 20 en 23 °C voor juni en juli uit).

Onbekende $T_{max\ paai}$ en paaiperiode

Voor soorten uit de respectievelijke maatlaten waarvoor geen gegevens beschikbaar waren voor maximale paaitemperatuur en/of paaiperiode is de gemiddelde temperatuur aangenomen van de soorten uit de betreffende maatlat waarvoor wel gegevens beschikbaar waren (zie Tabel 3).

Deze aannames zijn gemiddeld (niet worst-case of best-case). Wanneer dezelfde berekening wordt uitgevoerd met in dit geval een bestcase-aanname (vissen zonder gegevens zijn niet temperatuur gelimiteerd voor hun paaï), is de uitkomst van maximale paaitemperatuur en periode hetzelfde (20 °C in april en mei voor alle watertypen).

Tabel 3. Gemiddelde paaitemperatuur voor de soorten uit de maatlaten waar paaigegevens voor waren.

Watertype	Gemiddelde paaitemperatuur (°C) voor soorten in de maatlat	% soorten van demaatlat waarvoor paaigegevens beschikbaar zijn
R7	19,4 (±7,5) n=22	85
R8	19,1 (±7,5) n=23	82
R16	19,4 (±7,2) n=25	89

Maximale ophoging

Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat de in de Viswaterrichtlijn opgenomen normen voor de ophoging van de natuurlijke temperatuur (maximaal 3 °C voor ‘water voor karperachtigen’ en 1,5 °C voor ‘water voor zalmachtigen’) zou moeten worden aangepast.

3.4 Conclusies

De analyses voor de maximale temperatuur voor vis zijn gebaseerd op ongeveer 65% van de soorten uit de KRW-maatlaten voor vissen. De literatuurgegevens zijn voor het merendeel afkomstig uit landen die geografisch en klimatologisch sterk op Nederland lijken. Voor alle drie de geanalyseerde watertypen ligt de maximale temperatuur voor het kwaliteitselement vis op 26 °C. Wanneer er aannames gedaan moesten worden voor de analyses zijn die vrijwel steeds gedaan met een realistische of best-case insteek. Dit betekent dat het onwaarschijnlijk is dat de temperatuurnorm voor vis bij het beschikbaar komen van meer kennis hoger uit zou komen. Lager is wel mogelijk wanneer onze bestcase-aannames niet realistisch blijken.

Voor de paaiperiode is een analyse gemaakt van de maatlatsoorten die ook daadwerkelijk kunnen paaïen in de betreffende watertypen met behulp van specifieke gegevens over temperatuurgevoeligheid in deze paaiperiode. Er is per watertype per maand een analyse gemaakt van de ecologische kwaliteitsratio (EKR) bij verschillende temperaturen. In de maanden april en mei zijn de effecten van temperatuur op de maatlat groot genoeg om de EKR te beïnvloeden. Daarom wordt geadviseerd voor het kwaliteitselement vis voor ten minste de maanden april en mei een maximale temperatuur van 20 °C te hanteren voor de drie watertypen.

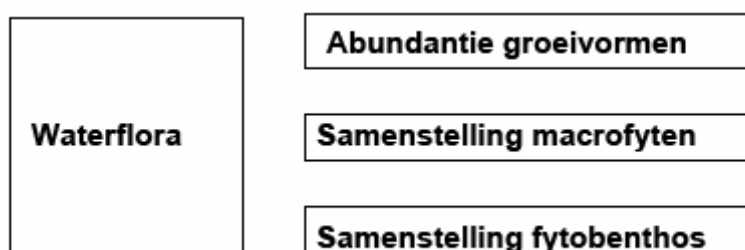
De literatuurstudie heeft geen argumenten opgeleverd om wijzigingen aan te brengen in de norm voor de maximale ophoging van de natuurlijke temperatuur van 3 °C voor ‘water voor karperachtigen’ en 1,5 °C voor ‘water voor zalmachtigen’.

4 Waterflora

4.1 Maatlat

Voor de invulling van het biologische kwaliteitselement waterflora worden voor zoete wateren de onderdelen fytoplankton, macrofyten en fytobenthos gebruikt. Fytoplankton is geen onderdeel van de beoordeling voor rivieren. Macrofyten en fytobenthos vormen het biologische kwaliteitselement overige waterflora voor de grote rivieren (typen R7, R8 en R16).

De beoordeling van de waterflora is voor zoet water opgesplitst in drie deelmaatlaten, twee voor macrofyten en een voor fytobenthos (Figuur 10). De uiteindelijke score op de maatlat voor waterflora voor grote rivieren zal bepaald worden door het gemiddelde van de scores van de drie hierna beschreven deelmaatlaten.



Figuur 10. Overzicht van de deelmaatlaten voor het kwaliteitselement waterflora (Van den Berg 2004).

Abundantie groeivormen macrofyten

In de eerste deelmaatlat wordt het relatieve voorkomen van verschillende groeivormen van macrofyten gebruikt als indicator voor het kenmerk abundantie bij de beschrijving van de toestand van een waterlichaam.

Er worden vijf hoofdgroepen van groeivormen binnen de waterplanten onderscheiden: *submerse* vegetatie, drijfbladplanten, *emerse* vegetatie, draadwier/flag en kroosvegetatie. Bovendien is de categorie oeverplanten toegevoegd als aanvullende kwaliteitsparameter. Voor de watertypen van de grote rivieren worden alleen de groeivormen submerse vegetatie, drijfbladplanten, emerse vegetatie (allen R7, R8, R16), oevervegetatie (R8) en draadwier/flag (R16) gebruikt in de maatlat (Van der Molen en Pot 2007).

Samenstelling macrofyten

De tweede deelmaatlat bestaat uit een lijst met kenmerkende soorten per watertype. De soorten van deze lijst worden geacht met een zekere waarschijnlijkheid in een waterlichaam van dit type voor te komen en op de schaal van de gangbare bemonstering te kunnen worden gevonden. Iedere soort krijgt een score gebaseerd op de mate van kenmerkendheid, de mate waarop de soorten reageren op de belangrijkste pressoren en aanwijzing als doelsoort en/of Rodelijstsoort. De score is verder afhankelijk van de abundantie van de soort.

De EKR van de deelmaatlat soortensamenstelling wordt berekend uit de verhouding van de score van de aangetroffen soorten ten opzichte van de referentiescore. Deze referentiescore is berekend op basis van de kansen dat de soorten kunnen worden aangetroffen in de referentietoestand en bij een standaard wijze van monitoring (Van der Molen en Pot 2007).

Samenstelling fytobenthos

De derde deelmaatlat omvat de beoordeling van de soortensamenstelling van het fytobenthos. Een belangrijk onderdeel van het fytobenthos zijn de kiezelwieren. Deze groep wordt gebruikt in de derde maatlat. Omdat het aantal soorten waterplanten in stromende wateren vaak gering is, kan het veel soortenrijkere fytobenthos belangrijke aanvullende informatie leveren over de kwaliteit van het water. De oorspronkelijke maatlat, gebaseerd op de aanwezigheid van positieve en negatieve indicatorsoorten (Van den Berg 2004), bleek na intercalibratie niet streng genoeg. Er is recent een nieuwe maatlat voor stromende wateren ontwikkeld (Van Dam 2007), die gebaseerd is op de Indice de Polluosensitivité Spécifique (IPS). Hierbij wordt gebruikgemaakt van de ecologische kennis over alle aangetroffen soorten. Aan elke soort zijn twee getallen toegekend: een gevoeligheidsgetal, met waarden tussen 1 en 20, en een getal voor de indicatiewaarde, met waarden 1, 2 of 3. Soorten met een indicatiewaarde 3 hebben een nauwe ecologische amplitude en tellen daarom zwaarder dan soorten met een lagere indicatiewaarde. De hoeveelheid, de gevoeligheid en de indicatiewaarde van elke soort en het aantal gevonden soorten worden in de berekening van IPS meegenomen.

4.2 Effect van temperatuur op macrofyten

Temperatuur is een belangrijke factor voor de ontwikkeling en reproductie van hogere planten. De morfologie, onder andere de verhouding tussen de bovengrondse en ondergrondse delen en grootte en aantal drijvende bladeren, wordt sterk beïnvloed door temperatuur. Temperatuur is ook een van de factoren die effect heeft op de reproductie, waaronder het tijdstip van bloei (voorjaar, zomer) en het uitkomen van zaden (voorjaar). Ook fotosynthese wordt door temperatuur beïnvloed (zie review in Verdonschot et al. 2007).

Ook voor de verspreiding en samenstelling van macrofytengemeenschappen kan een stijging van de temperatuur grote gevolgen hebben (zie review in Verdonschot et al. 2007).

Er is een direct verband tussen thermische verontreiniging en het voorkomen van ondergedoken waterplanten gevonden (Kerkum et al. 2004). Fonteinkruiden (*Potamogeton* sp.) gaan sterk achteruit bij temperaturen hoger dan 25 °C (Svensson en Wigren-Svensson 1992). De ontkieming van fonteinkruiden wordt sterk geremd wanneer het water in het vroege voorjaar warmer is dan 5-7 °C. Een hogere watertemperatuur in het voorjaar kan tot gevolg hebben dat plantensoorten met een temperatuurafhankelijk ruststadium, bijvoorbeeld in de vorm van zaden of wortelstokken, eerder beginnen met groeien. Wortelstokken van bijvoorbeeld schedefonteinkruid (*Potamogeton pectinatus*) lopen uit vanaf 8 °C (Van den Berg et al. 1998) en hebben daarom bij temperatuurstijging een competitief voordeel ten opzichte van macrofyten die bijvoorbeeld door daglengte gereguleerd worden (Brock en Van Vierssen 1992). Dit kan tot gevolg hebben dat de concurrentieverhoudingen tussen de verschillende soorten macrofyten kunnen verschuiven.

Hoewel er in de literatuur veel aanwijzingen zijn gevonden dat de morfologie van de waterplanten sterk beïnvloed wordt door de temperatuur (verschuiving groeivormen) en dat macrofyten vooral gevoelig zijn voor temperatuur in de bloei- en kiemperiode (verschuiving samenstelling), zijn deze effecten vooralsnog moeilijk kwantificeerbaar.

Het is dan ook op dit moment nog niet mogelijk een inschatting te maken in hoeverre de scores op de deelmaatlaten voor groeivormen en samenstelling beïnvloed worden door een stijging van de temperatuur van het water. Daarvoor zijn specifieke gegevens nodig van de effecten van temperatuur op de verschillende fasen van de levenscyclus van de soorten en/of groepen die deel uitmaken van deze deelmaatlaten.

4.3 Effect van temperatuur op fyto**benthos**

Fyto**benthos** zijn bentische algengemeenschappen die vastgehecht leven op het substraat op de waterbodem en in de oeverzone. De gemeenschappen bestaan vaak uit verschillende algengroepen (diatomeeën, groenalgen, cyanobacteriën) en bacteriën. Algen staan als primaire producenten aan de basis van de voedselketen, waardoor verschuivingen in de samenstelling als gevolg van thermische verontreiniging direct vertaald worden in consequenties voor de hogere trofische niveaus.

Er zijn effecten waargenomen van temperatuur op de primaire productie en groeisnelheid van bentische algen en deze effecten kunnen per soort verschillen. Hierdoor verandert de concurrentiepositie van verschillende soorten, waardoor de soortensamenstelling kan veranderen (Kerkum et al. 2004).

Verschuivingen binnen fyto**benthos**levensgemeenschappen zijn al waarneembaar bij een watertemperatuur hoger dan 20 °C (Humpesch et al. 1981, Patrick 1974, Van der Grinten et al. 2005). Deze verschuivingen leiden tot een verarming van de soortenrijkdom, bijvoorbeeld dominantie van enkele soorten diatomeeën of van de groep cyanobacteriën. Tegelijkertijd leidt een verhoogde watertemperatuur tot een toename van de totale biomassa (Brock 1975).

Hoewel de effecten van temperatuur moeilijk te scheiden zijn van andere factoren, zoals pH en nutriënten, worden seizoensvariaties in de soortensamenstelling van de bentische algengemeenschap waarschijnlijk wel gestuurd door temperatuur (DeNicola 1996). Maar het is nog onduidelijk of deze variaties ook daadwerkelijk gestuurd worden door soortspecifieke optima voor temperatuur (Anderson 2000).

Voor diatomeeëngemeenschappen zijn in een Franse studie aanwijzingen gevonden dat het aandeel exoten in de afgelopen jaren groter wordt als gevolg van de opwarming van de stromende wateren (Coste en Ector 2000).

Alle hier verzamelde informatie duidt erop dat temperatuur effecten kan hebben op de fyto**benthos**gemeenschappen in stromende wateren, maar kon met de beschikbare kennis niet verder gekwantificeerd worden. Een kwantitatieve analyse van de effecten van een toenemende temperatuur op de deelmaatlat voor fyto**benthos** kan dan ook niet gemaakt worden.

4.4 Conclusies

Voor alle drie de deelmaatlaten van het biologisch kwaliteitselement waterflora voor de grote rivieren zijn niet voldoende specifieke gegevens beschikbaar om een inschatting te maken van de effecten van temperatuur op de scores van die verschillende deelmaatlaten. Daarom is het op dit moment niet mogelijk voor het kwaliteitselement waterflora een norm af te leiden voor temperatuur die het halen van een goede ecologische toestand zal waarborgen.

