

Literatuuronderzoek

Verwachte effecten van temperatuurstijging op de anadrome Natura 2000-vissoorten



Verwachte effecten van temperatuurstijging op de anadrome Natura 2000-vissoorten

Sportvisserij Nederland

projectnummer: KI201104

Door:

W.A.M. van Emmerik & J. Quak

19 augustus 2013



Leijenseweg 115
Postbus 162
3720 AD Bilthoven
Telefoonnr.: 030-6058400
Faxnr.: 030-6039874

Statuspagina

Titel	Verwachte effecten van temperatuurstijging op de anadrome Natura 2000-vissoorten
Opdrachtgever	Sportvisserij Nederland Postbus 162 3720 AD BILTHOVEN
Telefoon	030-605 84 00
Telefax	030-603 98 74
E-mail	info@sportvisserij nederland.nl
Homepage	www.sportvisserij nederland.nl
Auteurs	W.A.M. van Emmerik & J. Quak
Met bijdragen van	P. van Puijenbroek (Planbureau voor de Leefomgeving)
E-mailadres	emmerik@sportvisserij nederland.nl
Aantal pagina's	34
Trefwoorden	Klimaatverandering, temperatuur, Natura 2000, reofiele vissoorten, anadrome vissoorten, Atlantische zalm, elft, fint, zeeprik, rivierprik
Versie	definitief
Projectnummer	KI201104
Datum	19 augustus 2013

Bibliografische referentie: Van Emmerik, W.A.M. & Quak, J., 2013. Verwachte effecten van temperatuurstijging op de anadrome Natura 2000-vissoorten. Sportvisserij Nederland, Bilthoven.

© Sportvisserij Nederland, Bilthoven

Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de copyrighthouder en de opdrachtgever.

Sportvisserij Nederland is niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede schade welke voortvloeit uit toepassing van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Sportvisserij Nederland.

Samenvatting

Sinds 1910 is de gemiddelde jaarwatertemperatuur in de Rijn met bijna 3°C graden gestegen en in de Maas met 2,5°C. Met deze stijging nam ook het aantal dagen per jaar dat de temperatuur boven de 20°C is sterk toe en ook komt de watertemperatuur nu regelmatig boven de 25°C. Het aantal dagen dat 's winters de temperatuur beneden de 5°C komt, is sterk afgenomen.

De verwachting is dat de (water)temperatuur de komende eeuw verder zal stijgen. De KNMI-klimaatscenario's gaan uit van een toename van de temperatuur van bijna 2 tot ruim 7 °C.

Doel van het onderzoek was een inschatting te geven van de effecten van een temperatuurstijging in de Nederlandse rivieren voor de anadrome Natura 2000-vissoorten (Atlantische zalm, rivierprik, zeebek, elft en fint). Er is informatie verzameld over de temperatuurtolerantie per soort voor de verschillende levensfasen die in de grote rivieren in Nederland worden doorgebracht. De uitkomsten daarvan zijn vergeleken met de geprognoseerde watertemperatuurstijgingen voor 2100 (klimaat-scenario's van +2°C en +5°C).

De temperaturoptima en -toleranties verschillen per vissoort. Voor elk van de soorten geldt dat wanneer de temperatuur zodanig toeneemt dat deze niet langer optimaal is dat de vis zich zal moeten aanpassen. Naast fysiologische aanpassingen kunnen aanpassingen plaatsvinden:

- in de tijd: de vis blijft in hetzelfde stroomgebied maar past de periode in het jaar van bepaalde fases van de levenscyclus aan. Hieraan kleven bezwaren in de zin van biotische (zoals competitie) en abiotische factoren die het de soort mogelijk moeilijk maken om zich te handhaven;
- in de ruimte: de vis schuift op binnen het stroomgebied – stroomopwaarts naar kouder water voor zover mogelijk – of naar een meer noordelijk gelegen (deel)stroomgebied. Deze aanpassingen zijn gebonden aan de mogelijkheid om zich te kunnen verplaatsen naar andere locaties, gezien de aanwezigheid van natuurlijke en onnatuurlijke barrières. Daarnaast is het is de vraag of de soort zich snel genoeg kan aanpassen en niet bijvoorbeeld gehinderd wordt door het 'homing' instinct. Ook hier kan de aanwezigheid van andere (vis)soorten (predatie, competitie) problemen opleveren.

Wanneer de rek eruit is en de vis zich niet meer kan aanpassen zal er een negatief effect op de fitness, overleving en/of abundantie van de populatie of de soort optreden.

Er zijn veel onzekerheden over de effecten die zullen optreden als gevolg van temperatuurstijgingen. Er zijn over het algemeen geen harde temperatuurtolerantiegrenzen en de grenzen die men vindt zijn afhankelijk van de acclimatisatieomstandigheden en -duur.

Naast de directe effecten van een hoge temperatuur op de fysiologie en het gedrag van de vis spelen ook andere zaken mee, zoals het mogelijk optreden van 'mismatches', veranderingen in de interspecifieke competitie

en de abundantie van voedsel(organismen). De uitwerking van deze verschijnselen op de vissoorten is moeilijk in te schatten.

Ondanks deze onzekerheden is gezien de temperatuurgevoeligheid van de vissoorten de verwachting dat er bij de voorspelde temperatuurstijgingen wel negatieve effecten kunnen optreden.

Op grond van de verzamelde informatie wordt verwacht dat voor de zalm en mogelijk rivierprik in het +2°C scenario een negatief effect optreedt (voor de zalm zijn de huidige temperaturen mogelijk ook al nadelig).

Het +5°C scenario kan voor drie van de vijf onderzochte soorten (zalm, rivierprik, en zeeprik) een negatief effect hebben. De fint en de elft zijn warmteminnende soorten waarvoor op zich ook het warmste scenario nog positief kan uitpakken. Andere onderzoeken hebben echter laten zien juveniele fase in het estuarium bij deze soorten kwetsbaar is omdat er beperkt tijdsvenster is waarbinnen de levensfase gunstig kan worden doorlopen. Daarom is een negatief effect niet uitgesloten.

Het ligt het voor de hand dat bij een respons van individuele vissoorten op temperatuurstijging, dit ook zal doorwerken in de visgemeenschap.

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	8
1.1	Vraagstelling en afbakening	8
1.2	Achtergrond.....	8
1.3	Werkwijze.....	12
2	Temperatuurtolerantieranges	14
2.1	Vissen en temperatuurranges.....	14
2.2	Voorkomende levensstadia	14
2.3	Atlantische zalm (<i>Salmo salar</i> , Linnaeus, 1758).....	15
2.3.1	Zeewaartse migratie smolt.....	15
2.3.2	Stroomopwaartse migratie adulte zalm.....	16
2.4	Zeeprik (<i>Petromyzon marinus</i> , Linnaeus, 1758).....	17
2.4.1	Larvale stadium.....	17
2.4.2	Juveniel (migratie naar zee).....	18
2.4.3	Adult (paaimigratie stroomopwaarts)	18
2.5	Rivierprik (<i>Lampetra fluviatilis</i> , Linnaeus, 1758)	18
2.5.1	Ei/larve	18
2.5.2	Juveniel – migratie zeewaarts	18
2.5.3	Adult en paaimigratie	19
2.5.4	Voortplanting	19
2.6	Elft (<i>Alosa alosa</i> , Linnaeus, 1758).....	19
2.6.1	Juveniel stadium en migratie naar zee.....	19
2.6.2	Stroomopwaartse migratie adult.....	19
2.7	Fint (<i>Alosa fallax fallax</i> , Lacépède, 1803).....	20
2.7.1	Ei/larve	20
2.7.2	Juvenile fase en migratie naar estuarium/zee	20
2.7.3	Stroomopwaartse migratie adulten	21
2.7.4	Voorplanting	21
3	Analyse effecten van temperatuurstijging	22
3.1	Effecten van temperatuurstijging op de afzonderlijke vissoorten.....	22
3.1.1	Zalm	22
3.1.2	Zeeprik	23
3.1.3	Elft	24
3.1.4	Fint.....	24
3.1.5	Rivierprik.....	23
3.2	Inschatting effecten temperatuurstijging op de vijf soorten	25
3.3	Discussie	26
4	Verklarende woordenlijst	29
	Gebruikte literatuur	30
	Bijlage Klimaatscenario's 2100.....	33

1 Inleiding

1.1 Vraagstelling en afbakening

De vraagstelling van dit beknopte onderzoek is als volgt:

- Kan een inschatting worden gegeven van de effecten van een temperatuurstijging in de Nederlandse rivieren voor de anadrome Natura 2000-vissoorten?

Afbakening

- Watertypen – het onderzoek is beperkt tot de grote rivieren in Nederland (Rijn en Maas);
- Vissoorten – het onderzoek is beperkt tot de Natura 2000-visdoelsoorten (reofiele trekvissoorten) van stromende wateren (grote rivieren): Atlantische zalm, zeeprik rivierprik, elft en fint;
- Levensstadia doelvissoorten – het onderzoek is beperkt tot die levensstadia van bovengenoemde visdoelsoorten die in de Nederlandse grote rivieren worden doorgebracht;
- Prognose veranderingen watertemperatuur - er is uitgegaan van een stijging van 2 of 5°C ten opzichte van de huidige gemiddelde waarde;
- Andere randvoorwaarden worden (grotendeels) buiten beschouwing gelaten, zoals mogelijkheden voor migratie, waterchemie, de aanwezigheid van een geleidelijke zoet-zout gradiënt / estuarium, temperatuurtolerantie van andere vissoorten en andere soorten in het voedselweb, duurzaamheid van de visserij en exoten.

1.2 Achtergrond

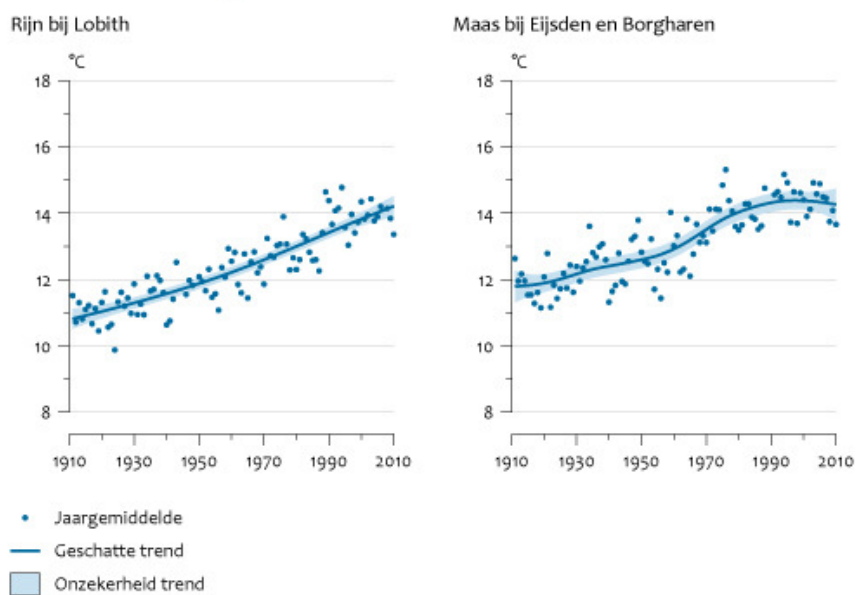
Temperatuursveranderingen in de afgelopen eeuw

Onderstaande informatie is afkomstig van het Planbureau voor de Leefomgeving in samenwerking met het Centraal Bureau voor de Statistiek en Wageningen UR (CBS/PBL/WUR, 2009, 2012).