5 Beschermde gebieden

5.1 Drinkwater

Inleiding

De Kaderrichtlijn Water onderscheidt beschermde gebieden waarin speciale regimes gelden. Een van die typen beschermde gebieden zijn de zogeheten drinkwaterbeschermingsgebieden. In dit hoofdstuk wordt eerst ingegaan op de oppervlaktewaterwinningen ten behoeve van de drinkwatervoorziening. Vervolgens wordt ingegaan op de bestaande Europese en Nederlandse wetgeving. Ten slotte wordt aangegeven wat de achterliggende redenen zijn voor de huidige normstelling. De hier gepresenteerde informatie is afkomstig uit Wuijts en Van Rijswijk 2007.

Veertig procent van de Nederlandse bevolking drinkt water dat is bereid uit oppervlaktewater. In Nederland zijn vijf directe innamepunten van oppervlaktewater uit de grote rivieren (waterlichamen van type R7, R8 of R16) voor de drinkwatervoorziening (zie Figuur 4 paragraaf 1.5). In deze analyse wordt alleen rekening gehouden met de innamepunten van oppervlaktewater waar directe zuivering plaatsvindt. Bij oevergrondwaterwinningen vindt in grote mate demping en afvlakking plaats en wordt de kritische temperatuurgrens daarom minder relevant geacht.

Juridische aspecten

Onderscheid wordt gemaakt naar Europese en nationale regelgeving.

Europese regelgeving

Voor drinkwater dat wordt bereid uit oppervlaktewater zijn op dit moment de richtlijnen 75/440/EEG en 98/83/EG en de KRW van kracht. Richtlijn 75/440/EEG bevat normen ten aanzien van temperatuur.

De richtlijn 75/440/EEG ziet toe op de kwaliteit van oppervlaktewateren bestemd voor drinkwaterproductie. De richtlijn bevat kwaliteitseisen in verschillende categorieën, behorend bij verschillende zuiveringsprocessen, waaronder een norm voor temperatuur (25 °C). Afhankelijk van de categorie dient door de lidstaat een verbeterplan te worden opgesteld. De nationale implementatie heeft plaatsgevonden in de Wet op de waterhuishouding (functieaanduiding drinkwater) en de Wet milieubeheer (besluit kwaliteitsdoelstellingen en metingen oppervlaktewater (BKMO)). Richtlijn 75/440/EEG vervalt eind 2007. De richtlijn gaat dan over in de KRW. De KRW stelt hierover in de preambule (51) en artikel 4 lid 9 dat het huidige niveau van bescherming niet achteruit mag gaan. Hieruit kan worden afgeleid dat de doelstellingen van 75/440/EEG ten minste moeten worden gehandhaafd, zelfs als hier geen specifieke eisen voor worden geformuleerd.

Uit jurisprudentie van het Hof van Justitie over de richtlijnen met kwaliteitseisen voor wateren met de functie zwemwater of drinkwater kan worden afgeleid dat deze kwaliteitseisen ook nu al gezien moeten worden als een *resultaatsverplichting*. De KRW verplicht in dit opzicht dus niet tot iets nieuws.

De KRW kent verder een aantal verplichtingen ten aanzien van 'voor de drinkwateronttrekking gebruikt water', waarvan een aantal hier wordt genoemd.

- Waterlichamen waar drinkwaterwinning plaatsvindt moeten worden opgenomen in het Register Beschermde Gebieden (KRW, artikel 7 lid 1). Opname van een waterlichaam in het Register is alleen een administratieve verplichting.
- Een waterlichaam heeft enige omvang en logische begrenzing (meer, zijtak, rivier) en is dus géén punt (KRW, artikel 2 lid 10). Het huidige Register Beschermde Gebieden (december 2004) zal hierop moeten worden aangepast.

De KRW stelt bovendien het volgende:

- Met het onttrokken water moet drinkwater kunnen worden gemaakt (conform 98/83/EG). De drinkwatergerelateerde doelstellingen in de KRW zijn direct gerelateerd aan bestaande richtlijnen. Er worden geen strengere normen geïntroduceerd.
- De kwaliteit van het onttrokken water mag niet achteruit gaan en moet op termijn verbeteren (KRW artikel 7 lid 2 en 3). Het punt van beoordeling van de drinkwaterdoelstellingen is het onttrekkingspunt.
- Om dit doel te bereiken moeten maatregelen worden uitgevoerd. Als een van de mogelijke maatregelen wordt het instellen van beschermingszones genoemd. In deze beschermingszones kan gebiedsgericht beleid worden gevoerd. Dit is niet verplicht op grond van de KRW. Wél verplicht is het bereiken van de doelstellingen.

De stroomgebiedsbenadering van de KRW verplicht de vergunningverlener om in de afweging rekening te houden met benedenstroomse activiteiten, ook wanneer dit buiten het eigen beheergebied valt. De nadere uitwerking van dit niet-afwentelingsprincipe zal nog moeten plaatsvinden. Een centrale vraag daarbij is hoe de stroomgebiedsbenadering zich verhoudt tot de resultaatsverplichting van individuele lidstaten.

De drinkwaterrichtlijn 98/83/EG bevat geen expliciete normen voor temperatuur, anders dan dat het drinkwater acceptabel van temperatuur moet zijn.

Nationale regelgeving

De drinkwaterrichtlijn 98/83/EG is in Nederland geïmplementeerd in de Waterleidingwet en het Waterleidingbesluit. Het Waterleidingbesluit bevat wel een norm voor de temperatuur van het koude leidingwater, namelijk dat deze niet hoger mag zijn dan 25 °C, in verband met nagroei van micro-organismen. Richtlijn 75/440/EEG is geïmplementeerd in het BKMO. Belangrijk voor de vraagstelling hier is dat de normstelling in het BKMO en het Waterleidingbesluit op onderdelen verschilt, qua stoffen en qua norm. Voor temperatuur geldt echter dezelfde norm van 25 °C.

De normen voor oppervlaktewater en grondwater zullen worden opgenomen in een op te stellen AMvB Kwaliteitseisen en Monitoring Water (implementatie KRW). Het BKMO zal hierin overgaan.

De Waterleidingwet zal naar verwachting begin 2008 overgaan in de Drinkwaterwet, het Waterleidingbesluit eind 2008 in het Drinkwaterbesluit. De wijzigingen voor de normstelling van drinkwater zullen naar verwachting beperkt zijn, voor oppervlaktewater dat bestemd is voor drinkwaterbereiding is het de bedoeling om de huidige normstelling van het Waterleidingbesluit en het BKMO in het op te stellen Drinkwaterbesluit en de AMvB Kwaliteitseisen en Monitoring Water te harmoniseren.

In de nieuwe Drinkwaterwet wordt de duurzame veiligstelling van de bronnen voor de drinkwatervoorziening aangeduid als *een dwingende reden van groot openbaar belang* (artikel 2 lid 2). Dit belang is dus leidend bij de uitoefening van bevoegdheden en toepassing van wettelijke voorschriften door bestuursorganen. Dit betekent dat:

- de drinkwatervoorziening een van de weinige redenen van uitzondering vormt met betrekking tot de toepassing van de bepalingen van de Vogel- en/of Habitatrichtlijn;
- bij een belangenafweging bijvoorbeeld met betrekking tot woningbouw of uitbreiding van het landbouwareaal, de veiligstelling van de drinkwatervoorziening zal prevaleren;
- de duurzame veiligstelling van de drinkwatervoorziening hiermee eenzelfde prioriteitstelling heeft gekregen als de bescherming tegen hoogwater.

Hoewel de doorwerking naar andere beleidsterreinen zoals waterbeheer en ruimtelijke ordening nog moet plaatsvinden is duidelijk dat dit tot een verschuiving in de belangenafweging zal leiden.

Achterliggende redenen voor de huidige normstelling

In directe zin is de temperatuur vooral een zogeheten ‘comfort’-parameter, vergelijkbaar met geur en smaak: het leidingwater moet koel en fris zijn. Indirect zijn er echter wel degelijk gezondheidsaspecten die een rol spelen. Zo is uit onderzoek gebleken dat bij temperaturen hoger dan 20-25 °C, de (na)groei van micro-organismen sterk toeneemt (zoals legionella). De Wereldgezondheidsraad adviseert daarom om temperaturen van het leidingwater niet te laten toenemen tot meer dan 25 °C (WHO 2004). Dit is ook de achtergrond om in Nederland toch een norm voor temperatuur op te nemen in het Waterleidingbesluit.

5.2 Overige beschermde gebieden

Behalve gebieden waar water wordt ingenomen voor drinkwaterbereiding, zijn ook Natura-2000-gebieden (ook bekend als Vogel- en Habitatrichtlijngebieden) van belang alsmede de Viswaterrichtlijn. De analyse van de normen in deze studie is gebaseerd op de huidige maatlaten van de biologische kwaliteitselementen voor de KRW en op inname van oppervlaktewater voor drinkwater. Dat betekent dat hierin niet expliciet de eisen van de overige beschermde gebieden zijn meegenomen. Er zal nog onderzocht moeten worden of met de voorgestelde normen in de drie watertypen ook voldaan kan worden aan de eisen van de overige beschermde gebieden.

Viswaterrichtlijn

De Europese Viswaterrichtlijn (EU 2006) onderscheidt twee typen water: water voor zalmachtigen en water voor karperachtigen. De temperatuurgrenzen in de Viswaterrichtlijn zijn respectievelijk 21,5 °C en 28 °C, met een maximale ophoging van de achtergrondtemperatuur van respectievelijk 3 en 1,5 °C als de maxima nog niet overschreden worden. De temperatuurgrens van 10 °C heeft alleen betrekking op de voortplantingsperioden van soorten die koud water nodig hebben voor hun voortplanting en alleen op water waarin dergelijke soorten kunnen voorkomen (zie Tabel 4). In Nederland is alleen de Grensmaas aangewezen als water voor zalmachtigen. Aan de Grensmaas is het KRW-type R16 toegekend.

Tabel 4. Temperatuureisen uit de Viswaterrichtlijn. De temperatuurgrens van 10 °C heeft alleen betrekking op de voortplantingsperioden van soorten die koud water nodig hebben voor hun voortplanting en alleen op water waarin dergelijke soorten kunnen voorkomen.

Toegekende functie	Maximum opwarming (°C)	Maximumtemperatuur (°C)
Water voor karperachtigen	3	28
		10
Water voor zalmachtigen	1,5	21,5
		10

In paragraaf 3.3.2 wordt de maximale temperatuur bepaald die van toepassing is voor de GET van de grote rivieren in Nederland gebaseerd op temperatuurgegevens van vissoorten. Het zomermaximum dat uit die analyse volgt is 26 °C en daarmee hoger dan de grens van 21,5 °C uit de Viswaterrichtlijn. De Viswaterrichtlijn heeft de aanname dat in water met de toekenning water voor zalmachtigen “zalmachtigen kunnen of zouden kunnen leven”. De waterkwaliteitsgrenzen die zijn opgesteld gaan derhalve meer uit van een optimum voor de levensomstandigheden voor de zalm en dergelijke

vissoorten. De optimale maximumtemperatuur voor de zalm (dus niet de letale maximumtemperatuur) ligt rond de 23 °C (Laak 2007). Bij de afleiding van de bovengrens voor de temperatuur van de GET voor de grote rivieren op basis van het kwaliteitselement vis is in hoofdstuk 3 uitgegaan van de maximale temperatuur waarbij soorten nog kunnen overleven. Bovendien is deze afleiding gedaan op basis van de hele maatlat, niet specifiek voor zalmachtigen. De maximale temperatuur volgend uit de maatlatafleiding is hoger dan de bovengrens van het optimum voor één vissoort. Dit onderstreept dat de door ons geadviseerde waarde door allerlei bestcase-aannames eerder te hoog dan te laag is.

Voor zalm (maar ook de forel) zijn de grote rivieren in Nederland vooral een doortrekroute naar de paaiplaatsen in de bovenlopen van de rivieren, en in tegenovergestelde richting voor de juvenielen van de bovenlopen naar zee. Adulten trekken in het voor- of najaar naar de bovenlopen; juvenielen trekken in het voorjaar naar de zee. In zowel het voor- als najaar zal de watertemperatuur lager zijn dan de watertemperatuur in de zomer. In hoofdstuk 3 wordt ook een voorstel gedaan voor een maximumtemperatuur in het voorjaar behorende bij de GET voor de grote rivieren (paaiperiode voor veel vissoorten). Het voorstel voor deze voorjaarstemperatuur komt uit op 20 °C. Deze temperatuur is niet beperkend voor de trek van zowel adulte als juveniele zalmen (Laak 2007).

In de Viswaternrichtlijn is ook een norm opgenomen voor de ophoging van de natuurlijke temperatuur (maximaal 3 °C voor water voor karperachtigen en 1,5 °C voor water voor zalmachtigen). Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat deze norm zou moeten worden aangepast. Dit betekent dat wanneer de uiteindelijke temperatuur het aanbevolen maximum niet overschrijdt, de natuurlijke temperatuur niet meer dan 3 respectievelijk 1,5 °C overschreden mag worden. Het aanbevolen maximum blijft altijd leidend: wanneer de temperatuur het maximum bereikt heeft mag er niet nog 3 respectievelijk 1,5 °C bij op.

Habitatrichtlijn

Daarnaast is de Habitatrichtlijn van belang (EU 1992; zie Figuur 4 in paragraaf 1.5 voor ligging van deze gebieden). Deze richtlijn is van kracht geworden in 1994. De Habitatrichtlijn stelt niet expliciet eisen aan de temperatuur van oppervlaktewater, maar uit de soorten die in de richtlijn worden genoemd kunnen wel eisen worden afgeleid. In de Habitatrichtlijn worden drie vissoorten genoemd: zalm, fint en houting (EU 1992). De zalm en fint vallen onder bijlage II en V van de Habitatrichtlijn. De houting valt onder bijlage II en IV. Voor soorten die onder bijlage II vallen geldt dat aanwijzing van speciale beschermingszones vereist is. Voor bijlage IV geldt dat onder deze categorie genoemde soorten strikt dienen te worden beschermd. Voor soorten die vallen onder bijlage V geldt dat beheersmaatregelen noodzakelijk kunnen zijn bij een onttrekking van individuen aan de natuur en bij exploitatie van de populatie. De fint en zalm komen in Nederland nog wel voor, maar zijn als paaipopulatie uitgestorven. De houting was uitgestorven, maar de herintroductie is erg succesvol geweest (Kranenbarg et al. 2002, Wageningen Imares 2007).

Voor de maximumtemperatuur van voorkomen is de zalm hiervoor bij de Viswaternrichtlijn al besproken; voor fint en houting zijn geen data voor de maximumtemperatuur van voorkomen (zie bijlage 2). Voor de paaitemperatuur is de zalm voor Nederland niet van belang (zie bijlage 3), wel de houting en fint. Van de fint is wel een paaiperiode, maar geen maximumpaaitemperatuur bekend. Voor de houting moet de temperatuur in november maximaal 5 tot 7 °C zijn. Gelet op de data van Figuur 2 in paragraaf 1.2 is dit mogelijk kritisch. Het succes van de herintroductie betekent mogelijk dat de houting elders paait. Verder onderzoek naar de consequenties hiervan kon in de beperkte tijd die beschikbaar was voor dit rapport helaas niet worden uitgevoerd.

6 Buitenland

Er is een kleine inventarisatie gemaakt van de stand van zaken in het buitenland, voor wat betreft het afleiden van normen voor temperatuur voor grote rivieren. Er is contact gezocht met de verantwoordelijke instanties in het Verenigd Koninkrijk, Duitsland, Oostenrijk, Frankrijk en Belgisch-Vlaanderen.

Verenigd Koninkrijk

Engeland heeft conceptvoorstellen liggen voor temperatuurnormen voor rivieren (WFD UK TAG 2007), waarover op dit moment van gedachten gewisseld wordt met betrokken partijen. In het technisch rapport waarop deze voorstellen gebaseerd zijn (Turnpenny en Liney 2006) staan de ecologische principes die tot de voorgestelde normen leiden. Er is ook een overzicht in opgenomen van de internationale normen voor temperatuur.

Er wordt onderkend dat temperatuur effect heeft op verschillende aquatische soortengroepen. Normen zijn gebaseerd op visgegevens verzameld via literatuuronderzoek, onderzoek via internet en via overleg met internationale specialisten. Hoewel het onderzoek zich tot nu toe heeft gericht op visgegevens wordt macrofauna op dit moment verder onderzocht in het PRINCE-project, waarvan de resultaten in 2007 nog verwacht worden.

Watertypen zijn gegroepeerd naar temperatuurvoorkeur van vissoorten. Er zijn twee categorieën gemaakt: *cool water* (voormalige wateren voor zalmachtigen) en *warm water* (voormalige wateren voor karperachtigen). Voor het toekennen van normen voor de twee categorieën werd uitgegaan van het 'niche-concept': vissen brengen tweederde van hun tijd door binnen 2 °C van een voorkeurstemperatuur.

Voorgestelde normen voor de goed/matig grens (eenheid: jaarlijkse 98-percentielen):

- cool-water: 23 °C
- warm-water: 28 °C.

Ook in Engeland kon men geen goede onderbouwing vinden voor de $\Delta 3$ °C en $\Delta 1,5$ °C uit de Viswaterrichtlijn. Die zouden moeten voorkomen dat er een thermische barrière ontstaat voor de beweging van vissen. Er wordt aanbevolen voor wateren met de status 'goed' $\Delta 3$ °C te handhaven en voor wateren met de status 'zeer goed' $\Delta 2$ °C. Het is niet duidelijk of ze ook dezelfde benadering als Nederland hebben, met een GEP afgeleid van GET, en of de afgeleide normen dus ook van toepassing zijn op sterk veranderde wateren.

Duitsland

In Duitsland zijn, na een uitgebreide discussie in de Werkgroep van Federale Staten voor Water Zaken (LAWA), de normen voor temperatuur gebaseerd op de Viswaterrichtlijn, aangevuld met expertkennis (LAWA-AO 2007). Er wordt in Duitsland, op basis van de op dit moment beschikbare kennis, gesteld dat de waarden uit de Viswaterrichtlijn de Goede ecologische toestand zullen waarborgen. Andere biologische kwaliteitselementen worden dus niet meegenomen.

Er wordt verder geadviseerd om voor de $\Delta 3$ °C en $\Delta 1,5$ °C uit te gaan van de natuurlijke seizoenstemperatuur, zodat bijvoorbeeld de wintertemperatuur niet te hoog ligt voor de succesvolle reproductie van salmoniden.

Op basis van de Viswaterrichtlijn en aanvullende expertkennis is er een tabel gemaakt waarbij voor 31 verschillende watertypen normen voor temperatuur zijn aangegeven. Per type wordt voor acht verschillende categorieën, die gebaseerd zijn op verschillende visgemeenschappen, een achtergrondwaarde en een richtwaarde gegeven. De richtwaarde varieert van < 20 °C voor categorieën met zeer gevoelige soorten erin, tot < 28 °C voor categorieën met de minst gevoelige soorten. Voor de maximale ophoging van de temperatuur worden de $\Delta 3$ °C en $\Delta 1,5$ °C uit de Viswaterrichtlijn aangehouden.

Oostenrijk

In Oostenrijk loopt de discussie over de normen voor de algemene fysisch-chemische parameters ook nog volop. Zij zijn voorlopig voornemens om voor de goede ecologische toestand uit te gaan van de Viswaterrichtlijn, en de norm voor de zeer goede toestand te laten afhangen van de vereisten van de relevante visfauna.

Frankrijk

In Frankrijk worden op dit moment algemene normen voor temperatuur voor de goede ecologische toestand gebruikt, maar die zijn nog niet specifiek per watertype afgeleid. Daaraan wordt op dit moment gewerkt, maar men voorziet dezelfde moeilijkheden als in Nederland, zoals het ontbreken van een referentietoestand en het tekort aan gegevens over effecten van temperatuur op de verschillende biologische kwaliteitselementen.

Belgisch-Vlaanderen

Belgisch-Vlaanderen had op het moment van uitkomen van dit rapport nog niet gereageerd op het verzoek om informatie.

7 Discussie en normafleiding GET

7.1 Biologische kwaliteitselementen

Volgens de KRW moeten de normen voor de algemene fysisch-chemische kwaliteitselementen voor het behalen van de goede ecologische toestand (GET) afgeleid worden van het meest gevoelige biologische kwaliteitselement voor de betreffende milieuvariabele. In dit onderzoek is een overzicht gegeven van de huidige kennis over de effecten van temperatuur op de verschillende biologische kwaliteitselementen voor de grote rivieren, te weten waterflora (macrofyten en fytobenthos), macrofauna en vissen. De beschikbare kennis per kwaliteitselement verschilt in hoeveelheid en relevantie. Bij voldoende kwantificeerbare gegevens is per biologisch kwaliteitselement geanalyseerd bij welke temperatuur de GET nog net gehaald wordt (ondergrens GET: EKR = 0,6). Uitgangspunt bij deze analyses is steeds geweest dat temperatuur alleen direct invloed heeft op de soorten in de maatlat. Indirecte effecten zoals veranderende zuurstofcondities, verandering van toxiciteit van stoffen, introductie en dominantie van exoten, verandering van gevoeligheid voor ziektes, etc. zijn niet meegenomen.

Waterflora

Voor het biologische kwaliteitselement waterflora (macrofyten en fytobenthos) is weinig kwantitatieve informatie gevonden specifiek over de omvang van de effecten van temperatuur. Er zijn aanwijzingen dat temperatuur wel een effect heeft in verschillende fasen van de levenscycli van de organismen die onder dit kwaliteitselement vallen, maar dit is in veel gevallen moeilijk kwantificeerbaar gebleken. Er zijn aanwijzingen gevonden dat macrofyten vooral gevoelig zijn voor temperatuur in de bloei- en kiemperiode (voorjaar, begin zomer). Ook de morfologie van de planten (bijvoorbeeld grootte en aantal drijvende bladeren), en daarmee de scores op de maatlat voor groeivormen, wordt sterk beïnvloed door de temperatuur van het water. Een kwantitatieve analyse van de effecten van een toenemende temperatuur op de deelmaatlaten voor macrofyten kon echter niet gemaakt worden omdat daarvoor te weinig gegevens beschikbaar zijn.

Ook voor fytobenthos is weinig bekend van de effecten van temperatuur op de samenstelling van de gemeenschap. Er zijn effecten waargenomen van temperatuur op de primaire productie en groeisnelheid van algen en deze effecten kunnen per soort verschillen. Hierdoor verandert de concurrentiepositie van verschillende soorten, waardoor de soortensamenstelling kan veranderen. Zulke veranderingen (minder soorten maar meer biomassa) zijn al waarneembaar bij temperaturen ≥ 20 °C. Een kwantitatieve analyse van de effecten van een toenemende temperatuur op de deelmaatlat voor fytobenthos kon echter niet gemaakt worden omdat ook daarvoor op dit moment de juiste gegevens ontbreken.

Dit betekent dat er voor het biologische kwaliteitselement waterflora voor geen enkele deelmaatlat voldoende informatie beschikbaar is om in te kunnen schatten hoe de temperatuur de score op de maatlat zal beïnvloeden. Dit betekent ook dat niet kan worden uitgesloten dat dit kwaliteitselement het meest gevoelig is. Hiervoor zal meer onderzoek nodig zijn.

Macrofauna

Voor macrofauna is op basis van drie verschillende datasets een analyse gemaakt van de temperatuur waarbij GET nog gehaald kan worden. Dit is op basis van de kenmerkende soorten uit de maatlatten voor de betreffende watertypen afzonderlijk gedaan. Gegevens van het voorkomen van deze soorten zijn gecorreleerd aan de heersende temperatuur en op basis daarvan is een maximale temperatuur voor het voorkomen afgeleid. Hoewel de resultaten gebaseerd zijn op correlatieanalyses van datasets met verschillende representativiteit en grootte, kan er een range van een maximale temperatuur van 22-25 °C gegeven worden die voor macrofauna de grens van GET weerspiegelt. Hierbij is de onzekerheid in de ondergrens relatief groot. Bij de analyse van gegevens uit Limnodata is steeds per monster nagegaan wat de maximumwatertemperatuur was op dezelfde plek en in hetzelfde jaar. Daarom heeft deze maximumtemperatuur van 22-25 °C betrekking op de maximale dagwaarde.

De effecten van het steeds meer voorkomen van exoten bij stijgende temperatuur op de maatlatscore is hierbij niet meegewogen, omdat dat niet gekwantificeerd kon worden.

Bovendien is voor de gevoelige periode op basis van een dataset met specifieke gegevens over temperatuurgevoeligheid van kenmerkende soorten tijdens groei, reproductie en ontwikkeling een maximale temperatuur van 21 °C voor R7 (en dus ook R8) en 19 °C voor R16 afgeleid. Deze afgeleide maxima zijn echter maar gebaseerd op gegevens van 8% van de maatlatsoorten, waardoor de onzekerheid relatief groot is. Bovendien zijn er geen specifieke gegevens gevonden die de precieze periode goed kunnen onderbouwen.

Vissen

Voor het biologische kwaliteitselement vissen zijn veel meer gegevens over de effecten van temperatuur gevonden. De analyses voor de maximale temperatuur voor vis zijn gebaseerd op ongeveer 65% van de soorten uit de maatlatten. De gegevens zijn voor het merendeel afkomstig uit landen die geografisch en klimatologisch sterk op Nederland lijken. Voor de drie afzonderlijk geanalyseerde watertypen ligt de maximale temperatuur voor het kwaliteitselement vis op 26 °C. Wanneer er aannames gedaan moesten worden voor de analyses zijn die vrijwel steeds gedaan met een realistische of bestcase-insteek. Dit betekent dat het onwaarschijnlijk is dat de temperatuurnorm voor vis bij het beschikbaar komen van meer kennis hoger uit zou komen, uitgaande van de huidige maatlat. Lager is wel mogelijk wanneer onze bestcase-aannames niet realistisch blijken.

Ook voor vis is gekeken naar eventueel extra eisen tijdens een gevoelige periode in de levenscyclus. Voor de maatlatsoorten die ook daadwerkelijk kunnen paaïen in de betreffende watertypen is voor de drie watertypen, met behulp van specifieke gegevens over temperatuurgevoeligheid in deze paaïperiode, per maand een analyse gemaakt van de EKR bij verschillende temperaturen. In de maanden april en mei zijn de effecten van temperatuur over de hele maatlat gezien groot genoeg om de EKR te beïnvloeden in alle drie watertypen. Daarom wordt geadviseerd voor het kwaliteitselement vis voor ten minste de maanden april en mei een maximale temperatuur van 20 °C te hanteren.