Sinds 1910 is de gemiddelde jaarwatertemperatuur in de Rijn met bijna 3°C graden gestegen en in de Maas met 2,5°C (zie Figuur 1.1). Met deze stijging nam ook het aantal dagen dat de temperatuur boven de 20°C is, sterk toe, van ongeveer 20 in 1910 naar ruim 80 in 2010 (zie Tabel 1.1 en Figuur 1.2).

Ook komt de temperatuur nu regelmatig boven de 25°C (zie Tabel 1.1). Het aantal dagen dat 's winters de temperatuur beneden de 5°C komt, neemt sterk af (zie Figuur 1.3). In sommige winters wordt deze lage temperatuur al niet meer bereikt.

Gemiddelde watertemperatuur



Bron: Waterbase; Aqualarm.

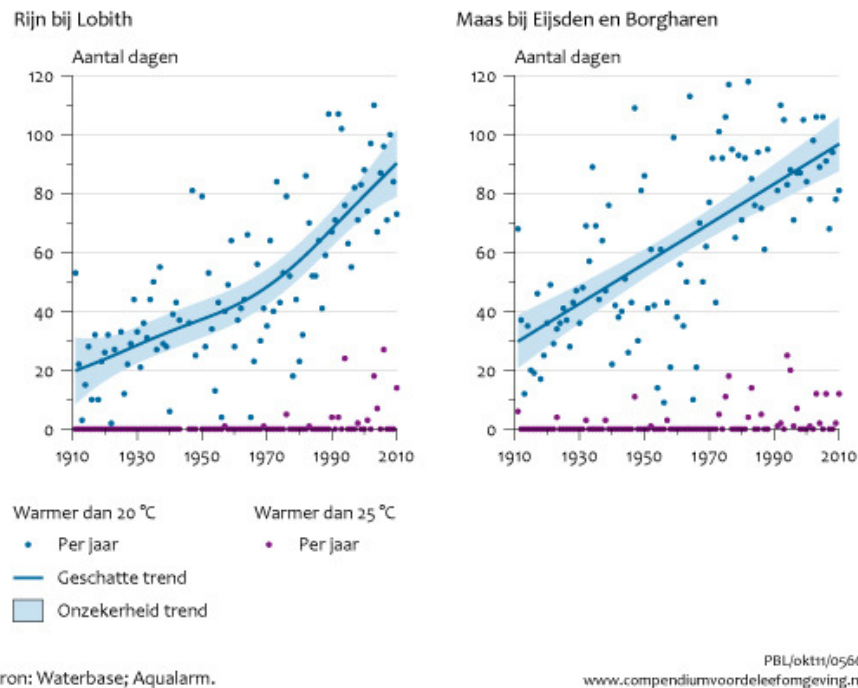
PBL/okttt/0566
www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

Figuur 1.1 Gemiddelde watertemperatuur per jaar van 1910 tot 2010 in de Rijn bij Lobith en de Maas bij Eijsden en Borgharen (bron: Waterbase, Aqualarm).

Tabel 1.1 Enkele watertemperatuurdata van de Rijn en de Maas van 1911-1920 en 2000 tot 2010 (bron: CBS, PBL, Wageningen UR, 2009).

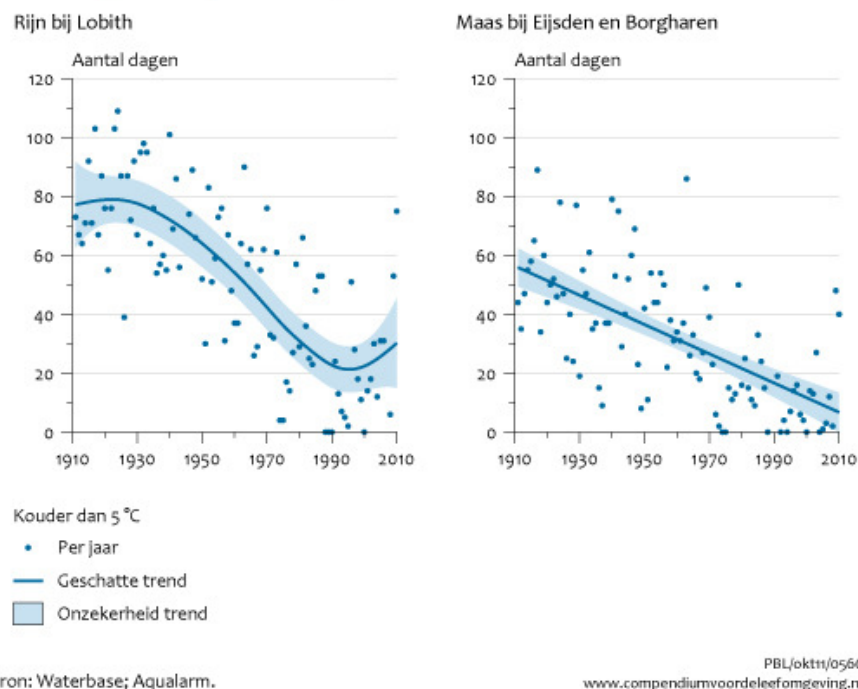
	Rijn bij Lobith		Maas bij Eijsden	
	1911-1920	2001-2010	1911-1920	2001-2010
Jaargemiddelde	11,0	13,9	11,8	14,3
Aantal dagen				
hoger dan 5°C	77	30	53	16
hoger dan 20°C	22	86	32	89
hoger dan 25°C	0	7	1	4

Aantal dagen met hoge watertemperatuur

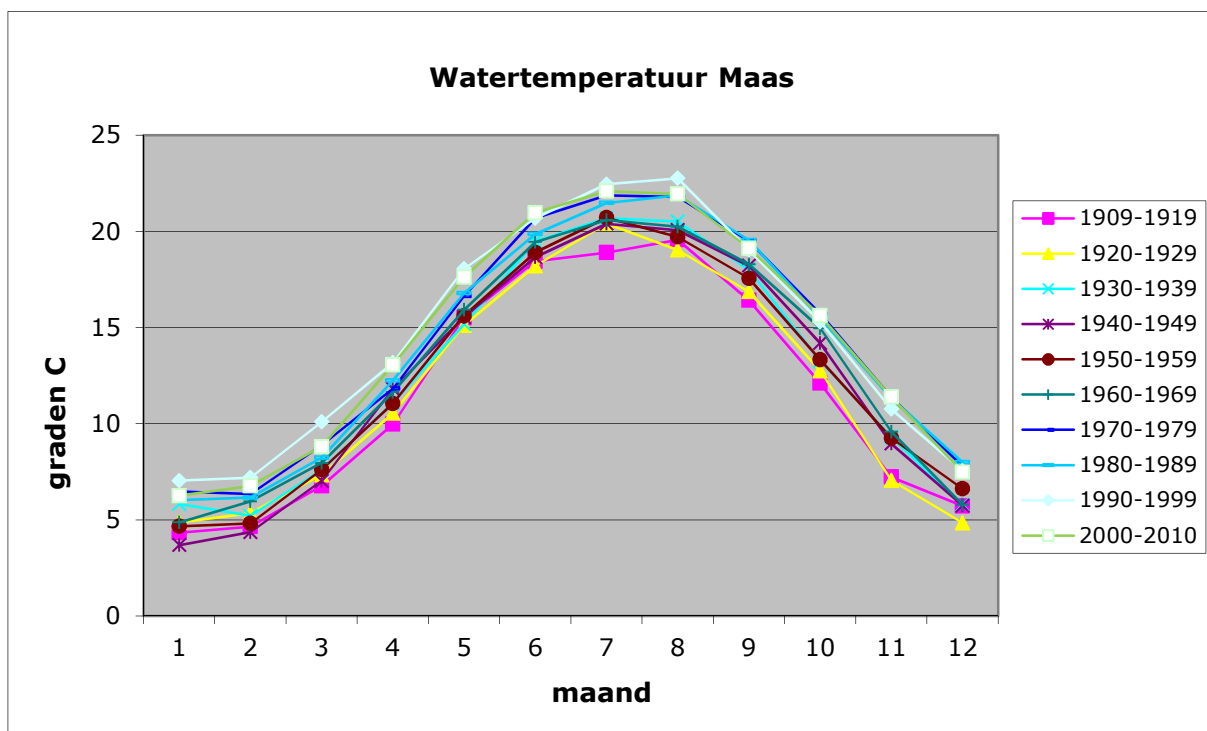
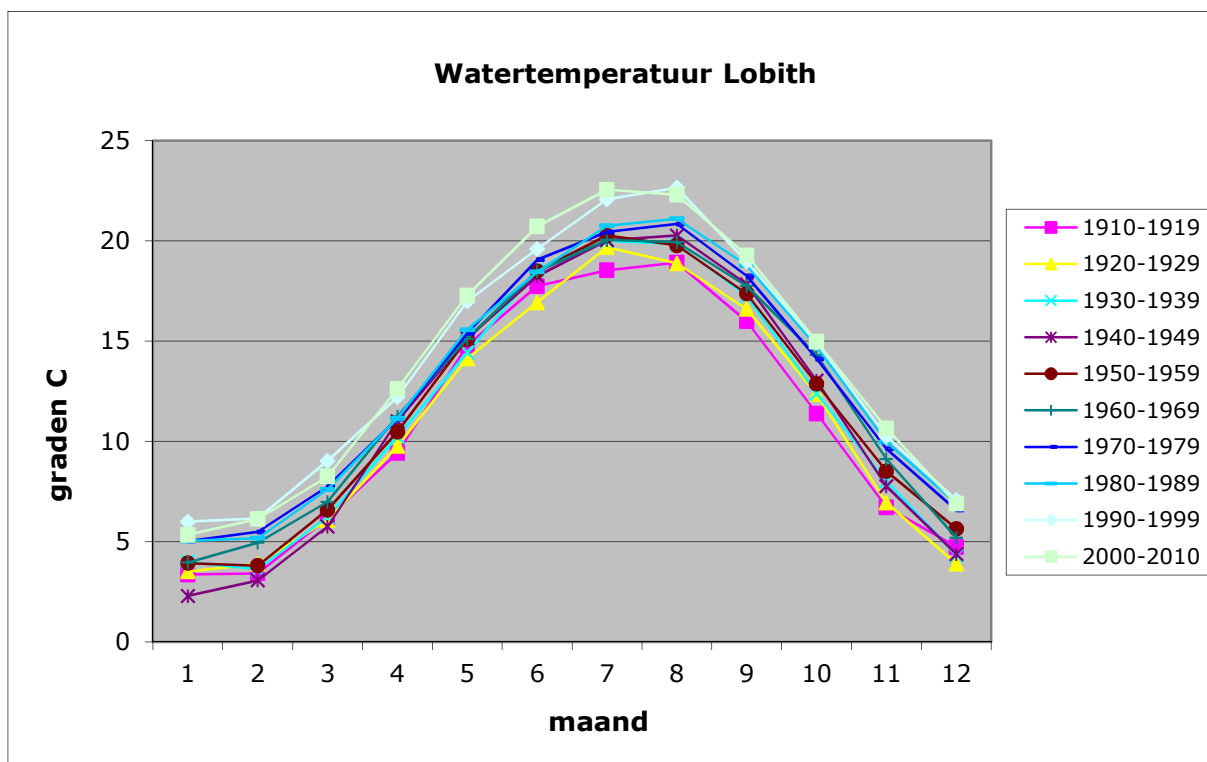


Figuur 1.2 Aantal dagen per jaar met een watertemperatuur boven de 20°C (blauwe stippen) en 25°C (paarse stippen) van 1910 tot 2010 in de Rijn bij Lobith en de Maas bij Eijsden en Borgharen (bron: Waterbase, Aqualarm).