In de Viswaterrichtlijn is ook een norm opgenomen voor de ophoging van de natuurlijke temperatuur (maximaal 3 °C voor water voor karperachtigen en 1,5 °C voor water voor zalmachtigen). Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat deze norm zou moeten worden aangepast. Dit betekent dat wanneer de uiteindelijke temperatuur het aanbevolen maximum niet overschrijdt, de natuurlijke temperatuur niet meer dan 3 respectievelijk 1,5 °C overschreden mag worden. Het aanbevolen maximum blijft altijd leidend: met verhoging van maximaal 3 respectievelijk 1,5 °C erbij, mag de resulterende temperatuur niet boven die hier geadviseerde maxima uitkomen.

Invloed van klimaatverandering op de maatlatten

Bij de afleiding van de temperatuurnormen voor GET voor de grote rivieren in deze studie is geen rekening gehouden met klimaatverandering. De huidige maatlatten zijn als uitgangspunt gebruikt. Wanneer er aantoonbare effecten van klimaatverandering zijn, mag dit in de referenties worden meegenomen (Persoonlijke communicatie D. van der Molen). Voor de grote rivieren is het aandeel klimaat in de temperatuur nog klein ten opzichte van antropogene temperatuurstijging maar op termijn is het niet ondenkbaar dat de ambitie hierop wordt aangepast (Pers. comm. D. van der Molen). Het is op dit moment niet duidelijk of daarbij onderscheid gemaakt wordt tussen natuurlijke en antropogene klimaatverandering (die discussie is in dit rapport buiten beschouwing gelaten).

7.2 Beschermde gebieden

Volgens de Drinkwaterrichtlijn mag de temperatuur bij de onttrekkingspunten niet boven de 25 °C uitkomen. In de hier bestudeerde watertypen zijn ook daadwerkelijk onttrekkingspunten gelegen. Voor de overige beschermde gebieden zijn wel aanwijzingen gevonden dat temperatuur een belangrijke factor kan zijn, maar dat is slechts marginaal onderzocht. Verder onderzoek daarnaar is nodig. Verschil tussen dit rapport en de Viswaterrichtlijn is dat in dit rapport is gekeken naar de *maximum*temperatuur van voorkomen terwijl de Viswaterrichtlijn gebaseerd is op de *optimum* temperatuur (en daardoor lager uitkomt).

7.3 Aanbeveling temperatuurnorm GET grote rivieren

In Tabel 5 zijn de bevindingen voor de biologische kwaliteitselementen nog eens samengevat. De KRW stelt dat het meest gevoelige kwaliteitselement leidend moet zijn. Uit deze tabel blijkt dat dit macrofauna is. Omdat de analyses hiervoor met redelijk wat onzekerheid omkleed waren is er een range aangegeven voor de maximale temperatuur. Omdat de analyses van de bovengrens van de range met meer zekerheid kon worden vastgesteld adviseert het RIVM, aansluitend bij de werkwijze ‘van grof naar fijn’, voorlopig de bovengrens van de range te kiezen als maximale temperatuur voor GET (25 °C) voor de drie watertypen R7, R8 en R16 en ondertussen gericht onderzoek uit te zetten naar de effecten van temperatuur op macrofauna.

Tabel 5. Samenvatting van de analyses voor de biologische kwaliteitselementen; de temperatuur waarbij GET nog net gehaald wordt (EKR = 0,6).

Biologisch kwaliteitselement	Maximale T (°C, max. dagwaarde)	T (°C max. dagw.) gevoelige periode	Mate van zekerheid
Macrofauna	22-25	19 (R16)-21(R7/8) periode niet precies bekend	
Vissen	26	20 april-mei	
Waterflora (Macrofyten/fytobenthos)	Niet bekend	Niet bekend	

Voor de vissen is een maximale temperatuur van 26 °C uit de analyses gekomen maar bij deze analyses zijn een aantal bestcase-aannames gedaan. De keus van 25 °C als maximale temperatuur doet ook recht aan deze resultaten. Bovendien valt de drinkwatereis van 25 °C ook binnen deze norm.

Al deze overwegingen meenemende wordt als maximale temperatuur voor GET voor grote rivieren 25 °C aanbevolen.

Bovendien wordt er ter bescherming van een aantal organismegroepen aanbevolen om voor de gevoelige periode een strengere maximale temperatuur te hanteren. Omdat de analyses voor macrofauna op dit punt veel onzekerheden bevatten wordt op basis van de visanalyses aanbevolen om ten minste voor april en mei een maximale temperatuur van 20 °C te hanteren. Dit komt ook in de buurt van de maximale temperatuur voor macrofauna tijdens de gevoelige periode.

Overigens wordt aanbevolen de maximale ophoging van 3 °C voor water voor karperachtigen en 1,5 °C voor water voor zalmachtigen te handhaven, met dien verstande dat, met verhoging van maximaal 3 respectievelijk maximaal 1,5 °C erbij, de resulterende temperatuur niet boven de hier geadviseerde maxima mag uitkomen.

7.4 Afwenteling

Bij de beschouwing van de gewenste temperatuur voor stromende wateren hoort ook rekening te worden gehouden met benedenstroomse wateren. Dat betekent dat als in een benedenstrooms gelegen water de temperatuurnorm een bepaalde waarde heeft, de norm voor het te beschouwen water niet zoveel hoger moet zijn dat benedenstrooms de doelen niet gehaald worden. Op dit moment is voor kustwateren, overgangswater, brakke wateren en voor meren (bijvoorbeeld IJsselmeer) de GET-norm voor maximumtemperatuur gesteld op 25 °C. Als de temperatuurnorm voor een van die wateren zou worden verlaagd, moet de GET-temperatuurnorm voor de grote rivieren worden heroverwogen. Evenzeer moet, als uit nader onderzoek zou blijken dat de norm voor grote rivieren toch hoger kan worden dan de hier geadviseerde waarden, nagegaan worden of benedenstrooms gelegen wateren niet te warm worden. Ten slotte moet bedacht worden dat ook stroomopwaarts (dus vanuit het buitenland) randvoorwaarden kunnen worden gesteld aan de temperatuur in Nederlandse rivieren, bijvoorbeeld dat de trek van bepaalde vissen niet geremd wordt en dat de temperatuurnorm bij ons ook gebaseerd wordt op de eisen van die trekvis in hun trekperiode.

Bovengenoemde punten vallen alle onder afwenteling. Dat aspect is hier *niet* onderzocht.

8 Doorkijk naar het goed ecologisch potentieel (GEP)

Deze studie heeft zich beperkt tot het op wetenschappelijke basis afleiden van een zo goed mogelijke norm voor de goede ecologische toestand (GET). Dat betekent niet automatisch dat de aanbevolen maximale temperaturen voor GET ook de norm voor de huidige Nederlandse grote rivieren moet worden. Deze studie heeft zich immers niet gericht op de vraag wat de temperatuurnorm moet worden voor de huidige Nederlandse grote rivieren, die allemaal zijn aangewezen als sterk veranderde wateren. Niettemin is het evident dat, gezien de relatie tussen GET, GEP en de beleidsdoelstelling, het hier geformuleerde advies voor een temperatuurnorm voor natuurlijke wateren in beschouwing zal worden genomen bij formulering van GEP en beleidsdoelstelling. Om die reden willen we toch graag een ‘doorkijk’ naar het GEP en beleidsdoelstelling geven.

In Nederland zijn de waterlichamen die tot type R7, R8 en R16 behoren allemaal sterk veranderd. Voor kunstmatig en sterk veranderde wateren volgt na het GET-traject de afleiding naar GEP.

Bij de afleiding naar GEP wordt rekening gehouden met onomkeerbare hydromorfologische veranderingen. Het kan zijn dat voor bepaalde waterlichamen door deze veranderingen de omstandigheden zo zijn gewijzigd dat de natuurlijke biologische maatlaten voor deze waterlichamen niet meer van toepassing zijn. Het kan zijn dat bepaalde soorten niet meer kunnen voorkomen door die veranderingen (bijvoorbeeld gevoelige trekvis), waardoor de streepjes op de maatlat verschuiven. Ook is het mogelijk dat de fysisch-chemische omstandigheden rechtstreeks beïnvloed worden door de hydromorfologische omstandigheden, bijvoorbeeld als het stroomregime wordt gewijzigd of oevers worden aangepast. Ook daarmee wordt dan bij het afleiden van een norm voor GEP rekening gehouden (nadat rekening is gehouden met de resultaten van mitigerende maatregelen).

Na de fase van het afleiden van GEP volgt de fase naar beleidsdoelstelling. Als de gevolgen van het nastreven van de normen voor GEP maatschappelijk onaanvaardbaar worden gevonden (volgend uit een analyse van de kosten en effecten van mogelijke maatregelen) kan het traject van fasering of doelverlaging worden gevolgd.

Wellicht zijn er ook omstandigheden die de verhoging van de temperatuur tot een hoger maximum in (kleine) delen van het waterlichaam mogelijk maken. Daarvoor zou onderzoek gedaan moeten worden naar hoe groot dat deel van het water met hogere temperatuur dan kan zijn, zodat alle biologische kwaliteitselementen in dat waterlichaam gemiddeld toch de GEP of GET kunnen halen. Daarbij moet wel rekening gehouden worden met het feit dat sommige organismen een ontsnappingsmogelijkheid hebben omdat ze mobiel zijn (bijvoorbeeld vissen) en andere niet (bijvoorbeeld wortelende waterplanten). In een dergelijk geval is het wel nodig dat er een extra (biologisch en fysisch-chemisch) meetpunt voor monitoring is in die delen, omdat het uitgangspunt is dat een regulier meetpunt representatief is voor het hele waterlichaam. Dit is niet het geval wanneer delen van het waterlichaam blootgesteld worden aan een hogere temperatuur.

9 Conclusies

- Voor het biologische kwaliteitselementen vissen is voor de drie watertypen afzonderlijk een maximale temperatuur van 26 °C afgeleid op basis van een goede dataset en vrijwel steeds bestcase-aannames. Bovendien is een maximale temperatuur afgeleid van 20 °C voor de paaitijd april-mei.
- Uit de analyses voor het kwaliteitselement macrofauna kwam een range voor maximale temperatuur van 22-25 °C, waarbij de onzekerheid van met name de ondergrens relatief groot is. Onderzoek naar een gevoelige periode leverde onvoldoende resultaat voor een betrouwbaar advies.
- Voor waterflora zijn onvoldoende gegevens gevonden om een waarde voor de maximale temperatuur voor dat kwaliteitselement af te leiden. Consequentie daarvan is dat nu niet kan worden bepaald welk kwaliteitselement het gevoeligst is.
- Voor de inname van oppervlaktewater voor drinkwater geldt een eis van maximaal 25 °C op het innamepunt.
- Eisen gesteld vanuit overige beschermde gebieden zijn slechts marginaal onderzocht en verdienen meer aandacht.
- Er is vooralsnog geen reden de maximale ophoging van 3 °C voor water voor karperachtigen respectievelijk 1,5 °C voor water voor zalmachtigen uit de Viswaterrichtlijn ter discussie te stellen.
- RIVM adviseert derhalve de temperatuurnorm (maximale dagwaarde) voor de goede ecologische toestand in de onderzochte riviertypen R7, R8 en R16 vast te stellen op 25 °C, met een lagere norm van 20 °C in april en mei.
- Er is geen aanleiding gevonden de maximale ophoging van 3 °C voor water voor karperachtigen' en 1,5 °C voor water voor zalmachtigen te wijzigen, met dien verstande dat, met verhoging van maximaal 3 respectievelijk maximaal 1,5 °C, de resulterende temperatuur niet boven de hier geadviseerde maxima mag uitkomen.

10 Aanbevelingen

In dit onderzoek bleken sommige deelvragen niet te beantwoorden vanwege ontbrekende kennis. Aanvullende kennis zal niet leiden tot een advies voor een hogere maximumtemperatuur, maar het is wel mogelijk dat het huidige advies niet alle kwaliteitselementen voldoende beschermt. Ook bestaat de kans dat in de beschermde gebieden niet aan de doelen kan worden voldaan vanwege de temperatuur. Bovendien heeft deze studie zich beperkt tot het afleiden van een temperatuurnorm voor GET, een afleiding voor GEP moet nog plaatsvinden. RIVM doet daarom de volgende aanbevelingen:

- voor macrofauna en waterflora verder onderzoek doen naar de gevoelige periode. Welke effecten heeft temperatuur op groei, reproductie en ontwikkeling? Welke periode is cruciaal?
- voor macrofauna en waterflora de analyse proberen te doen met méér soorten dan in dit onderzoek mogelijk was;
- in ieder geval voor vissen ook eisen ten aanzien van minimumtemperatuur in overweging nemen. Dat is in deze studie niet gedaan;
- onderzoek doen naar ecosysteemeffecten in plaats van alleen naar soorten te kijken zoals in de huidige maatlatten wordt gedaan. Wat betekent een hoge wintertemperatuur voor de toename van exoten? Welk effect heeft dit op inheemse soorten? Wat zijn de effecten op de structuur van het voedselweb? Er kan bijvoorbeeld een mismatch ontstaan in de predator-prooirelaties. Tot slot is er meer informatie nodig over de autecologie van soorten en dan specifiek voor temperatuur. Nu is uit databases een maximumtemperatuur afgeleid die is gebaseerd op de correlatie tussen voorkomen van soorten en de temperatuur die daarbij is gemeten. Het nadeel daarvan is dat er meer factoren een rol spelen bij het voorkomen van soorten. Daarom moet voor elke soort duidelijk zijn wat de temperatuurvoorkeur is en welk maximum daaraan zit;
- onderzoek doen naar eisen die vanuit Natura-2000-gebieden en de Viswatterrichtlijn worden gesteld aan temperatuur. Hierbij zou in ieder geval de paaitemperatuur van de houting en de eisen van de zalmachtigen (R16) moeten worden bekeken,
- een betere onderbouwing verzorgen van de maximale ophoging van de watertemperatuur, niet alleen voor vissen maar voor alle biologische kwaliteitselementen. Differentiatie per maatlatklasse is daarbij denkbaar (zie voorbeeld Verenigd Koninkrijk);
- gericht onderzoek doen naar de vertaling van GET naar GEP. Daarbij kan onder andere gekeken worden naar mogelijkheden voor vissen om bij warmwaterlozingen om de pluim heen te zwemmen. Ook kan nagegaan worden of reproductie plaats kan vinden in delen van een rivier;
- andere klassengrenzen aanpassen op basis van de analyses in deze studie.