Aantal dagen met lage watertemperatuur



Figuur 1.3 Aantal dagen per jaar met een watertemperatuur onder de 5°C van 1910 tot 2010 in de Rijn bij Lobith en de Maas bij Eijsden en Borgharen (bron: Waterbase, Aqualarm).



Figuur 1.4 Maandtemperaturen, gemiddeld per decennium van 1909 tot 2010 in de Rijn bij Lobith (boven) en de Maas (onder) (bron: Van Puijenbroek, ongepubliceerd).

De stijging van de watertemperatuur wordt veroorzaakt door de lozing van koelwater door energiecentrales en dergelijke en door de stijging van de luchttemperatuur (de luchttemperatuur is sinds 1910 met 1,7°C gestegen). Ongeveer twee derde deel van de stijging van de afgelopen eeuw in de grote rivieren wordt veroorzaakt door de toename van de

lozing van koelwater. Sommige energiecentrales hebben koeltorens om water te koelen, maar het gebruik hiervan kost rendement voor de koeling.

Als de watertemperatuur boven de 25°C is, leidt dat tot beperkingen in de lozing van koelwater. Voor het lozen van koelwater in rivieren zijn de normen dat het water maximaal 3°C mag opwarmen tot een maximum van 28°C met uitzondering van de mengzone. In de mengzone mag de temperatuur toenemen tot 30°C, waarbij de mengzone maximaal 25% van het dwarsprofiel beslaat. Voor kanalen, estuaria en de Noordzee gelden iets andere eisen.

Doelstelling temperatuur in KRW

De watertemperatuur is onderdeel van de fysisch-chemische beoordeling van de KRW. Voor de meeste wateren geldt een norm (goede ecologische toestand of GET) van een maximale dagtemperatuur van 25°C. Alleen voor het watertype 'langzaam stromende bovenlopen' geldt een maximale temperatuur van 18°C, maar deze norm is bij verschillende waterlichamen verhoogd tot 20 of 25°C (goed ecologische potentieel of GEP).

De maximale temperatuur van 28°C geldt voor water voor karperachtigen, voor water voor zalmachtigen geldt een maximum van 21,5°C (Besluit Kwaliteitseisen en Monitoring Water, 2009). Van de grote rivieren was alleen de Grensmaas als water voor zalmachtigen aangewezen, maar vanwege de lage rivierafvoer en de hoge temperaturen is deze functie niet meer toegekend in de huidige beoordeling. Voor de drinkwaterinnamepunten geldt een maximum temperatuur van 25°C.

Verwachting temperatuurstijging tot 2100

De verwachting is dat de komende tijd de (water)temperatuur verder zal gaan stijgen. De KNMI klimaatscenario's gaan uit van een toename van de temperatuur tot 2100 van 1,8 tot 4,6 °C in de winter en 1,7 tot 5,8 °C in de zomer. De maximale temperatuur zou kunnen stijgen met 2,1 tot 7,6 °C. Deze temperatuurveranderingen zijn berekend vanaf het gemiddelde van 1976 tot 2005 (Van den Hurk et al., 2006; zie ook de bijlage).

De zomertemperatuur zou mogelijk minder kunnen stijgen doordat elektriciteitscentrales omschakelen van koelwater op koeltorens. Maar voor een groot deel van het jaar zal koelwater gebruikt blijven worden en de temperatuur verder stijgen.

De grote variatie in de trendschattingen zowel voor de jaargemiddelden als in de verschillende perioden van het jaar laat zien dat er grote onzekerheden zijn over de temperatuurstijging in de komende eeuw. Bij de inschatting van de effecten op de N2000 riviertrekvisserij is uitgegaan van twee klimaatscenario's met een temperatuurstijging van 2 en 5°C.

1.3 Werkwijze

Literatuuronderzoek

1. De temperatuurtolerantierange per soort en betreffende levensfase die wordt doorgebracht in de grote rivieren in Nederland, is op een rij gezet. Hiervoor is informatie gebruikt van, voor zover beschikbaar, de

informatie in de kennisdocumenten voor de individuele vissoorten en de bibliotheek van Sportvisserij Nederland. Daarnaast is een abstract search gedaan naar actuele gegevens in Aquatic Science and Fisheries Abstracts, waarbij is gefocust op West-Europees onderzoek. Ook is op internet gezocht met Google Scholar.

2. De uitkomsten van 1. worden vergeleken met de geprognoseerde watertemperatuurstijgingen. Per soort is ingeschat of de betreffende temperatuurstijging een positief, negatief, neutraal of onbekend effect heeft op de in Nederland verblijvende levensstadia van de betreffende vissoorten. Tevens wordt een aantal onzekerheden en beperkingen besproken.

2 Temperatuurtolerantieranges

2.1 Vissen en temperatuurranges

Vissen zijn ectotherm (koudbloedig) en hun metabolisme is direct of indirect afhankelijk van de watertemperatuur. De grenzen waarbinnen een vis zich kan aanpassen en/of overleven verschillen per soort. Door zich te bewegen tussen verschillende (micro)habitats kiezen ze de meest geschikte temperatuur.

De temperatuurrange waarbinnen een vissoort kan overleven wordt begrensd door een letale maximumtemperatuur en een letale minimumtemperatuur: als deze grenzen worden overschreden gaat de vis binnen korte tijd dood. Deze letale grenzen liggen echter niet absoluut vast. Als een vis een acclimatisatieperiode heeft kunnen deze minima en maxima met een paar graden verhoogd of verlaagd worden. Er treden dan bepaalde fysiologische veranderingen op in de vis waardoor zijn metabolisme wordt aangepast aan de nieuwe temperatuur.

Behalve de harde letale grenzen is er ook een subleetaal gebied, waarin de vis niet direct doodgaat, maar bij een langere blootstelling wel.

En er is nog een suboptimale range die niet leetaal is voor de vis, maar waarbij de groei en/of reproductie verminderd is.

Er is eigenlijk maar een smalle zone waarin fysiologisch gezien de vis optimaal functioneert – het optimumgebied (Ficke *et al.*, 2005; Verdonschot *et al.*, 2007).

De effecten die optreden als gevolg van temperatuurstijgingen zijn afhankelijk van de temperatuureisen die vissoorten aan hun milieu stellen. Voor vissoorten met een laag temperatuuroptimum zal een temperatuurstijging een negatief effect hebben, vissoorten met een hoger temperatuuroptimum kunnen mogelijk profijt hebben van temperatuurstijging.

Bij een toename van de watertemperatuur daalt de zuurstofconcentratie van het water, wat op zich al nadelig is voor vissen. Daar komt bij dat vissen als gevolg van een hogere activiteit meer zuurstof nodig hebben bij hogere temperaturen. Een toename van vissterfte bij een hogere temperatuur is dan ook vaak een gevolg van zuurstoftekort en niet direct door de temperatuurverhoging zelf.

2.2 Voorkomende levensstadia

In Tabel 2.1 is weergegeven welke levensstadia van de reofiele Natura 2000-vissoorten op de Nederlandse rivieren voorkomen.

In de navolgende paragrafen is uitgewerkt wat de temperatuureisen /-wensen zijn van deze soorten en levensstadia.

Tabel 2.1 Vissoorten en levensstadia die voorkomen op de Nederlandse grote rivieren (tussen haakjes wordt aangegeven of het alleen gaat om migratie)

soort	levensstadia			
	<i>ei/larve</i>	<i>juveniel</i>	<i>adult</i>	<i>paai</i>
zalm	-	+ (smolt, migratie naar zee)	+ (migratie stroomopwaarts)	-
fint	+	+	+	+
elft	-	+	+ (migratie stroomopwaarts)	-
rivierprik	+	+	+ (migratie stroomopwaarts)	+
zeeprik	ei -, larve ±	+	+ (migratie stroomopwaarts)	-

+ komt wel voor, - komt niet voor, ± mogelijk in kleine aantallen

2.3 Atlantische zalm (*Salmo salar*, Linnaeus, 1758)

De watertemperatuur is belangrijk voor alle levensfasen van de zalm. De zalm is een warmtemijdende soort. In het algemeen geldt dat in onze gematigde streken een temperatuur van 0°C en 23°C ongeveer de onder- en bovengrens vormen voor de zalm. De precieze maximum watertemperatuur (letale limiet) die een zalm kan verdragen hangt echter af van het levensstadium en de tijdsduur van gewenning.

2.3.1 Zeewaartse migratie smolt

De smoltmigratie vindt plaats in het voorjaar tot de vroege zomer.

Smoltificatie

De groei en de energetische status van de jonge zalm (parr) in het najaar bepalen of deze in het daarop volgende voorjaar gaat smoltificeren en naar zee migreert, dan wel de smoltificatie uitstelt of geslachtsrijp wordt in zoet water (mannetjes) (refs. in Thorstad *et al.*, 2012).

Het opstarten van het smoltificatieproces wordt beïnvloed door de lichtperiode (toename daglengte) en watertemperatuur. Als de smolts eenmaal fysiologisch zijn voorbereid, is een omgevingstrigger nodig om de stroomafwaartse migratie te initiëren (refs. in Quak, 2012).

Waterafvoer en temperatuur

De belangrijkste prikkels voor de stroomafwaartse migratie zijn de afvoer (debiet) en de watertemperatuur. Deze factoren kunnen een variabele invloed hebben en voor verschillende populaties op verschillende manieren de migratie stimuleren. Sommige populaties zijn temperatuur gestuurd, voor andere is de stijgende waterafvoer (smeltwater) de meest sturende factor.

Uit onderzoek in de Rijn in 2008 met gemerkte smolts, bleek dat pieken in de migratie (het aantal registraties van gemerkte smolts) steeds volgden enkele dagen na pieken in de afvoer (Spierts *et al.*, 2008).