Referenties

- Alabaster J.S., R. Lloyd 1982. Water Quality Criteria for Freshwater Fish. Butterworths London, 361 p.
- Anderson N.J. 2000. Miniview: Diatoms, temperature and climatic change. *European Journal of Phycology* 35, p. 307-314.
- Aprahamian M.W., J.L. Bagliniere, M.R. Sabatie, P. Alexandrino, R. Thiel, C.D. Aprahamian 2003. Biology, Status, and Conservation of the Anadromous Atlantic Twaite Shad *Alosa fallax fallax*. Biodiversity, Status, and Conservation of the World's Shads, p. 103-124. American Fisheries Society Symposium. Vol. 35.
- Bal D., H.M. Beijer, M. Fellingner, R. Haveman, A.J.F.M. van Opstal, F.J. van Zadeloff 2001. Handboek Natuurdoeltypen, Tweede geheel herziene editie. Expertisecentrum LNV. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.
- Berg, van den M.S., H. Coops, J. Simons, A. de Keizer 1998. Competition between *Chara aspera* and *Potamogeton pectinatus* as a function of temperature and light. *Aquatic Botany* 60, p. 241-250.
- Berg, van den M.S. (red.) 2004. Achtergrondrapportage referenties en maatlaten waterflora. Rapportage van de expertgroepen macrofyten en fytoplankton. Versie november 2004.
- Blahm T.H., G.R. Snyder 1975. Effect of increased water temperatures on survival of adult threespine stickleback and juvenile yellow perch in the Columbia River. *Northwest Science*. Vol. 49(4), p. 267-270.
- Blaxter J.H.S. 1992. The effect of temperature on larval fishes. *Netherlands Journal of Zoology*. Vol. 42, no. 2-3, p. 336-357.
- Bohlen J. 2003. Temperature and oxygen requirements of early life stages of the endangered spined loach, *Cobitis taenia* L. (Teleostei, Cobitidae) with implications for the management of natural populations. *Archiv für Hydrobiologie* 157 (2).
- Brock, T.D. 1975. Predicting the ecological consequences of thermal pollution from observations on geothermal habitats. IAEA, International Atomic Energy Agency, Environmental effects of cooling systems at nuclear power plants. Nr IAEA-SM-187/9, p. 599-621, Vienna.
- Brock, T.C.M., W. van Vierssen 1992. Climatic change and hydrophyte-dominated communities in inland wetland ecosystems. *Wetlands Ecology and Management* 2 (1-2), p. 37-49.
- Burgmer T., H. Hillebrand, M. Pfenninger 2007. Effects of climate-driven temperature changes on the diversity of freshwater macroinvertebrates. *Oecologia* 151, p. 93-103.
- Carvalho L., H. Bennion, A. Darwell, I. Gunn, A. Lyle, D. Monteith, M. Wade 2002. Physico-chemical conditions for supporting different levels of biological quality for the Water Framework Directive for freshwaters. Environment Agency, R&D Project P2, Bristol UK.
- Coste M., L. Ector 2000. Diatomées invasives exotiques ou rares en France: principales observations effectuées au cours des dernières décennies. *Syst. Geogr. Pl.* 70, p. 373-400.
- Craig J.F., C. Kipling 1983. Reproduction effort versus the environment; case histories of Windermere perch, *Perca fluviatilis* L., and pike, *Esox lucius* L. *Journal of Fish Biology* 22 (6), p. 713-727.
- Daly H.V., J.T. Doyen 1978. Introduction to Insect Biology and Diversity. Baskerville: McGraw-Hill.
- Dam, van H. 2007. Een herziene KRW-maatlat voor het fyto bentos in stromende wateren. In opdracht van Rijkswaterstaat RIZA, p. 47.
- Daufresne M., P. Bady, J.F. Fruget 2007. Impacts of global changes and extreme hydroclimatic events on macroinvertebrate community structures in the French Rhône river. *Oecologia* 151, p. 544-559.
- DeNicola D.M. 1996. Periphyton responses to temperature. In R.J. Stevenson, M.L. Bothwell, R.L. Lowe (eds.). *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*, p. 149-181, San Diego: Academic Press.

- Dorland, van R. 1999. Radiation and climate, from radiative transfer modelling to global temperature reponse. Proefschrift, Universiteit Utrecht.
- Durance I., S.J. Ormerod 2007. Climate change effects on upland stream macroinvertebrates over a 25-year period. *Global Change Biology* 13, p. 942-957.
- Elliott J.M., J.A. Elliott 1995. The critical thermal limits for the bullhead, *Cottus gobio*, from three populations in north-west England. *Freshwater Biology* 33(3), p. 411-418.
- Emmerik, van W.A.M. 2004. Kennisdocument Atlantische steur *Acipenser sturio* (Linnaeus, 1758). Kennisdocument 02. Bilthoven: Vereniging Sportvisserij Nederland.
- Emmerik, van W.A.M., H.W. de Nie 2006. De zoetwatervissen van Nederland. Ecologisch bekeken. Bilthoven: Vereniging Sportvisserij Nederland, p. 267.
- EU 1992. Richtlijn 92/43/EEG van de Raad van 21 mei 1992 inzake de instandhouding van de natuurlijke habitats en de wilde flora en fauna. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen L 206.
- EU 2000. Richtlijn 2000/60/EG van het Europees parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen L 327.
- EU 2006. Richtlijn 2006/44/EG van het Europees Parlement en de Raad van 6 september 2006 betreffende de kwaliteit van zoet water dat bescherming of verbetering behoeft teneinde geschikt te zijn voor het leven van vissen. Publicatieblad van de Europese Unie L 264.
- Evers N. 2007. Getalswaarden bij de goede ecologische toestand voor oppervlaktewater voor de algemene fysisch-chemische kwaliteitselementen temperatuur, zuurgraad, doorzicht, zoutgehalte en zuurstof. STOWA-rapport 2007-01. RIZA-rapport 2007-002.
- Feldmeth C.R., J.N. Baskin 1976. Thermal and respiratory studies with reference to temperature and oxygen tolerance for the unarmored stickleback *Gasterosteus aculeatus williamsoni* Hubbs. *Bull. South. Calif. Acad. Sci.* 75, p. 127-131.
- Feminella J.W., W.J. Matthews 1984. Intraspecific differences in thermal tolerance of *Etheostoma spectabile* (Agassiz) in constant versus fluctuating environments. *Journal of Fish biology* 25(4), p. 455-461.
- Ficke A.D., C.A. Myrick, L.J. Hansen 2007. Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* (online). DOI 10.1007/s11160-007-9059-5
- Füreder L., C. Schütz, M. Wallinger, R. Burger 2001. Physico-chemistry and aquatic insects of a glacier-fed and a spring-fed alpine stream. *Freshwater Biology* 46, p. 1673-1690.
- Gerstmeier R., T. Romig 2000. Zoetwatervissen van Europa, p. 368, Baarn: Tirion uitgevers.
- Grinten, van der E., A.P.H.M. Janssen, K. de Mutsert, C. Baranguet, W. Admiraal 2005. Temperature- and light-dependent performance of the cyanobacterium *Leptolyngbya foveolarum* and the diatom *Nitzschia perminuta* in mixed biofilms. *Hydrobiologia* 548, p. 267-278.
- Hardewig I., H.O. Pörtner, P. van Dijk 2003. How does the cold stenothermal gadoid *Lota lota* survive high water temperatures during summer? *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology* 174(2).
- Hoek, van den Tj.H., P.F.M. Verdonchot 2001. De invloed van veranderingen in temperatuur op beekmacrofauna. Alterra-rapport 228, Wageningen.
- Hofmann N., P. Fischer 2002. Temperature Preferences and Critical Thermal Limits of Burbot: Implications for Habitat Selection and Ontogenetic Habitat Shift. *Transactions of the American Fisheries Society*: Vol. 131, No. 6, p. 1164-1172.
- Holdich D.M., M.R. Tolba 1981. The effect of temperature and water quality on the *in vitro* development and survival of *Asellus aquaticus* (Crustacea: Isopoda) eggs. *Hydrobiologia* 78, p. 227-236.
- Horppila J., K. Nyberg, H. Peltonen, T. Turunen 1996. Effects of five years of intensive trawling on a previously unexploited smelt stock. *Journal of Fish Biology* 49(2).

- Humpesch, U.M., M. Dokulil, J.M. Elliott, A. Herzig 1981. Auswirkungen der thermischen Gewässerbeeinflussung. Wasserwirtschaft, Wasservorsorge. Forschungsarbeiten no. 257 BM Land- und Forstwirtschaft, Sekt. IV, Wien.
- Hurk, van den B., A. Klein Tank, G. Lenderink, A. van Ulden, G.J. van Oldenborgh, C. Katsman, H. van den Brink, F. Keller, J. Bessembinder, G. Burgers, G. Komen, W. Hazeleger, S. Drijfhout 2006. KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. KNMI Scientific Report WR 2006-01.
- Hynes H.B.N. 1970. The ecology of running waters. Liverpool University Press, 555 pp.
- Jaarsma N., M. Klinge, R. Pot (red) 2007. Achtergronddocument Vissen. Expertgroep vissen.
- Jordan C.M., E.T. Garside 1972. Upper lethal temperatures of threespine stickleback, *Gasterosteus aculeatus* (L.), in relation to thermal and osmotic acclimation, ambient salinity, and size. Can.J. Zool. 50, p. 1405-1411.
- Kamler E., W. Mandrecki 1978. Ecological bioenergetics of *Physa acuta* (Gastropoda) in heated waters. Pol. Arch. Hydrobiol. 25(4), p. 833-868.
- Kangur A., P. Kangur, K. Kangur, T. Möls 2007. The role of temperature in the population dynamics of smelt *Osmerus eperlanus eperlanus* m. *spirinchus* Pallas in Lake Peipsi (Estonia/Russia). Hydrobiologia 584(1).
- Kangur K., A. Kangur, P. Kangur, R. Laugaste 2005. Fish kill in Lake Peipsi in summer 2002 as a synergistic effect of a cyanobacterial bloom, high temperature, and low water level. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Biology Ecology 54(1), p. 67-80.
- Kerkum L.C.M., A. Bij de Vaate, D. Bijstra, S.P. de Jong, H.A. Jenner 2004. Effecten van koelwater op het zoete aquatische milieu. Lelystad, RIZA-rapport 2004.033.
- Kikkert A., M.C. Beers 2006. De ontwikkeling van watertemperatuur in de grote rivieren van Nederland en het effect daarvan op stroomminnende vissen. RIZA-rapport 20060939.
- Kirschbaum F., J. Gessner, P. Williot 2000. Restoration of *Acipenser sturio* L. 1758 in Germany: Growth characteristics of juvenile reared under experimental indoor conditions. Bol. Inst Esp. Oceanogr. 16, p. 157-165.
- Kitchell J.F., D.J. Stewart, D. Weininger 1977. Applications of a bioenergetics model to yellow perch (*Perca flavescens*) and walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*). Journal of the Fisheries Research Board of Canada (34), p. 1922-1935.
- Klinge M., G. Hensens, A. Brenninkmeijer, L. Nagelkerke 2003. Handboek visstandbemonstering. STOWA rapport 2002-07, 201 p.
- Klinge M., J. Backx, M. Beers, B. Higler, N. Jaarsma, Z. Jager, J. Kranenbarg, J. de Leeuw, F. Ottburg, M. van der Ven, T. Vrieze 2004. Achtergronddocument referenties en maatlatten voor vissen. www.stowa.nl.
- Knoben R.A.E., P.A.M. Kamsma, R. Buskens, G. Duursema, G. van Ee, R. Franken, R. Noordhuis, E. Peeters, B. bij de Vaate, P.F.M. Verdonshot, H. Vlek 2004. Achtergronddocument referenties en maatlatten voor macrofauna. www.stowa.nl.
- Kranenbarg J., H.V. Winter, J.J.G.M. Backx 2002. Recent increase of North Sea houting and prospects for recolonization in the Netherlands. Journal of Fish Biology 61 (sa), p. 251-253.
- Kruik, de H.J. 1983. Overzicht van hydrologisch koelwateronderzoek in Nederland. Stand van zaken 30 juni 1983. Commissie Koelwater normen, Den Haag.
- Küttel S., A. Peter, A. Wüest 2002. Rhône revitalisierung. Temperaturpräferenzen und -limiten von Fischarten Schweizerischer Fliessgewässer. Bericht (Projekt 01/25). EAWAG Kastanienbaum, p. 36.
- Laak G.A.J. 2007. Kennisdocument Atlantische zalm *Salmo salar* (Linnaeus 1758). Kennisdocument 06. Bilthoven: Vereniging Sportvisserij Nederland.
- Lange, de M.C., W.A.M. van Emmerik 2006. Kennisdocument bittervoorn *Rhodeus amarus*. (Bloch 1782). Kennisdocument 15. Bilthoven: Vereniging Sportvisserij Nederland.