Volgens verschillende auteurs wordt de zeewaartse migratie mede geïnduceerd door een toename van de riviertemperatuur, hoewel geografische verschillen in drempelwaarden voor temperatuur bestaan. In noordelijke streken vertrekken smolts bij lagere temperaturen naar zee

dan in bijvoorbeeld Ierse wateren waar de temperatuur hoger is (diverse refs. in De Laak, 2007).

Letale en optimale temperatuur

Volgens Zydlewski *et al.*, (2005) wordt de timing van de migratie bepaald door het aantal temperatuurdagen (som van de temperatuur in °C x aantal dagen) dat door de smolts wordt ervaren.

De smolts bouwen in deze periode ook een zouttolerantie op die samenhangt met het aantal temperatuurdagen. Als dit getal echter te hoog wordt (dat wil zeggen bij een hoge temperatuur van het rivierwater) neemt de zouttolerantie van de smolt weer af en kan het dier uiteindelijk weer terug ontwikkelen naar het parr stadium (McCormick *et al.* 2009). Soms verdwijnt ook het stroomafwaarts trekkende gedrag bij smolts bij hogere temperaturen (refs. in McCormick *et al.* 2009).

Alabaster heeft letale temperaturen bepaald voor smolts in Devon (Engeland). Hieruit blijkt dat de letale temperaturen voor smolts in april op 23,9 (binnen 2 uur) resp. 22,8 (16 uur) °C ligt. In mei liggen de letale waarden circa 1-2 graden hoger (Alabaster, 1967).

De optimale watertemperatuur voor de parr is 16-20°C en voor de post-smolt 13-14°C (Jonsson & Jonsson, 2011). De optimale temperatuur voor de smolt ligt hier tussenin en zal ongeveer 14 tot 18°C zijn.

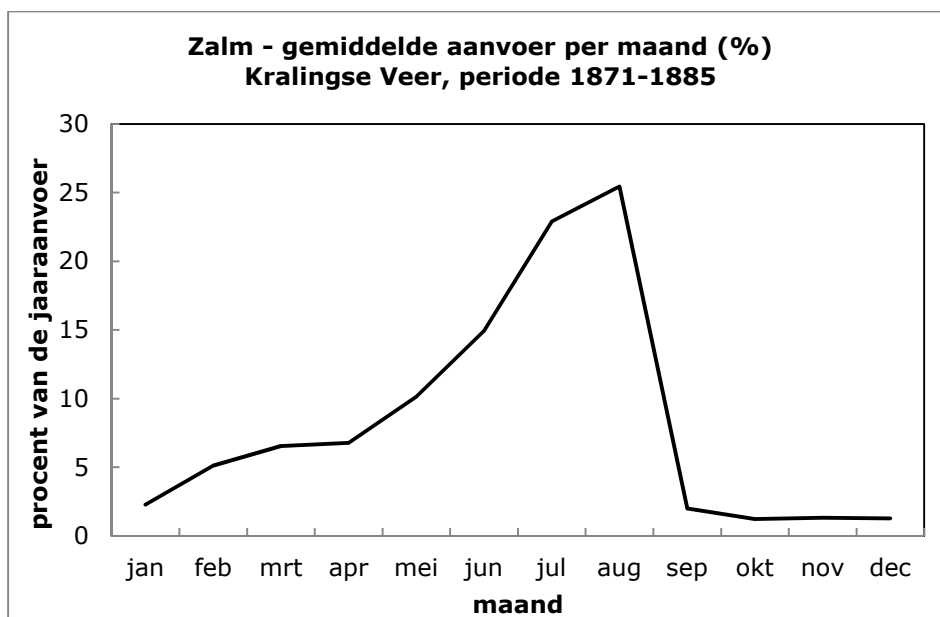
Temperatuur zeewater

Een andere factor die meespeelt is dat de stroomafwaartse migratie gecorreleerd is aan de zeewatertemperatuur; de entree in zee wordt bij voorkeur gemaakt bij een zeewatertemperatuur van 8°C. Dit kan mogelijk verklaard worden door de optimale beschikbaarheid van geschikt voedsel voor de post-smolt bij deze temperatuur (Hvidsten *et al.*, 2009).

Post-smolt overleving in de Noord-Atlantische Oceaan is groter bij een zeeoppervlakttemperatuur van 8-10°C, dan tussen 5-7°C, bij intrek van de zee (refs. in Quak, 2012).

2.3.2 Stroomopwaartse migratie adulte zalm

Uit oude visserijrapportages (op basis van zalmaanvoerdata) is gebleken dat de stroomopwaartse migratie van volwassen zalmen in de historische situatie (voor de grote afname eind 19e-begin 20e eeuw) jaarrond plaatsvond met een piek in de periode van juni tot augustus en een minimum in de periode oktober-december. In de periode januari-mei was er een toename van de intrek zichtbaar (zie Figuur 2.1). De zomeraanvoer bestond vooral uit zalmen met 1-2 zeejaren. De intrek valt vooral samen met hogere rivierafvoeren (Quak, 2010; Quak *et al.*, 2012).



Figuur 2.1 Gemiddelde aanvoer van zalm bij het Kralingse Veer per maand in de periode 1871-1885*, als percentage van de totale jaaraanvoer (bron: refs. in Quak, 2010) *Dit is de periode vóór het Zalmtractaat, waarin een gesloten periode werd ingesteld.

Volgens De Groot (1989) is het voor de intrek vanuit zee van belang dat het verschil tussen de temperatuur van de rivier en zee gering is, anders zou de zalm de stroomopwaartse trek uitstellen. Andere studies geven echter tegengestelde resultaten: daaruit blijkt dit temperatuurverschil geen effect te hebben of juist positief te kunnen zijn (Kerkum *et al.*, 2004).

Peterson (1990, *in* Quak, 1993) vond de Atlantische zalm het meest abundant in stromen met een gemiddelde zomerwatertemperatuur van 18-22 °C. Adulte zalmen ondervinden problemen bij temperaturen van 25°C en hoger, waarbij 28°C letaal is.

2.4 Zeeprik (*Petromyzon marinus*, Linnaeus, 1758)

2.4.1 Larvale stadium

De zeeprik paait (over het algemeen) niet in Nederland maar stroomopwaarts in de Maas en de Rijn. De larven zakken na verloop van de tijd de rivier af. Bij uitzondering komt dit stadium al in de Nederlandse delen van de rivieren terecht.

De larven zijn het meest actief in water van 10-14°C (Thomas, 1962 *in* Maitland, 2003). De beste groei en overleving van de larven vindt plaats bij een temperatuur van 16 tot 21 °C (Howell, 1973 *in* Maitland, 2003). Volgens Reynolds & Casterlin (1978 *in* Maitland, 2003) liggen die grenzen bij 10 en 19°C. Volgens McCauly (1962) in Canadees onderzoek kunnen goed geacclimatiseerde larven temperaturen tot 29°C een week verdragen en tot 27°C voor langere perioden.

De metamorfose van larve naar juveniele zeeprik wordt bepaald door de temperatuur. De ontwikkelingssnelheid is het hoogst bij 21°C, maar ook bij 25°C kan nog ruim de helft de metamorfose doorkomen. Larven die

groeien bij een hoge temperatuur blijven kleiner dan exemplaren die bij een lagere temperatuur worden gehouden (Holmes & Youson, 1998). Wat dit verder betekent voor de soort of de populatie is niet bekend.

2.4.2 Juveniel (migratie naar zee)

Volgens McCauly (1962) in Canadees onderzoek verandert de thermotolerantie niet na de metamorfose. Er is niet veel geschreven over de periode van de zeewaartse trek. Volgens De Boer (2001) trekken de juvenielen tussen september en januari stroomafwaarts, volgens Patberg *et al.* (2005) in december en januari.

2.4.3 Adult (paaimigratie stroomopwaarts)

De timing, duur en 'stabiliteit' van de paaimigratie hangt sterk samen met de temperatuur. De piek in de migratie valt over het algemeen samen met een temperatuur van 10-18°C (Maitland, 2003), volgens Rochard *et al.*, (2009) tussen 10 en 16°C. Volgens Patberg *et al.* (2005) trekken de zeeprikken op tussen februari en juni, volgens De Boer (2001) tussen april en juni.

Voor de paarijpe zeeprik gelden dezelfde tolerantiegrenzen als voor de parasitaire fase (0-27°C). In de latere stadia van sexuele rijpheid van deze dieren, kunnen wel de processen van degeneratie (na de paai sterven de ouderdieren) worden versneld bij hoge temperatuur (vanaf 25°C; McCauly, 1962 *in* Maitland, 2003).

2.5 Rivierprik (*Lampetra fluviatilis*, Linnaeus, 1758)

2.5.1 Ei/larve

Volgens Van Hal (1998) zijn bij veel priksoorten de larven gevoelig voor een hoge temperatuur. De temperatuur zou een beperkende factor in de verspreiding van de larven zijn, met een optimum bij 10°C en een bovengrens bij 20°C. Er wordt daarbij verwezen naar Hardisty & Potter, 1975 en Hölcík, 1986, maar in deze artikelen is dat niet terug te vinden. De ammocoeten van de rivierprik zijn bij een temperatuur rond 15°C goed te houden onder laboratoriumomstandigheden (Hardisty & Potter, 1971 *in* Hölcík, 1986). Volgens Taverny *et al.*, (2009) ligt het optimum bij 20°C.

2.5.2 Juveniel – migratie zeewaarts

Over deze specifieke levensfase zijn geen aparte temperatuurtolerantiegrenzen in de literatuur gevonden. Naar verwachting verandert de thermotolerantie niet sterk na de metamorfose (zie zeeprik). Volgens Hölcík (1986) begint de migratie naar zee in Noord-Europa in de late herfst en loopt tot de volgende zomer. Patberg *et al.* (2005) geven aan dat de metamorfose tussen mei en oktober plaatsvindt en dat de dieren daarna naar zee migreren. De Boer (2001) noemt de maanden maart tot juni als de maanden waarin de rivierprik uittrekt bij de Afsluitdijk.

2.5.3 Adult en paaimigratie

Nadat de volwassen prikken twee jaar in de estuaria hebben doorgebracht, migreren ze rivier op naar de paaigronden om te paaien. De stroomopwaartse paaimigratie vindt volgens Cazemier & Wiegerinck (1993) plaats van oktober tot maart, volgens Lanzing (1959 in Van Hall, 1998) van juli tot februari (Maas). Waarschijnlijk migreren ze van oktober tot december naar het zoete water en daarna verder stroomopwaarts (Maitland, 2003).

De temperatuur waarbij de rivierprik stroomopwaarts trekt is volgens Morris & Maitland (1987 in Maitland, 2003) 10-11°C.

2.5.4 Voortplanting

De voortplanting van de rivierprik vindt plaats in sterk stromende delen van rivieren en beken in de maanden maart tot mei (Patberg *et al.* 2005), volgens Lauterborn (1926 in Van Hal, 1998) van februari tot april. De watertemperatuur waar bij de rivierprik paait verschilt per gebied en ligt meest tussen de 9 en 14°C, maar kan ook oplopen tot 18°C (refs. in Hölcík, 1986).