- LAWA-AO 2007. Rahmenkonzeption Monitoring. Teil B Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibungen. Arbeitspapier II: Hintergrund- und Orientierungswerte für physikalisch-chemische Komponenten. Stand 7.03.2007.
- Limnodata neerlandica 2007. Aquatisch-ecologische databank voor Nederland. www.limnodata.nl.
- Maitland P.S. 2003. Ecology of the River, Brook and Sea Lamprey. Conserving Natura 2000 Rivers Ecology Series No. 5. English Nature, Peterborough.
- Maitland P.S., T.W. Hatton-Ellis 2003. Ecology of the Allis and Twaite Shad. Conserving Natura 2000 Rivers Ecology Series No. 3. English Nature, Peterborough.
- Mann R.H.K. 1996. Environmental requirements of European non-salmonid fish in rivers. *Hydrobiologia* 323, p. 223-235.
- McCarthy D.H. 1976. *Vibrio* disease in eels. *J. Fish Biol.* 8, p. 317-320.
- Merritt R.W., K.W. Cummins 1996. An introduction to the Aquatic insects of North America. Third Edition. Kendall/Hunt Publishing Company.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat 1998. Vierde Nota Waterhuishouding, Regeringsbeslissing.
- Molen, van der D., P. Boers, N. Evers 2006. KRW-normen voor algemene fysisch-chemische kwaliteitselementen in natuurlijke wateren. H₂O 25/26, p. 31-33.
- Molen, van der D.T., R. Pot (red) 2007. Referenties en concept-maatlatten voor rivieren voor de kaderrichtlijn water, update februari 2007, STOWA 2004-43b.
- Nellbring S. 1989. The ecology of smelts (Genus *Osmerus*): a literature review. *Nordic Journal of Freshwater Research* 65.
- Patra, R.W., J.C. Chapman, R.P. Lim, P.C. Gehrke 2007. The effects of three organic chemicals on the upper thermal tolerances of four freshwater fishes. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 26, No. 7, p. 1454-1459.
- Patrick R. 1974. Effects of abnormal temperatures on algal communities. In J.W. Gibbons, R.R. Sharitz (eds.). *Thermal Ecology*, p. 335-349.
- Pauw, de N., R. Vannevel 1993. Macro-invertebraten en waterkwaliteit. Stichting Leefmilieu Antwerpen. Derde druk.
- Peters J.S. 2005. Kennisdocument rivierdonderpad *Cottus gobio* (Linnaeus 1758). Kennisdocument 09. OVB/Vereniging Sportvisserij Nederland, Bilthoven.
- Reeze A.J.G., A.D. Buijse, W.M. Liefveld 2005. Weet wat er leeft langs Rijn en Maas. Ecologische toestand van de grote rivieren in Europees perspectief. RIZA-rapport 2005.010.
- Rossaro B. 1991. Chironomids and water temperature. *Aquatic Insects* 13(2), p. 87-98.
- Rossaro B., V. Lencioni, A. Boggero, L. Marziali 2006. Chironomids from Southern Alpine running waters: ecology, biogeography. *Hydrobiologia* 562, p. 231-246.
- Rutledge C.J., T.L. Beiting 2005. The effects of dissolved oxygen and aquatic surface respiration on the critical thermal maxima of three intermittent stream fishes. *Environmental biology of fishes* 24(2), p. 137-143.
- Savage A., P.J. Hogarth 1999. An analysis of temperature-induced asymmetry in *Asellus aquaticus*. *Hydrobiologia* 411, p. 139-143.
- Schaeffer J., A. Ryan 2006. Developmental plasticity in the thermal tolerance of zebrafish *Danio rerio*. *Journal of fish biology* 69(3), p. 772-734.
- Schot J.A., P.F.M. Verdonschot 1996. *Astacus astacus*. Een ecologisch profiel gebaseerd op informatie uit de literatuur. IBN-rapport 235, Wageningen: IBN-DLO.
- Snieszko S.F. 1974. The effects of environmental stress on outbreaks of infectious diseases of fishes. *J. Fish Biol.* 6, p. 197-208.
- Svensson R., M. Wigren-Svensson 1992. Effects of cooling water discharge on the vegetation in the Forsmark Biotest Basin, Sweden. *Aquat. Bot.* 42, p. 121-141.
- Sweeney B.W., J.K. Jackson, J.D. Newbold, D.H. Funk 1992. Climate change and the life histories and biogeography of aquatic insects in Eastern North America. In P. Firth en S.G. Fisher (red.). *Global climate change and freshwater ecosystems*, p. 143-176, New York: Springer-Verlag.

- Turnpenny A.W.H., K.E. Liney 2006. Review and development of temperature standards for marine and freshwater environments. Final Report 2006 SNIFFER WFD81, Jacobs Report, Glasgow, UK. http://www.wfduk.org/stakeholder_reviews/stakeholder_review_1-2007/LibraryPublicDocs/temperature_standards_review_and_development
- Vaate, bij de A., K. Jazdzewski, H. Ketelaars, S. Gollasch, G. van der Velde 2002. Geographical patterns in range extension of macroinvertebrate Ponto-Caspian species in Europe. *Can. J. Fish. & Aquat. Sci.* (59) p. 1159-1174.
- Vaate, bij de A.B., H.V. Winter 2005. Exoten. In A.J.G. Reeze, A.D. Buijse, W.M. Liefveld (eds.) *Weet wat er leeft langs Maas en Rijn: Ecologische toestand van de grote rivieren in Europees perspectief*, p. 115-120, Lelystad: RIZA.
- Vaate, bij de A.B., R. Breukel, G. van der Velde 2006. Long-term developments in ecological rehabilitation of the main distributaries in the Rhine delta: fish and macroinvertebrates. *Hydrobiologia* 565, p. 229-242.
- Verdonschot R.C.M., H.J. de Lange, P.F.M. Verdonschot, A. Besse 2007. Klimaatverandering en aquatische biodiversiteit. 1. Literatuurstudie naar temperatuur. Alterra rapport 1451, Wageningen: Alterra.
- Verwey J. 1973. Het milieu en de koelwatertemperatuur van elektrische centrales. Uitgave Stichting Natuur en Milieu, reeks Natuur en Milieu, nr 2.
- Viergutz C., M. Kathol, H. Norf, H. Arndt, M. Weitere 2006. Control of microbial communities by the macrofauna: a sensitive interaction in the context of extreme summer temperatures? *Oecologia* 151, p. 115-124.
- Wageningen Imares 2007. Spectaculaire terugkomst van de houting in de Rijn. Persbericht Rijkswaterstaat/Imares 14 mei 2007: http://www.rijkswaterstaat.nl/rws/riza/home/actueel/persbericht_houting_2.html
- WFD UK TAG 2007. UK environmental standards and conditions (Phase 2) June 2007. UK Technical Advisory Group on the Water Framework Directive: http://www.wfduk.org/stakeholder_reviews/stakeholder_review_1-2007/LibraryPublicDocs/UKTAG_Report_Surface_Water_Standards_and_Conditions
- WHO (World Health Organization) 2004. Guidelines for Drinking-water Quality, third edition. Geneva: WHO. ISBN 92 4 154638 7.
- Wiegerinck J.A.M., I.J.de Boois, O.A. van Keeken, H.J. Westerink 2006. Samenstelling van de visstand in de grote rivieren gedurende het winterhalfjaar 2005/2006. Jaarrapportage actieve vismonitoring zoete rijkswateren. Wageningen Imares rapport C062/06. RIZA-rapport BM06.12.
- Wuijts S., H.F.M.W. van Rijswijk 2007. Drinkwateraspecten en de Kaderrichtlijn Water: bescherming van drinkwater uit oppervlaktewater. RIVM-rapport 734301028. Bilthoven: RIVM, www.rivm.nl.

Dankbetuiging

Naast de auteurs heeft een aantal mensen bijgedragen aan de totstandkoming van dit rapport, waarvoor we onze dank willen uitspreken. Henri den Hollander (RIVM-LER) voor ondersteuning bij de gegevensverwerking en berekeningen, Anke Durand (RIVM-LER) voor haar bijdrage in de initiële fase, Barry Pieters (RIVM-LER) voor de eerste fase van het literatuuronderzoek macrofyten, Sally van Donselaar (RIVM-LER) voor het controleren van de Engelse tekst, Herman van Dam (Adviseur water en Natuur) voor advies over fytobenthos en Michiel Kraak (UvA) voor ecologische input.

Bijlage 1. Macrofauna maatlatsoorten

Maatlatsoorten voor macrofauna voor R7 en R16, met daarin kenmerkende (K), negatief dominante (N) en positief dominante (P) soorten (Knoben et al. 2004).

Taxa	R7	R16	Taxa	R7	R16
<i>Acroloxus lacustris</i>	N		<i>Isonychia ignota</i>	K	
<i>Agraylea multipunctata</i>		K	<i>Jaera istri</i>	N	N
<i>Anabolia nervosa</i>		K	<i>Kloosia pusilla</i>	K	
<i>Ancylus fluviatilis</i>	K	K	<i>Lepidostoma hirtum</i>	K	
<i>Anodonta anatina</i>	K		<i>Limnius volckmari</i>		K
<i>Anodonta cygnea</i>	K		<i>Lipiniella arenicola</i>	K	
<i>Aphelocheirus aestivalis</i>	P	P	<i>Lipiniella moderata</i>	K	
<i>Asellus aquaticus</i>	N	N	<i>Lithoglyphus naticoides</i>	K	
<i>Astacus astacus</i>	K	K	<i>Lype reducta</i>	K	K
<i>Athripsodes albifrons</i>	K		<i>Macronychus quadrituberculatus</i>	K	
<i>Baetis</i>	P	P	<i>Micropsectra</i>	P	
<i>Baetis fuscatus</i>		K	<i>Micropsectra atrofasciata</i>		K
<i>Baetis rhodani</i>		K	<i>Nais elinguis</i>	N	
<i>Baetis vernus</i>		K	<i>Nanocladius bicolor</i>	P	P
<i>Bithynia tentaculata</i>	N	N	<i>Nanocladius rectinervis</i>		K
<i>Brillia flavifrons</i>	K		<i>Neureclepsis bimaculata</i>	K	K
<i>Brillia longifurca</i>	K		<i>Notidobia ciliaris</i>	K	
<i>Brillia modesta</i>	K		<i>Oecetis lacustris</i>		K
<i>Buchonomyia thienemanni</i>	K		<i>Oecetis notata</i>	K	
<i>Caenis luctuosa</i>	K	K	<i>Oecetis tripunctata</i>	K	
<i>Caenis macrura</i>	K	K	<i>Oligoneuriella rhenana</i>	K	
<i>Caenis robusta</i>	K	K	<i>Oligoplectrum maculatum</i>	K	
<i>Calopteryx splendens</i>	K	K	<i>Onychogomphus forcipatus</i>		K
<i>Calopteryx virgo</i>	K		<i>Ophiogomphus cecilia</i>	K	K
<i>Cardiocladius fuscus</i>	K	K	<i>Orthocladius oblidens</i>		K
<i>Centropilum pennulatum</i>	K		<i>Orthocladius rubicundus</i>		K
<i>Ceraclea alboguttata</i>	K		<i>Oulimnius rivularis</i>	K	
<i>Ceraclea annulicornis</i>	K		<i>Oulimnius tuberculatus</i>		K
<i>Ceraclea dissimilis</i>	P	K	<i>Palingenia longicauda</i>	K	
<i>Ceraclea fulva</i>	K		<i>Parachironomus arcuatus</i>	P	
<i>Ceraclea nigranervosa</i>	K		<i>Parachironomus frequens</i>	K	
<i>Ceraclea riparia</i>	K		<i>Parachironomus longiforceps</i>		K
<i>Ceraclea senilis</i>	K		<i>Paracladopelma laminata</i>	K	
<i>Chaetogaster diastrophus</i>	K		<i>Parametriocnemus stylatus</i>		K
<i>Chernovskii orbiculus</i>	K		<i>Paranaeis frici</i>	K	
<i>Cheumatopsyche lepida</i>	K	K	<i>Paranaeis litoralis</i>	K	
<i>Chimarra marginata</i>	K		<i>Paratanytarsus dissimilis</i>	K	K
<i>Chironomus</i>	N	N	<i>Paratanytarsus tenuis</i>	K	
<i>Chironomus acutiventris</i>	K		<i>Paratendipes intermedius</i>	K	
<i>Chironomus nudiventris</i>	K		<i>Paratrichocladius rufiventris</i>	K	K
<i>Choroterpes picteti</i>	K		<i>Phryganea bipunctata</i>	K	