2.6 Elft (*Alosa alosa*, Linnaeus, 1758)

De elft is geen warmtemijdende vissoort. Een goede rekrutering hangt in de landen met een gematigd klimaat zoals Engeland juist samen met warme jaren (Maitland & Hatton-Ellis, 2003). De eitjes hebben relatief hoge temperaturen nodig voor hun ontwikkeling (optimaal 22-24°C, sterfte beneden 16°C en boven 26°C). Dit neemt niet weg dat een temperatuurstijging effecten kan hebben op de elft.

2.6.1 Juveniel stadium en migratie naar zee

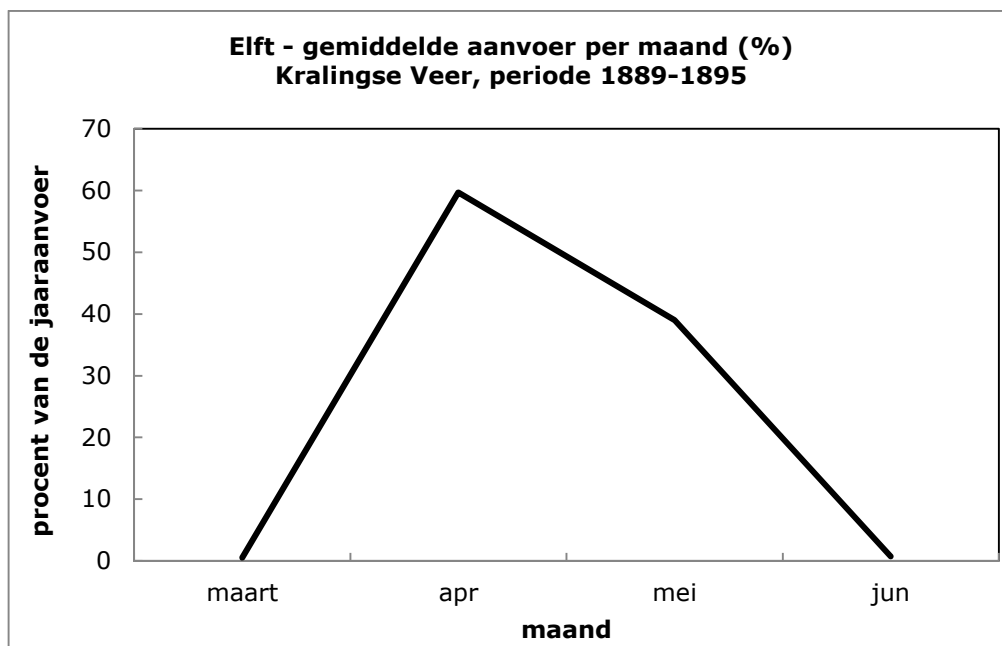
Net als voor de zalm geldt voor de elft dat de grote rivieren in Nederland fungeren als doortrekroute. Voortplanting van de elft vond ook in het verleden niet plaats op de Nederlandse rivieren, maar stroomopwaarts op de Rijn en zijrivieren in Duitsland. Na het uitkomen van de eitjes zakken de larven en juvenielen stroomafwaarts naar het estuarium (Aprahamian *et al.*, 2003).

Er werd altijd gedacht dat de jonge elften enige maanden in het estuarium verblijven alvorens ze doortrekken naar zee. Lochet *et al.* (2009) hebben dit nader onderzocht in het Gironde systeem: de juvenielen van de elft blijken hier in de periode tussen juli en januari slechts kort (8 tot 18 dagen) te verblijven voordat ze doortrekken naar zee. Elften verblijven korter in het estuarium dan finten.

2.6.2 Stroomopwaartse migratie adult

Uit visserijgegevens, daterend uit de tijd dat er nog veel elft in de Rijn aanwezig was, bleek dat de migratie naar de paaigronden meestal aanvangt in de maand maart, een piek vertoont in april en duurt tot half juni (diverse referenties in Quak, 2010; zie Figuur 2.2).

Watertemperatuur is een van de factoren die bij de aanvang van de migratie een rol speelt. De watertemperatuur is bij de start van de migratie 11-12°C in een aantal Franse rivieren en de Rijn (diverse referenties in De Laak, 2007, Boisneau *et al.*, 1985). In de Gironde is die temperatuur 7,5 tot 10°C. Belaud *et al.* (1985, in Maitland & Hatton-Ellis, 2003) noemen een temperatuur van 16°C. Een bovengrens wordt niet genoemd, maar wel dat 90% van de elften optrekt bij een temperatuur onder de 20°C (referentie in Aphrahmian *et al.*, 2003). De trekdrang verdwijnt bij temperaturen boven 17-20°C.



Figuur 2.2 Gemiddelde aanvoer van elft bij het Kralingse Veer per maand in de periode 1889-1895 als percentage van de totale jaaraanvoer (bron: refs. in Quak, 2010).

2.7 Fint (*Alosa fallax fallax*, Lacépède, 1803)

De fint is voor gedrag, verspreiding en voortplanting sterk afhankelijk van de watertemperatuur.

2.7.1 Ei/larve

Larven van 7 tot 15 mm hebben een voorkeur voor een temperatuur van 17 tot 20 °C. Larven van 18 tot 24 mm voor een temperatuur van 17 tot 21,5 °C (Gerken & Thiel, 2001 in & Maitland & Hatton-Ellis, 2003; Aphrahmian *et al.*, 2003).

2.7.2 Juvenile fase en migratie naar estuarium/zee

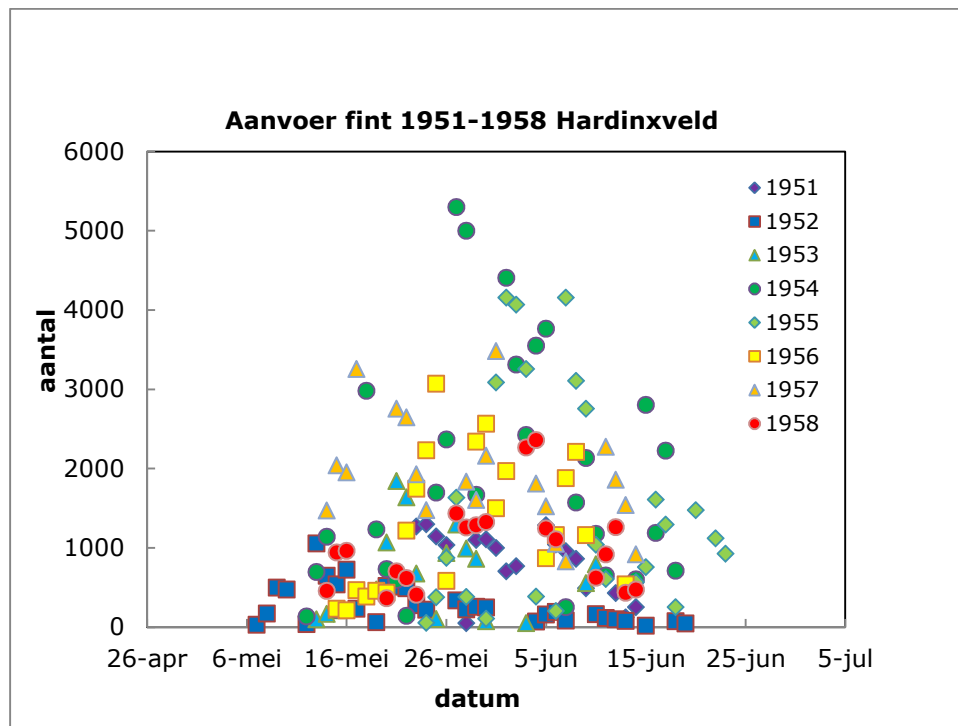
Onderzoek in de rivier de Wye (Wales) wees uit dat jonge finten in de rivier bleven tot de eerste hoge afvoer na de paai. In de Severn (ook Wales) werd geconstateerd dat finten naar het estuarium migreren wanneer de temperatuur onder de 19°C zakt.

Lochet *et al.* (2009) onderzochten het verblijf van de juveniele fint (en elft) in het estuarium van het Gironde systeem. De finten verblijven langer in het estuarium dan elften: 17 dagen (mediane waarde) voordat ze doortrekken naar zee.

2.7.3 Stroomopwaartse migratie adulten

Claridge & Gardner (1978 *in* Maitland & Hatton-Ellis, 2003) onderzochten de stroomopwaartse migratie van finten in het estuarium van de Severn. Deze bleek te beginnen wanneer het water een temperatuur van 12°C bereikte. Aprahamian (1988 *in* Aprahamian *et al.*, 2010) liet zien dat de migratiepiek van zout naar zoet plaatsvindt bij temperaturen van 10,6–12,3°C.

Uit visserijdata van de periode dat er nog veel fint in onze rivieren zwom, is gebleken dat de fint optrekt in de periode mei tot half juni (referenties *in* Quak, 2010). *In* Figuur 2.3 is als voorbeeld de aanvoer van fint bij Hardinxveld in de jaren vijftig van de twintigste eeuw weergegeven.



Figuur 2.3 Aanvoer van fint bij het Hardinxveld in de periode 1851-1958 (bron: refs. *in* Quak, 2010).

2.7.4 Voorplanting

De paai van de fint vindt plaats bij een watertemperatuur van 15 tot 16°C in Noord-Europa tot 18°C in de Seine (Roule, 1922 *in* de Laak, 2009). Redeke (1938 *in* De Laak, 2009) noemt temperaturen van 18 tot 20°C.

3 Analyse effecten van temperatuurstijging

In dit hoofdstuk wordt een inschatting gegeven van de effecten van een temperatuurstijging van 2 en 5°C.

3.1 Effecten van temperatuurstijging op de afzonderlijke vissoorten

3.1.1 Zalm

Uittrek smolts

Het moment dat de jonge zalm smoltificeert en naar zee migreert wordt mede bepaald door de stijging van de temperatuur.

Uit een recent onderzoek van Kennedy & Crozier (2010) in Ierland bleek dat de migratie van zalm smolts op de River Bush tussen 1978 en 2008 te zijn vervroegd met 3,6 tot 4,8 dagen per 10 jaar tijd, ofwel 10-11 dagen in de laatste 30 jaar. De vervroeging van de migratie van de smolt hing samen met het vroeger in het seizoen bereiken van de drempelwaarde voor de watertemperatuur (de vijfde dag dat een watertemperatuur van minimaal 10°C werd gehaald). Op zich lijkt het geen probleem als de smolt trek enkele weken naar voren schuift bij enkele graden temperatuurstijging, maar mogelijk verloopt de ontwikkeling van zijn voedselorganismen niet synchroon. Voor de uittrek naar zee is bekend dat er slechts een klein venster is voor de zeewatertemperatuur dat gunstig is voor smolts. Als de smolts vroeger in het seizoen de zee optrekken, betekent dat de temperatuur van het zeewater nog laag is. Dit kan leiden tot een 'mismatch'; door de lage temperatuur is er nog minder voedsel van geschikte grootte aanwezig, zoals invertebraten en vislarven. Dit kan leiden tot een verminderde overleving van post-smolt op zee (minder zalmen keren terug) (Kennedy & Crozier, 2010 en referenties in Kennedy & Crozier, 2010).

De match / mismatch-hypothese werd voor het eerst beschreven door David Cushing in 1969. Volgens deze hypothese wordt de variatie in de rekrutering van een soort bepaald door de fenologie (de timing van seizoensactiviteiten zoals voortplanten) van een soort en die van zijn voedselorganismen. Vervroeging / versnelling van levensstadia door klimaatverandering kan leiden tot zogenaamde 'mismatches', bijvoorbeeld de paai treedt vroeger in het seizoen op, maar de voedselorganismen, zoals zoöplankton, zijn nog niet in ontwikkeling, wat leidt tot groei-vertraging of zelfs sterfte van de 0+vis.

Uit laboratoriumonderzoek is gebleken dat zalmsmolts ontwijkgedrag vertonen voor een verhoogde temperatuur. Bij experimenten met een gesimuleerde koelwaterpluim bleek dat de zalmsmolts een significante voorkeur hadden voor het niet opgewarmde water bij een temperatuurverschil van 5°C of hoger. Jonge beekforellen vertonen dit ontwijkende

gedrag overigens al bij een temperatuurverschil van 1°C (Haddingh, 1994 in Kerkum *et al.*, 2004).

Intrek adulten

Bij het binnentrekken van de rivieren uit zee door de paarijpe zalmen is het belangrijk dat het temperatuurverschil zo gering mogelijk is. Er kan sprake zijn van een *thermal barrier*. Het gedrag dat zalmen dan vertonen is dat ze niet direct de rivier optrekken maar blijven rondhangen bij de monding (Hawkins, 1980, 1988 in De Groot, 1989).

In Schotland bleken zalmen die in de rivier in water van 20°C terecht kwamen geheel ophouden te trekken en pas weer verder te trekken toen de temperatuur was gedaald tot ca. 12°C (De Groot, 1989).

Uit onderzoek aan een aantal zalmachtigen die een relatief warme pluim van koelwater moesten passeren (een temperatuurverschil van 5°C over een korte afstand) bleken de dieren hun migratiesnelheid te verlagen of zelfs in een aantal gevallen om te keren (Johnsen, 1979).

Volgens Power (1990) reageren zalmen op temperatuurstijgingen door hun range naar het noorden te verleggen.

De periode dat de temperatuur van de rivieren boven de 20°C ligt, is nu al 3 tot 4 maanden, in de toekomst zal die periode alleen maar langer worden. Wat er dan zal gebeuren is onzeker. Mogelijk zullen de zalmen die normaal in de zomer optrekken dat pas later in het najaar doen, of dat alleen de zalmen die relatief vroeg in de zomer arriveren kunnen optrekken.

Deze verschijnselen leiden ertoe dat de voortplantingscyclus van de zalm in de tijd verschuift, waardoor later problemen kunnen ontstaan met rekrutering, voedsel, temperatuur of afvoer.

Een andere mogelijkheid is dat de zalmen niet terugkeren in de grote rivieren in ons land, of dat ze meer naar het noorden waar het koeler is alsnog een rivier op zullen trekken. In het algemeen hebben zalmen een sterke 'homing' drang, dat wil zeggen dat ze alleen de eigen geboorterivier willen optrekken. Vaak is er een klein percentage 'strayers', ofwel zalmen die zwerfgedrag vertonen en andere rivieren dan de geboorterivier optrekken. Mogelijk zal een temperatuurverhoging het aantal 'strayers' verhogen.

3.1.2 Zeeprik

Lassalle *et al.*, (2011) hebben de effecten van klimaatverandering op een aantal Europese diadrome vissoorten bestudeerd met biogeografische modellen. Daaruit kwam naar voren dat bij temperatuurstijging in een aantal Zuid-Europese rivieren het aantal zeeprikken achteruit zal gaan, maar ook dat er nieuwe mogelijkheden liggen voor de soort in het noorden van Europa. Het is dan natuurlijk wel de vraag of een soort zich (zo) snel kan aanpassen.

3.1.3 Rivierprik

Taverny *et al.* (2012) onderzochten het habitatgebruik van rivierprik- en zeeprikclarven in het Gironde-Dordognesysteem. Voor rivierprikclarven

bleek de temperatuur de belangrijkste bepalende factor voor het al dan niet voorkomen te zijn en ligt het optimum rond de 20°C.

Normaal varieert de Nederland ratio van de rivierprik van 5 mannetjes op 1 vrouwtje tot ongeveer 1 op 1. Hardisty & Potter (*in* Maitland, 2003) suggereren dat de jaarlijkse fluctuatie in de seksratio wordt bepaald door factoren zoals temperatuur of waterniveau. Een stijgende temperatuur kan de seksratio beïnvloeden die daardoor minder gunstig zou kunnen worden.

3.1.4 Elft

Boisneau *et al.* (2008) lieten in een onderzoek zien dat de toename van de gemiddelde jaartemperatuur van 1,6°C in de Loire tussen 1976 en 2004 een aanzienlijke verandering in het patroon van de stroomafwaartse migratie van de 0+ elften veroorzaakte. De datum dat de eerste 5% van de juvenielen migreerden werd met 17 dagen vervroegd. Dit had (nog?) geen effect op de totale abundantie van 0+ elften of die van volwassen elften in de rivier.

Net als voor de zeeprik vonden Lassalle *et al.* (2011) dat in Zuid-Europa en Marokko de geschiktheid van de rivieren voor elft af zal nemen in 2100 bij de geprognoseerde temperatuurstijging. Ze vermelden dat de Rijn wel geschikt zal blijven voor de elft als kan worden uitgegaan van een temperatuurstijging van 3°C ten opzichte van het jaarlijkse gemiddelde van 1900-1910. Maar deze temperatuurstijging van 3°C is nu al gerealiseerd, dus waarschijnlijk zal de temperatuur (ver) boven deze waarde stijgen.

Volgens Lochet *et al.* (2009) zou het verblijf van de elft in het estuarium (of de zoet-zout overgang) een belangrijke bottleneck kunnen vormen voor de populatie: het gaat om een kort verblijf in een bepaald tijdvenster, dat onder andere is afgestemd op competitie met andere soorten zoals de fint, de aanwezigheid van voedsel en het vermijden van predatoren. Bij temperatuurverhoging is het goed mogelijk dat dit ingewikkelde 'evenwicht' verstoord wordt, al is nog niet precies te zeggen waar dat toe zal leiden.

3.1.5 Fint

Uit Brits onderzoek is gebleken dat bij een stijging van de huidige gemiddelde jaartemperatuur in de rivier Severn (Wales) van 17,8°C met 1 of 2°C, de piek van de stroomopwaartse migratie met respectievelijk 6-10 en 16-17 dagen zal worden vervroegd (Aprahamian *et al.*, 2010). De abundantie van de soort zal naar verwachting met een factor 3,6 tot 6,3 toenemen, mits er voldoende habitat aanwezig is.

Bij een temperatuurstijging van 1°C wordt verwacht dat de noordelijkste verspreiding van de fint met ongeveer 150 tot 350 km naar het noorden zal opschuiven.

Lochet *et al.* (2009) laten echter ook een andere kant van het verhaal zien. Net als voor de elft valt het verblijf van de fint in het estuarium

binnen een bepaald tijdsvenster. Een temperatuurverhoging zou een negatieve invloed kunnen hebben op de overleving van de juvenielen.

3.2 Inschatting effecten temperatuurstijging op de vijf soorten

In Tabel 3.1 is per soort en levensfase de temperatuurrange en jaargetijde weergegeven. Aan de onderzijde zijn de gemiddelde maandtemperaturen geven in de huidige situatie en de +2°C en +5°C scenario's in Rijn en Maas.

Tabel 3.1 Vergelijking van de temperatuurrange per levensstadium (jaargetijde en temperatuur) van de vijf reofiele Natura 2000 vissoorten naast de huidige (gemiddelde temperatuur per maand; situatie 2000-2010) en de geschatte scenario's waarin de temperatuur 2 of 5 °C hoger is.

maand		jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
zalm	smolt migratie		ca. 14-18°C										
	paaimigratie						3-20°C						
zeeprik	larve					10-22°C							
zeeprik	juveniel migratie	10-22°C											
zeeprik	adult paaimigratie		10-17°										
rivierprik	ei/larve					10-20°C							
rivierprik	juveniel migratie	10-20°C											
rivierprik	adult paaimigratie								ca.10-11°C				
rivierprik	paai		8-14(18)°C										
elft	juveniel migratie												
elft	adult paaimigratie		9-17°C										
fint	ei/larve					17-21°C							
fint	juveniel migratie						migratie start <19°C						
fint	adult paaimigratie					ca. 11-?°C							
fint	paai					ca. 15-20°C							

intrek

uittrek

weinig migratie

temperatuur (°C) Rijn	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
huidig gemiddelde (2000-2010)	5,3	6,1	8,3	12,6	17,3	20,7	22,6	22,3	19,3	15,0	10,7	6,9
scenario +2°C	7,3	8,1	10,3	14,6	19,3	22,7	24,6	24,3	21,3	17,0	12,7	8,9
scenario +5°C	10,3	11,1	13,3	17,6	22,3	25,7	27,6	27,3	24,3	20,0	15,7	11,9

temperatuur (°C) Maas	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
huidig gemiddelde (2000-2010)	6,3	6,8	8,8	13,1	17,6	21,0	22,1	21,9	19,1	15,6	11,4	7,5
scenario +2°C	9,3	9,8	11,8	16,1	20,6	24,0	25,1	24,9	22,1	18,6	14,4	10,5
scenario +5°C	11,3	11,8	13,8	18,1	22,6	26,0	27,1	26,9	24,1	20,6	16,4	12,5

Het één op één vergelijken van de temperatuureisen van de vissoorten en de geschatte temperatuurstijgingen is lastig, vanwege de marges in de temperatuureisen en ook omdat niet duidelijk is van welke huidige temperatuur moet worden uitgegaan: gemiddelde jaartemperatuur, aantal warme dagen, temperatuur tijdens de paai, wintertemperatuur.

In Tabel 3.2 is een inschatting gegeven van het effect dat temperatuurstijgingen van 2 en 5°C zullen hebben op de 5 reofiele Natura 2000-vissoorten (in die levensstadia die in ons land worden doorgebracht).