Taxa	R7	R16	Taxa	R7	R16
<i>Cladotanytarsus vanderwulpi</i>		K	<i>Physella acuta</i>	K	
<i>Cloeon simile</i>		K	<i>Piscicola geometra</i>		K
<i>Conchapelopia pallidula</i>		K	<i>Pisidium</i>	P	P
<i>Cricotopus bicinctus</i>	P	P	<i>Planaria torva</i>	K	
<i>Cricotopus sylvestris</i>	N	N	<i>Platambus maculatus</i>	K	K
<i>Cricotopus triannulatus</i>	K	K	<i>Plecoptera</i>	K	K
<i>Cryptochironomus obreptans</i>	P		<i>Polypedilum laetum</i>	K	
<i>Cryptochironomus rostratus</i>	K		<i>Polypedilum pedestre</i>	K	
<i>Cryptotendipes usmaensis</i>	K		<i>Polypedilum scalaenum</i>	K	K
<i>Cyrnus trimaculatus</i>	K		<i>Potamanthus luteus</i>	K	K
<i>Cystobranchnus respirans</i>	K		<i>Potthastia longimana</i>		K
<i>Demeijerea rufipes</i>	K		<i>Prodiamesa olivacea</i>		K
<i>Demicryptochironomus vulneratus</i>	K		<i>Propappus volki</i>	K	
<i>Dicrotendipes nervosus</i>		N	<i>Psectrotanytus varius</i>	N	N
<i>Dreissena polymorpha</i>	P	P	<i>Psychomyia pusilla</i>	K	K
<i>Dugesia lugubris</i>		N	<i>Radix peregra/ovata</i> soortengroep	N	N
<i>Dugesia polychroa</i>		N	<i>Rheocricotopus chalybeatus</i>	K	K
<i>Dugesia tigrina</i>		N	<i>Rheocricotopus fuscipes</i>	K	
<i>Ecdyonurus affinis</i>	K		<i>Rheopelopia</i>	K	
<i>Ecdyonurus aurantiacus</i>	K		<i>Rheopelopia ornata</i>		K
<i>Ecdyonurus dispar</i>	K	K	<i>Rheotanytarsus photophilus</i>	K	K
<i>Ecdyonurus insignis</i>	K	K	<i>Rheotanytarsus rhenanus</i>	K	
<i>Ecdyonurus venosus</i>	K		<i>Rhithrogena semicolorata</i>		K
<i>Ecnomus tenellus</i>		P	<i>Robackia demeyerei</i>	K	
<i>Elmis aenea</i>		K	<i>Simuliidae</i>	P	P
<i>Endochironomus albipennis</i>		P	<i>Simulium equinum</i>	K	K
<i>Ephemera lineata</i>	K	K	<i>Simulium erythrocephala</i>	K	K
<i>Ephemera vulgata</i>	K	K	<i>Simulium lineatum</i>	K	K
<i>Ephemerella ignita</i>	K		<i>Siphonurus aestivalis</i>	K	
<i>Ephoron virgo</i>	K	K	<i>Sphaerium corneum</i>		K
<i>Ephydatia fluviatilis</i>		K	<i>Sphaerium rivicola</i>	K	K
<i>Erpobdella octoculata</i>	N	N	<i>Sphaerium solidum</i>	K	
<i>Esolus parallelepipedus</i>		K	<i>Spongilla lacustris</i>		K
<i>Eukiefferiella claripennis</i>	K	K	<i>Stenochironomus</i>	K	K
<i>Eukiefferiella ilkleyensis</i>		K	<i>Stylaria lacustris</i>	N	
<i>Gammaridae</i>	P	P	<i>Stylodrilus heringianus</i>	K	
<i>Gammarus pulex</i>	K	K	<i>Symposiocladius lignicola</i>	K	
<i>Gammarus roeselii</i>	K		<i>Synorthocladus semivirens</i>	K	K
<i>Glossiphonia heteroclita</i>	N	N	<i>Tanytus punctipennis</i>	N	
<i>Glyptotendipes pallens</i>		N	<i>Tanytarsus pallidicornis</i>	P	
<i>Glyptotendipes signatus</i>	K		<i>Theodoxus fluviatilis</i>	K	K
<i>Gomphus flavipes</i>	K	K	<i>Thienemannimyia carnea</i>		K
<i>Gomphus vulgatissimus</i>	K	K	<i>Thienemannimyia pseudocarnea</i>		K
<i>Haplotaxis gordioides</i>	K		<i>Tinodes waeneri</i>	K	
<i>Harnischia</i>	K		<i>Torrenticola amplexa</i>	K	
<i>Heptagenia coerulans</i>	K		<i>Tubificidae</i>	N	N

Taxa	R7	R16	Taxa	R7	R16
<i>Heptagenia longicauda</i>	K		<i>Tvetenia calvescens</i>	K	K
<i>Heptagenia sulphurea</i>	K	K	<i>Tvetenia discoloripes</i>	K	K
<i>Homochaeta naidina</i>	K		<i>Tvetenia verralli</i>	K	K
<i>Hydropsyche angustipennis</i>	K	K	<i>Unio crassus nanus</i>	K	K
<i>Hydropsyche bulgaromanorum</i>	K		<i>Unio pictorum</i>		K
<i>Hydropsyche contubernalis</i>	P	P	<i>Unio tumidus</i>	K	
<i>Hydropsyche exocellata</i>	K		<i>Vejdovskella intermedia</i>	P	
<i>Hydropsyche modesta</i>	K		<i>Viviparus viviparus</i>		K
<i>Hydropsyche ornatula</i>	K		<i>Xenochironomus xenolabis</i>	K	K
<i>Hydropsyche pellucidula</i>	K	K			
<i>Hydropsyche saxonica</i>	K				
<i>Hydroptila pulchricornis</i>	K				

Bijlage 2. Maximumtemperatuur vissen

Maximumtemperaturen voor een aantal Nederlandse vissoorten. Samengesteld uit de bronnen Verdonshot et al. (2007), Van Emmerik en De Nie (2006), Kerkum et al. (2004), Turnpenny en Liney (2006), Carvalho et al. (2002) en Küttel et al. (2002).

Verdonshot et al. (2007) is een bundeling van de gegevens van Van Emmerik en De Nie (2006) en van Gerstmeier en Romig (2000) en is om die reden opgenomen in de tabel. Turnpenny en Liney (2006) en Carvalho et al. (2002) hebben dezelfde bron (Alabaster en Lloyd 1982) als uitgangspunt gehad en zijn om die reden samengevoegd.

In de kolom 'aanvullend' zijn waarden gegeven voor de maximumtemperatuur afkomstig uit literatuur aanvullend op de reviews. Zie hiervoor ook paragraaf 3.1.2.

In Bijlage 6 staat aangegeven welke soorten in welke maatlat voorkomen (R7, R8, R16).

soort		1	2	3	4, 5	6	aanvullend
Aal	<i>Anguilla anguilla</i>	>30	30		38	39	
Alver	<i>Alburnus alburnus</i>	26	30	37,7	37,7	38	
Atlantische steur	<i>Acipenser sturio</i>						>27* (25)
Atlantische zalm	<i>Salmo salar</i>				27,8	34	
Baars	<i>Perca fluviatilis</i>			24-35,8	23,2-35,8	34	
Barbeel	<i>Barbus barbus</i>	28				30	
Beekforel	<i>Salmo trutta</i>					30	
Beekprik	<i>Lampetra planeri</i>					30	
Bermpje	<i>Barbatula barbatula</i>	25	>25			34	
Bittervoorn	<i>Rhodeus sericeus</i>						>24** (34)
Blankvoorn	<i>Rutilus rutilus</i>	30	29-30	27,3-36,1	27,3-37,8	38	
Bot	<i>Platichthys flesus</i>						
Brasem	<i>Abramis brama</i>		30-36	30,2	30,2-35,7	36	
Driedoornige stekelbaars	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	26	26				26-27 (44,45)
Elft	<i>Alosa alosa</i>						
Elrits	<i>Phoxinus phoxinus</i>	26	>26			31	
Europese meerval	<i>Silurus glanis</i>						
Fint	<i>Alosa fallax</i>						
Gestippelde alver	<i>Alburnoides bipunctatus</i>					27	
Giebel	<i>Carassius auratus gibelio</i>						
Grote modderkruiper	<i>Misgurnus fossilis</i>						
Houting	<i>Coregonus oxyrinchus</i>						
Karper	<i>Cyprinus carpio</i>				40,6-40,9	41	
Kleine modderkruiper	<i>Cobetis taenia</i>						29 (15)
Kolblei	<i>Abramis bjoerkna</i>		29				
Kopvoorn	<i>Leuciscus cephalus</i>	30-34	24-30		37,9-38,8	39	
Kroeskarper	<i>Carassius carassius</i>	38	38				
Kwabaal	<i>Lota lota</i>	20	23			21	
Pos	<i>Gymnocephalus cernuus</i>			28,1-34,5	28,1-34,5		

soort		1	2	3	4, 5	6	aanvullend
Rivierdonderpad	<i>Cottus gobio</i>	20	32		27,8	33	
Riviergrondel	<i>Gobio gobio</i>	28	30	27,2-29,6	27,2-36,7	37	
Rivierprik	<i>Lampetra fluviatilis</i>						
Ruisvoorn	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	>30	37	31,2-32,5	31,2-38,2	38	
Serpeling	<i>Leuciscus leuciscus</i>	28	28				
Sneep	<i>Chondrostoma nasus</i>		26-29				
Snoek	<i>Esox lucius</i>	29	29		30-34	34	
Snoekbaars	<i>Sander lucioperca</i>	32	35	35,4-37			
Spiering	<i>Osmerus eperlanus</i>						26-27 (26,27)
Tiendoomnige stekelbaars	<i>Pungitius pungitius</i>	26	26				
Vetje	<i>Leucaspis delineatus</i>	33	33				
Vlagzalm	<i>Thymallus thymallus</i>	25				26	
Winde	<i>Leuciscus idus</i>	>30	36	26,6-27,2	23,7-29,1		
Zeeforel	<i>Salmo trutta</i>					30	26-27 (29)
Zeelt	<i>Tinca tinca</i>	38	33-38	31,2-35,2	30,2-39,3	39	
Zeeprik	<i>Petromyzon marinus</i>						>26*** (14)

* Groei waargenomen tot deze temperatuur; Tmax zal hier een aantal °C boven liggen. ** Bovengrens optimumtemperatuur; Tmax zal hier een aantal °C boven liggen. *** Voor larven.

Bijlage 3. Paaiperiode en paaitemperatuur vissen I

Paaiperiode en paaitemperatuur. Samengesteld uit de reviews (Verdonschot et al. 2007, Van Emmerik en De Nie 2006, Carvalho et al. 2002, Mann 1996), aangevuld met waarden uit andere bronnen (Maitland 2003, Bohlen 2003, Maitland en Hatton-Ellis 2003, Alabaster en Lloyd 1982, Van Emmerik 2004, Aprahamian et al. 2003). Met blauw zijn de maanden aangegeven waarin de soorten paaïen. In de eerste maand van de paaiperiode staat de temperatuurrange voor de paaï aangegeven. In de tweede kolom is aangegeven of het de verwachting is dat de soorten in (het Nederlandse deel van) de grote rivieren zouden paaïen in de referentiesituatie.

In Bijlage 6 staat aangegeven welke soorten in welke maatlat voorkomen (R7, R8, R16).

soort		jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	Dec
Aal	nee												
Alver	ja				14-28								
Atlantische steur	nee					21							
Atlantische zalm	nee											0-8	
Baars	ja			5-19									
Barbeel	ja					8-29							
Beekforel	nee											1-13	
Beekprik	nee				10-15								
Bermpje	nee				14-20								
Bittervoorn	ja				14-20								
Blankvoorn	ja					8-22							
Bot	nee												
Brasem	ja				12-23								
Driedoornige stekelbaars	ja				5-20								
Elft	nee												
Elrits	ja				7-22								
Europese meerval	ja					18-20							
Fint	ja												
Gestippelde alver	ja					12-24							
Giebel	ja				15-24								
Grote modderkruiper	ja				13-24								
Houting	ja											5-7	
Karper	ja					12-30							

Kleine modderkruiper	ja				18-26								
Kolblei	ja					14-25							
Kopvoorn	ja				12-20								
Kroeskarper	ja					14-22							
Kwabaal	ja											0-8	
Pos	ja			6-18									
Rivierdonderpad	ja		7-14										
Riviergrondel	ja				12-17								
Rivierprik	ja				> 8,5								
Ruisvoorn	ja				14-28								
Serpeling	ja		5-14										
Sneep	ja				7-16								
Snoek	ja		0-23										
Snoekbaars	ja				8-22								
Spiering	ja		4-12										
Tiendormige stekelbaars	ja												
Vetje	nee				16-25								
Vlagzalm	nee			6-15									
Winde	ja			4-15									
Zeeforel	nee											1-8	
Zeelt	ja					16-32							
Zeeprik	ja						25						

Bijlage 4. Paaiperiode en paaitemperatuur vissen II

Bijlage 4a

Paaiperiode en paaitemperatuur. Samengesteld uit de reviews (Verdonschot et al. 2007, Van Emmerik en De Nie 2006, Carvalho et al. 2002, Mann 1996), aangevuld met waarden uit ander bronnen (Maitland 2003, Maitland en Hatton-Ellis 2003, Alabaster en Lloyd 1982, Van Emmerik 2004).