Tabel 3.2 **Inschatting effect van temperatuurstijging over het gehele jaar van 2 of 5°C ten opzicht van 1990, globaal naar KNMI'06 klimaatscenario's.**

Temperatuurstijging	+2°C	+5°C
Zalm		
Smolt (stroomafwaartse migratie)	-/=	-/--
Adult (stroomopwaartse paaimigratie)	-/=	-/--
Zeeprik		
Larve	=	-
Juveniel (stroomafwaartse migratie)	=	-
Adult (stroomopwaartse paaimigratie)	=	-
Rivierprik		
Ei/larve	=/-	-
Juveniel (zeewaartse migratie)	=	-
Adult (stroomopwaartse paaimigratie)	=	-
Voortplanting	=	=/-
Elft		
Juveniel + zeewaartse migratie	?	-?
Adult (stroomopwaartse paaimigratie)	+/=?	=/-?
Fint		
Ei/larve	+	+
Juveniel (zeewaartse migratie)	+	-?
Adult (stroomopwaartse paaimigratie)	+	+/=
Voortplanting	+	+/=

++ sterk positief effect, +beperkt positief effect, = geen effect, - beperkt negatief effect, -- sterk negatief effect, ? onduidelijk/onzeker

In het +2°C scenario wordt een negatief effect verwacht op de zalm, en mogelijk op de rivierprik, in het +5°C scenario is het effect op de rivierprik waarschijnlijk en wordt daarnaast ook voor de zeeprik een negatief effect verwacht. De fint en de elft zijn meer warmteminnende soorten waarvoor temperatuurstijging op zich positief kan uitpakken. De juveniele fase in het estuarium is echter kwetsbaar bij deze soorten omdat er beperkt tijdsvenster is waarbinnen de levensfase gunstig kan worden doorlopen. Daarom is een negatief effect niet uitgesloten.

3.3 **Discussie**

Beperkingen

In het voorgaande hoofdstukken wordt een aantal concrete temperatuurgrenzen genoemd. Er zijn echter wel kanttekeningen te plaatsen bij de getallen die uit onderzoek naar voren komen:

- Algemeen – tolerantiegrenzen en optima verschillen per onderzoek en per rivier en zijn afhankelijk van geografische breedtegraad en randvoorwaarden van het onderzoek. Er is een bepaalde bandbreedte, geen harde grens.
- De letale temperatuur die men vindt is afhankelijk van de acclimatisatietemperatuur;

- Grenzen en optima die onder laboratoriumomstandigheden worden gevonden, zijn niet per se de natuurlijke grenzen en optima omdat in natuurlijke omstandigheden ook andere factoren een rol kunnen spelen, zoals competitie.

Men zou kunnen denken dat als er geen harde grenzen zijn of letale effecten optreden, de effecten van hoge temperaturen wel zullen meevallen. Er moet echter rekening mee worden gehouden dat er wel andere negatieve effecten van hogere watertemperaturen kunnen optreden, zoals:

- Vervroeging / versnelling levensstadia kan leiden tot zogenaamde 'mismatches' zoals al beschreven in paragraaf 3.1.1;
- een vis kan op de 'normale' kalendertijd arriveren op de paaiplek, maar de watertemperatuur blijkt te hoog te zijn voor de paai of voor de opgroei van de jonge vis, met als gevolg een geringe rekrutering;
- bij een hoge temperatuur is er minder zuurstof in het water;
- verschuiving soorten stroomopwaarts op de rivier, of naar zijwateren en/of verdringing van de ene soort door de andere;
- verdwijning van warmtemijdende soorten uit een stroomgebied;
- verdringing van zalmachtigen en warmtemijdende soorten door karperachtigen en baarzen (en exoten (Leuven *et al.*, 2011));
- in diepere wateren een verplaatsing naar grotere diepte. Dit is overigens geen optie als het diepere gedeelte zuurstofloos is;
- verdwijning elementen uit het voedselweb kan ook grote effecten hebben.
- te grote temperatuurverschillen tussen rivier- en zeewater die een probleem kunnen vormen voor diadrome vissen (Verdonschot *et al.*, 2007; Paalvast, 2012), zeker bij 'harde' zoet-zoutovergangen;
- sommige vissoorten, vooral die soorten die in het vroege voorjaar paaieren, hebben een koude winterperiode nodig om tot een goede voortplanting te komen in het voorjaar; een hogere wintertemperatuur kan dan leiden tot een verminderde reproductie;
- een hogere temperatuur in de winter betekent over het algemeen dat de vissen meer (foerageer)activiteit vertonen en ook meer voedsel nodig hebben in verband met een hoger metabolisme. Het is echter de vraag of er voldoende voedsel aanwezig is (ook gezien de interspecifieke competitie).

Gevolgen

In voorliggende studie is gekeken naar de effecten van temperatuurstijgingen in Nederland en de levensstadia van de vissoorten die hier voorkomen. Voor de vissoorten zelf zijn de landsgrenzen van geen belang: zij hebben ieder hun eigen verspreidingsgebied.

Als de temperatuur zodanig toeneemt dat deze niet langer optimaal is dat de vis zich zal moeten aanpassen. Naast fysiologische aanpassingen kunnen deze aanpassingen plaatsvinden:

- in de tijd: de vis blijft in hetzelfde stroomgebied maar past de periode in het jaar van bepaalde fases van de levenscyclus aan. Hieraan kleven bezwaren in de zin van biotische (zoals competitie) en abiotische factoren die het de soort mogelijk moeilijk maken om zich te handhaven;

- in de ruimte: de vis schuift op binnen het stroomgebied – stroom-opwaarts naar kouder water voor zover mogelijk – of naar een meer noordelijk gelegen stroomgebied. Deze aanpassingen zijn gebonden aan de mogelijkheid om zich te kunnen verplaatsen naar andere locaties, gezien de aanwezigheid van natuurlijke en onnatuurlijke barrières (Buisson & Grenouillet, 2009). Daarnaast is het is de vraag of de soort zich snel genoeg kan aanpassen en niet bijvoorbeeld gehinderd wordt door het 'homing' instinct. Ook hier kan de aanwezigheid van andere (vis)soorten (predatie, competitie) problemen opleveren.

Wanneer de rek eruit is en de vis zich niet meer kan aanpassen zal er een negatief effect op de fitness, overleving en/of abundantie van de populatie of de soort optreden.

In deze factsheet is getracht andere factoren dan temperatuurstijging buiten beschouwing te laten. Andere gelijktijdig optredende antropogene stressoren voor vis kunnen onder zijn:

- habitatachteruitgang/-vernietiging,
- overbevissing,
- interacties met exoten,
- versnippering/migratiebarrières,
- het vaker optreden van ziektes,
- en toenemende extremen in neerslag.

Deze kunnen allemaal een effect hebben op de overleving en de fitness van riviertrekvisseren. Daarmee wordt de inschatting van wat de effecten van sec de temperatuurstijging zijn bemoeilijkt (Ficke *et al.*, 2005; Magnuson, 2002).

Er zijn nog veel onzekerheden over wanneer en bij welke temperaturen daadwerkelijk effecten op de Natura 2000 diadrome vissoorten gaan optreden (Mantua & Mote, 2002), maar gezien de gevoeligheid van de meesten voor temperatuur is de verwachting dat bij de voorspelde temperatuurstijgingen er wel negatieve effecten kunnen optreden.

Op grond van de verzamelde informatie wordt verwacht dat voor één of twee soorten (zalm en mogelijk rivierprik) in het +2°C scenario een negatief effect optreedt. Voor de zalm zijn de huidige temperaturen mogelijk ook al problematisch.

Het +5°C scenario kan voor drie van de vijf onderzochte soorten in het (zalm, rivierprik, en zee-prik) een negatief effect hebben.

De fint en de elft zijn warmteminnende soorten waarvoor op zich ook het warmste scenario nog positief kan uitpakken. Onderzoeken in Frankrijk hebben echter laten zien juveniele fase in het estuarium bij deze soorten kwetsbaar is omdat er beperkt tijdsvenster is waarbinnen de levensfase gunstig kan worden doorlopen. Daarom is een negatief effect niet uitgesloten.

Het ligt het voor de hand dat bij een respons van een individuele vissoort op temperatuurstijging, dit ook zal doorwerken in de visgemeenschap (zie ook Buisson & Grenouillet, 2009).

4 Verklarende woordenlijst

Term	Omschrijving
Anadrome vissoorten	trekvissoorten die in zee volwassen worden en voor de paai de zoete (soms brakke) binnenwateren binnen trekken
Ectotherm	koudbloedig
Diadrome vissoorten	trekvissen die voor het voltooiën van hun levenscyclus migreren tussen zoet en zout water
Homing	het terugkeren naar de geboorterivier om daar te paaien
Parr (zalm)	stadium na het opgebruiken van de dooierzak tot de smoltificatie
Post-smolt (zalm)	stadium tussen het bereiken van de zee tot aan het einde van hun eerste zee-winter
Pre-smolt (zalm)	eerste stadium van verandering van parr naar smolt
Smolt (zalm)	juveniel stadium tijdens de stroomafwaartse migratie. Smolts zijn volledig zilveren juvenielen die nog in het zoete water verkeren
Smoltificeren	overgang van parr naar smolt; aanpassing voor de migratie naar en het leven in zee
Strayers	vissen die een rivier optrekken die niet hun geboorterivier is.