Aangegeven staat per maand voor hoeveel soorten van de maatlaten voor R7 en R8 (die in die maand hun paaiperiode hebben) er een bepaalde maximumpaaitemperatuur is. Niet opgenomen in de tabel zijn soorten die niet op de maatlat staan, soorten die niet in (het Nederlandse deel van) de grote rivieren paaïen en soorten waarvoor geen waarden voor paaitemperatuur gevonden zijn.

temp	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
0												
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7											1	1
8	1	1	1								1	1
9												
10												
11												
12		1	1	1								
13												
14		2	2	2	2	1	1					
15			1	1	1							
16				1	1	1						
17				1	1	1	1					
18												
19												
20				3	3	3	2					
21												
22					1	1	1					
23												
24				1	1	1						
25						1	1					
26				1	1	1	1					
27												
28				2	2	2	2					
29					1	1	1					
30												
31												
32					1	1	1	1				

Bijlage 4b

Paaiperiode en paaitemperatuur. Samengesteld uit de reviews (Verdonschot et al. 2007, Van Emmerik en De Nie 2006, Carvalho et al. 2002, Mann 1996), aangevuld met waarden uit ander bronnen (Maitland 2003, Maitland en Hatton-Ellis 2003, Alabaster en Lloyd 1982, Van Emmerik 2004).

Aangegeven staat per maand voor hoeveel soorten van de maatlat voor R16 (die in die maand hun paaiperiode hebben) er een bepaalde maximumpaaitemperatuur is. Niet opgenomen in de tabel zijn soorten die niet op de maatlat staan, soorten die niet in (het Nederlandse deel van) de grote rivieren paaien en soorten waarvoor geen waarden voor paaitemperatuur gevonden zijn.

temp	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
0												
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7											1	1
8	1	1	1								1	1
9												
10												
11												
12												
13												
14		2	2	2	2	1	1					
15			1	1	1							
16				1	1	1						
17				1	1	1	1					
18												
19												
20				2	2	2	1					
21												
22				1	2	2	2	1				
23												
24				1	2	2	1					
25						1	1					
26				1	1	1	1					
27												
28				2	2	2	2					
29					1	1	1					
30												
31												
32					1	1	1	1				

Bijlage 5. Maatlatgrenzen vissen grote riviertypen

De tabel geeft de maatlatgrenzen voor de drie deelmaatlaten (Jaarsma et al. 2007). Per type en per deelmaatlat is het minimaal aantal soorten of minimale relatieve aandeel gegeven dat resulteert in een score in kolom 2. Bij de drie deelmaatlaten voor aantallen soorten levert een lager aantal dan vermeld bij score 0,3 een score van 0,1 op. Tussenliggende aantallen leveren dezelfde score op als het lagere vermelde aantal. Bij de twee deelmaatlaten voor relatieve dichtheid levert afwezigheid een score 0,0 op en 100% een score 1,0. Binnen de klassen verloopt de score lineair met de dichtheid. Bij de relatieve dichtheid van limnofiele soorten levert afwezigheid ook een score 0,0 op. De grenswaarde 0,0 bij score 0,2 dient slechts om de score in het interval 0,2-0,4 te kunnen berekenen. Scores tussen 0,0 en 0,2 en van precies 0,2 zijn niet mogelijk.

	EKR	R7	R8	R16
Rheofiel, aantal soorten	0,3	10	10	14
	0,5	12	12	16
	0,7	15	15	19
	0,9	17	17	21
Diadroom, aantal soorten	0,3	3	5	1
	0,5	5	7	3
	0,7	8	10	6
	0,9	10	12	8
Limnofiel, aantal soorten	0,3	1	1	1
	0,5	2	2	2
	0,7	4	4	4
	0,9	6	6	6
Rheofiel, relatieve dichtheid	0,2	10	5	20
	0,4	20	15	30
	0,6	30	25	40
	0,8	40	35	50
Limnofiel, relatieve dichtheid	0,2	1	1	0,1
	0,4	5	5	1
	0,6	10	10	3
	0,8	15	15	5

Bijlage 6. Gildenindeling vissen grote riviertypen

Overzicht van soorten gebruikt in de deelmaatlaten soortensamenstelling en abundantie voor de grote riviertypen (Jaarsma et al. 2007).

Verklaring van de letters:

R = Rheofiel

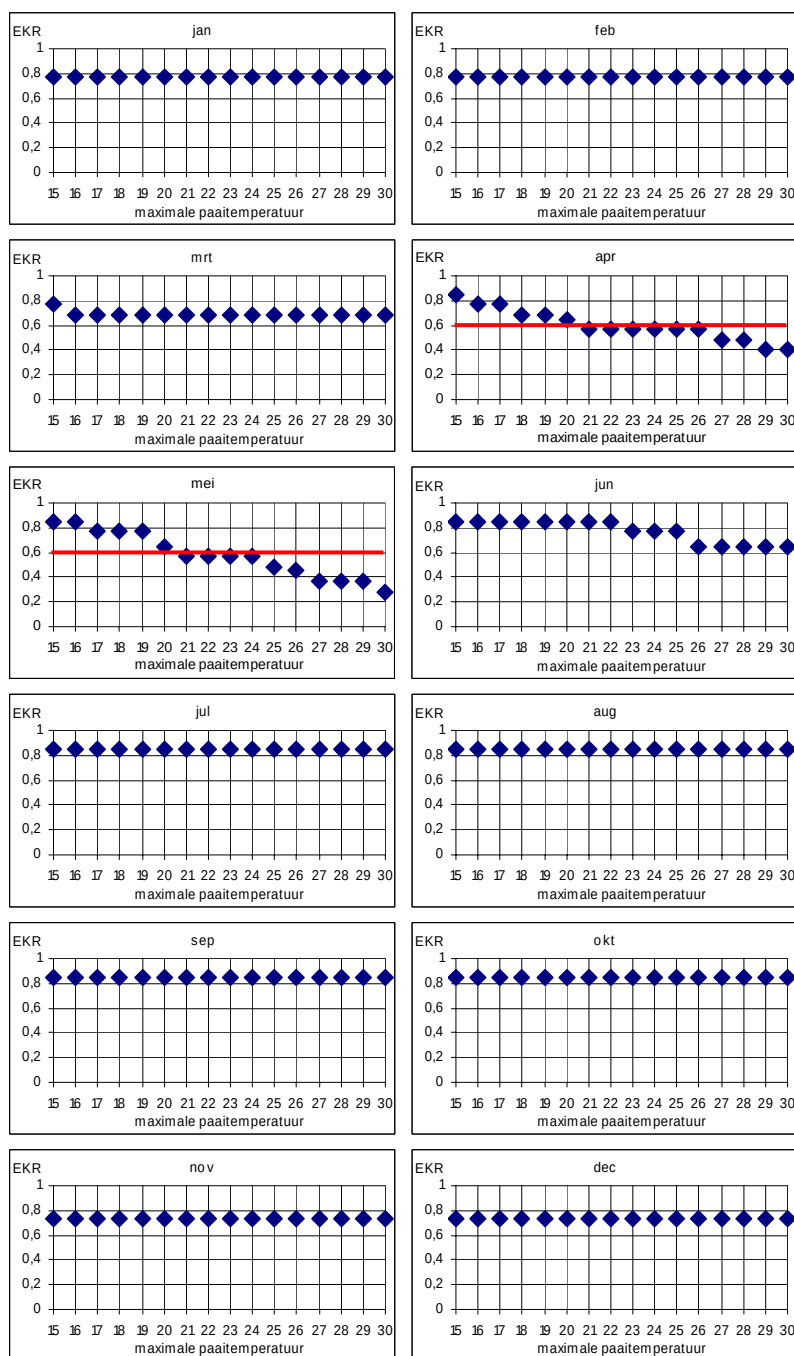
D = Diadroom

L = Limnofiel

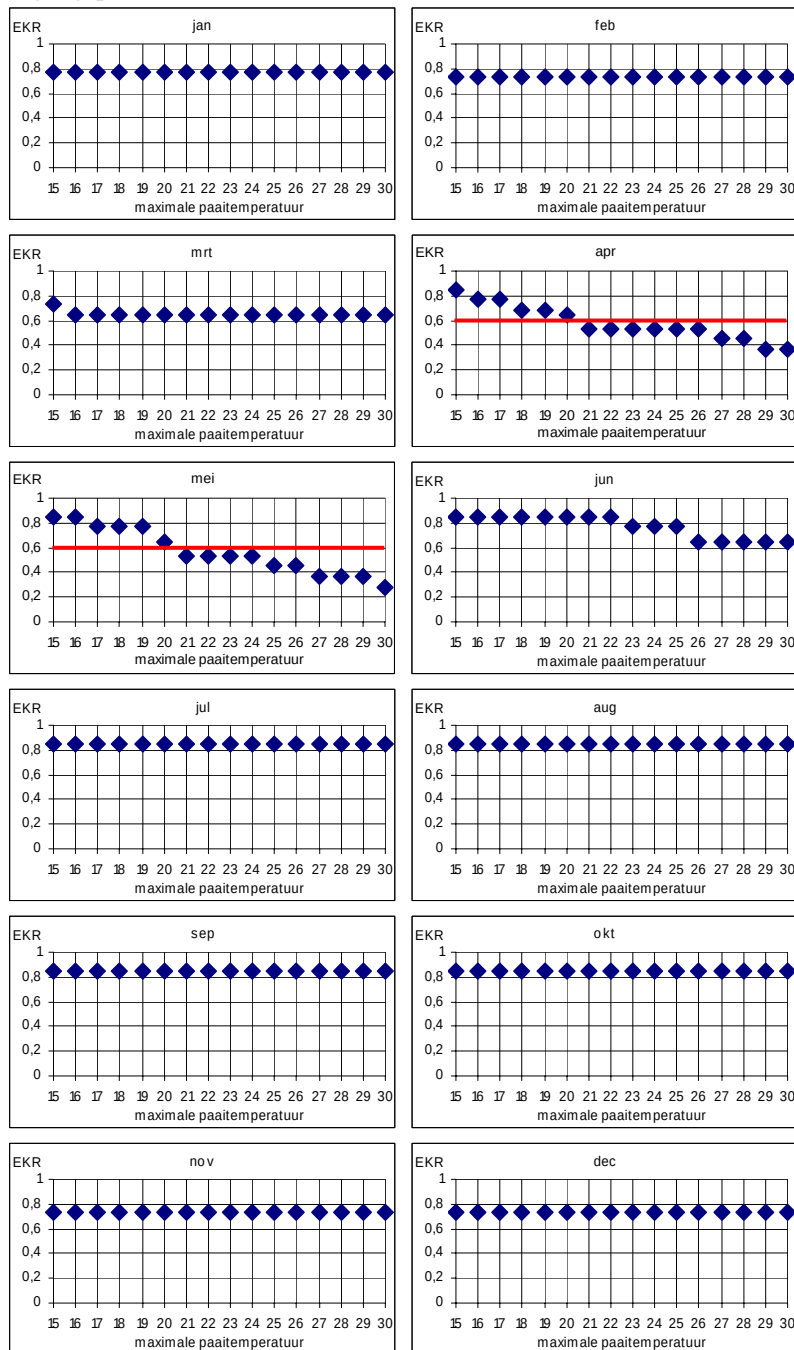
	R7	R8	R16
Aal	D	D	D
Alver	R	R	R
Barbeel	R	R	R
Beekforel			R
Bermpje			R
Bittervoorn	L	L	L
Bot	D	D	
Driedoornige stekelbaars	D	D	
Elft	RD	RD	RD
Elrits			R
Fint		D	
Gestippelde alver			R
Grote modderkruiper	L	L	L
Houting	RD	RD	RD
Kleine modderkruiper	R	R	R
Kopvoorn	R	R	R
Kroeskarper	L	L	L
Kwabaal	R	R	R
Rivierdonderpad	R	R	R
Riviergrondel	R	R	R
Rivierprik	RD	RD	RD
Ruisvoorn	L	L	L
Serpeling	R	R	R
Sneep	R	R	R
Spiering		D	
Steur	RD	RD	RD
Vetje	L	L	L
Winde	R	R	R
Zalm	RD	RD	RD
Zeeforel	RD	RD	RD
Zeelt	L	L	L
Zeeprik	RD	RD	RD

Bijlage 7. EKR-score op vissenmaatlat per maand

EKR-score op maatlat R7 uiterekend op basis van beschikbare data voor temperatuurmaxima tijdens de paaiperiode. Wanneer de EKR onder de 0,6 valt is dit aangegeven met een rode lijn. Voor uitgangspunten en aannames zie tekst.



EKR-score op maatlat R8 uitgerekend op basis van beschikbare data voor temperatuurmaxima tijdens de paaiperiode. Wanneer de EKR onder de 0,6 valt is dit aangegeven met een rode lijn. Voor uitgangspunten en aannames zie tekst.



EKR-score op maatlat R16 uitgerekend op basis van beschikbare data voor temperatuurmaxima tijdens de paaiperiode. Wanneer de EKR onder de 0,6 valt is dit aangegeven met een rode lijn. Voor uitgangspunten en aannames zie tekst.