Gebruikte literatuur

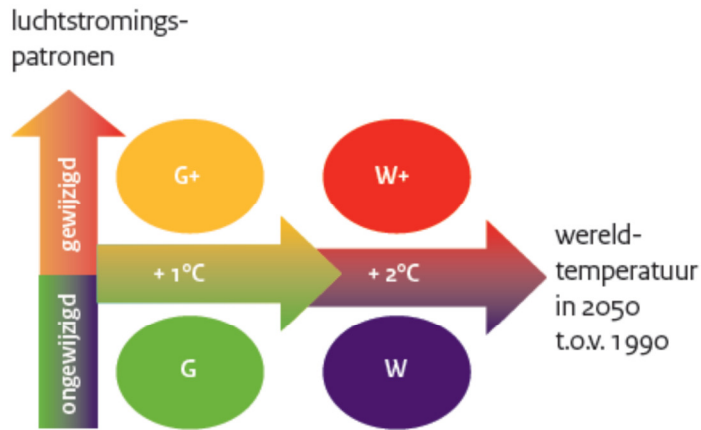
- Afdeling Visscherijen, 1922. De verbetering van den zalm- en elftstand in onze rivieren, Verslagen en Mededeelingen nr.2. Departement van Landbouw, Nijverheid en Handel, Den Haag.
- Aprahamian, M.W., C.D. Aprahamian & A.M. Knights, 2010. Climate change and the green energy paradox: the consequences for twaite shad *Alosa fallax* from the River Severn, U.K. *Journal of Fish Biology* 77 (8): 1912-1930.
- Aprahamian, M.W., C.D. Aprahamian, J.L. Balinière, R. Sabatié, P. Alexandrino. 2003. *Alosa alosa* and *Alosa fallax* spp.: Literature review and bibliography /; Environment Agency. Alundsbury (Groot Brittannië): Environment Agency (R & D Technical Report ; W1-014/TR).
- Boisneau C., Moatar F., Bodin M. and Boisneau Ph., 2008. Does global warming impact on migration patterns and recruitment of Allis shad (*Alosa alosa* L.) young of the year in the Loire River, France? *Hydrobiologia* 602:179-186.
- Boisneau, Ph., C. Mennesson-Boisneau & J.L. Baglinière 1985. Observations sur l'activité de migration de la grande alose *Alosa alosa* L. en Loire (France) *Hydrobiologia* 128: 277-284.
- Buisson, L & Grenouillet, G. 2009. Contrasted impacts of climate change on stream fish assemblages along an environmental gradient. *Diversity and Distributions* 15, 613-626.
- Cazemier, W.G. & J.A.M. Wiegerinck. 1993. Oecologische randvoorwaarden voor Nederlandse zoetwatervissoorten. RIVO DLO IJmuiden. Rapportnummer RIVO-DLO C 005/93.
- CBS, PBL, Wageningen UR. 2009. Zomerse dagen in Nederland, 1906-2008 (indicator 0509, versie 04, 30 juli 2009). www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- CBS, PBL, Wageningen UR. 2012. Temperatuur oppervlaktewater, 1910 - 2010 (indicator 0566, versie 01, 10 januari 2012). CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen. www.compendiumvoordeleefomgeving.nl.
- De Boer, W.F., 2001. Verbetering van vismigratie door de Afsluitdijk: wat wil de vis? Rijksinstituut voor Kust en Zee, Verkeer en Waterstaat, Lelystad. Werkdocument RIKZ/AB 2001.605X.
- De Groot, S.J. 1989. Deelrapport zalm: Literatuurstudie naar rekolonisatie mogelijkheden van het stroomgebied van de Rijn door riviertrekvisen en de echte riviervissen. RIVO, IJmuiden. RIVO-Rapport 88-205/89.2.
- De Groot, S.J. 2002. A review of the past and present status of anadromous fish species in the Netherlands: is restocking the Rhine feasible? *Hydrobiologia* 478: 205-218.
- De Laak, G.A.J. 2007. Kennisdocument Atlantische zalm *Salmo salar* (Linnaeus, 1758). Kennisdocument 6. Sportvisserij Nederland.
- De Laak, G.A.J. 2009. Kennisdocument elft, *Alosa alosa* (Linnaeus, 1758). Sportvisserij Nederland. Kennisdocument 25.
- De Laak, G.A.J., 2009. Kennisdocument fint, *Alosa fallax* (Lacépède, 1803). Kennisdocument 26. Sportvisserij Nederland.
- Ficke, A.A., Myrick, C.A. & Hansen, L.J. 2005. The potential effects of anthropogenic climate change on freshwater fisheries. Department of Fishery & Wildlife Biology. Colorado State University.
- Haro, A.J. e.a. (eds.). 2009. Challenges for diadromous fishes in a dynamic global environment. American Fisheries Society. Symposium 69. Bethesda, Maryland, VS.
- Höřčík, 1986. J. The Freshwater Fishes of Europe. Vol. 1, part 1 Petromyzontiformes Aula, Wiesbaden West-Duitsland. ISBN 3-89104-040-7.

- Holmes, J.A. & Youson, J.H., 1998. Extreme and Optimal Temperatures for Metamorphosis in Sea Lampreys. *Transactions of the American Fisheries Society* 127(2): 206-211.
- Hvidsten, N. A., Jensen, A. J., Rikardsen, A. H., Finstad, B., Aure, J., Stefansson, S., Fiske, P. and Johnsen, B. O., 2009, Influence of sea temperature and initial marine feeding on survival of Atlantic salmon *Salmo salar* post-smolts from the Rivers Orkla and Hals, Norway. *Journal of Fish Biology*, 74: 1532–1548.
- Johnsen, P.B., 1979. The movements of migrating salmonids in the vicinity of a heated effluent determined by a temperature and pressure sensing radio telemetry system. In: Amlaner, C.J. & D.W. McDonald (eds.). *Handbook Biotelemetry and Radiotracking*. Pergamon Press, Oxford. p. 781-783.
- Jonsson, B. & N. Jonsson, 2011. *Ecology of Atlantic salmon and brown trout. Habitat as a template for life histories*. London, Springer. Fish and Fisheries 33. ISBN 978-94-007-1188-4.
- Kennedy, RJ & Crozier, WW. 2010. Evidence of changing migratory patterns of wild Atlantic salmon *Salmo salar* smolts in the River Bush, Northern Ireland, and possible associations with climate change. *Journal of Fish Biology* Vol. 76: 1786-1805.
- Kerkum, F.C.M., A. Bij de Vaate, D. Bijstra, S.P. de Jong & H.A. Jenner. 2004. Effecten van koelwater op het zoete aquatische milieu. RIZA / KEMA. Lelystad (RIZA nota 2004.033).
- KNMI, Antieke tijdreeksen. www.knmi.nl
- Lassalle, G., M. Béguer, L. Beaulaton & E. Rochard. 2011. Diadromous fish conservation plans need to consider global warming issues: An approach using biogeographical models. *Biological Conservation* 141 (4): 1105-1118
- Leuven, R.S.E.W., A.J. Hendriks, M.A.J. Huijbregts, H.J.R. Lenders., J. Matthews & G. van der Velde. 2011. Differences in sensitivity of native and exotic fish species to changes in river temperature *Current Zoology* 57 (6): 852–862.
- Lochet, A., Boutry, S. and Rochard, E., 2009. Estuarine phase during seaward migration for allis shad *Alosa alosa* and twaite shad *Alosa fallax* future spawners. *Ecology of Freshwater Fish*, 18: 323–335.
- Magnuson, J.J. 2002. A future of adapting to climate change and variability. *American Fisheries Society Symposium* 32: 273-282.
- Maitland, P.S., T.W. Hatton-Ellis. 2003. *Ecology of the Allis and twaite shad* / ; Environment Agency, Bristol. *Conserving Natura 2002 Rivers Ecology Series* 3.
- Mantua, N.J. & Mote, P.W. 2002. Uncertainty in scenarios of human-caused climate change. *American Fisheries Society Symposium* 32: 263-272.
- McCormick, S.D., Lerner, D.T., Monette, M. Y. Nieves-Puigdoller, K., Kelly, J.T. & Björnsson, B.T. 2009. Taking It with You When You Go: How Perturbations to the Freshwater Environment, Including Temperature, Dams, and Contaminants, Affect Marine Survival of Salmon. *American Fisheries Society Symposium* 69: 195-214.
- Nengerman, A.A. & J.P. van Lonkhuyzen, 1918. Rapport over de zalmvisserij op de rivieren in Nederland, Deventer.
- Nengerman, A.A. & J.P. van Lonkhuyzen, 1920. Rapport over de zalmvisserij op de benedenrivieren en Zuidhollandsche stromen, Arnhem.
- Paalvast, P. 2012. Gevolgen van klimaatverandering voor beroepsbinnenvisserij en sportvisserij in Nederland. Knelpuntenanalyse Deltaprogramma Zoetwater. Ecoconsult, in opdracht van Deltares, Delft.
- Quak, J. 1993. Habitats van de zalm (*Salmo salar*) in het zoete water; de zalm in een ecologisch perspectief. OVB, Nieuwegein. Onderzoeksrapport deelrapport Sa/OVB 1993-01.
- Quak, J. 2010. Historie van een koningsvis. *Visionair* 10: 32-35.
http://www.sportvisserijnederland.nl/vis_en_water/visionair/3820/historie_van_een_koningsvis.html.
- Quak, J. 2012. Kennisdocument natuurlijke en antropogene sterfte van zalm-smolts (*Salmo salar*)(concept).

- Quak, J., Van Emmerik, W.A.M. & Verspui, R. 2012. Kennisdocument Trekvisserij Afsluitdijk (concept). Sportvisserij Nederland.
- Patberg, W., J.J. de Leeuw & H.V. Winter 2005. Verspreiding van rivierprik, zee-prik, fint en elft in Nederland na 1970. RIVO. RIVO-rapport C004/05.
- Rochard E., Pellegrini, P., Marchal, J., Béguet, M., Ombrane, D., Lassalle, G., Menvielle, E. & Baglinière, J.L. 2009. Identification of diadromous fish species on which to focus river restoration: an example using an eco-anthropological approach (the Seine basin, France).
- Spierts, I.L.Y., R. Caldenhoven, F.T. Vriese & A.W. Breukelaar. 2008. Downstream migration of salmon smolts in the River Rhine in 2008. Visadvies bv, RWS Waterdienst. (VisAdvies rapportnummer 2007-57).
- Taverny, C., Lassalle, G., Ortusi, I., Roqueplo, C., Lepage, M. and Lambert, P., 2012. From shallow to deep waters: habitats used by larval lampreys (genus *Petromyzon* and *Lampetra*) over a western European basin. *Ecology of Freshwater Fish*, 21: 87-99.
- Ten Houten & Co. De Nederlandsche zalmzegenvisserijen in 1902, idem 1903. Rotterdam.
- Ten Houten & Co. De Zalmvangst; aanvoer van zalm aan de markt te Rotterdam-Kralingsche Veer [verschillende jaren], Rotterdam.
- Thorstad, E.B., F. Whoriskey, I. Uglem, A. Moore, A.H. Rikardsen & B. Finstad., 2012. A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: behaviour and survival during the smolt and initial post-smolt migration. *Journal of Fish Biology* 81(2): 500-542.
- Van den Hurk, B. Klein Tank, A., Lenderink, G. Van Ulden, A. Van Oldenborgh, G.-J., Katsman, C. Van den Brink, H., Keller, F., Bessembinder, J. Burgers, J., Komen, G. Hazeleger, W. & Drijfhout, S. 2006. KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. KNMI Scientific Report WR 2006-01
- Van Drimmelen, D.E. (z.j.). Persoonlijk archief met interne notities en aantekeningen van de Visserij-inspectie betreffende de zalmvisserij en andere riviertrekvisserij. Idem betreffende de waterhuishoudkundige veranderingen in het stroomgebied van de Rijn (Rijkswaterstaat).
- Van Hal, J. 1998. Autecologie en Habitat geschiktheids Indexmodel van de Rivierprik (*Lampetra fluviatilis*). OVB /Hogeschool IJsselmeer.
- Verdonschot, R.C.M., H.J. de Lange, P.F.M. Verdonschot & A. Besse, 2007. Klimaatverandering en biodiversiteit. I. Literatuurstudie naar temperatuur. Alterra. Rapport 1451.
- Verslag van de Staatscommissie voor het zalmvraagstuk., 1916. 2 delen. Landsdrukkerij, Den Haag.
- Visscherijinspectie, jaarverslagen. Departement van Landbouw, Nijverheid en Handel, Den Haag.
- Zydlewski, G.B., Haro, A. & McCormick, S.D. 2005. Evidence for cumulative temperature as an initiating and terminating factor in downstream migratory behavior of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2005, 62(1): 68-78.

Bijlage Klimaatscenario's 2100

Schematisch overzicht van de vier KNMI'06 klimaatscenario's voor 2050. Voor 2100 wordt uitgegaan van een verdubbeling.



In de onderstaande tabel zijn de temperatuurveranderingen rond 2100 uitgedrukt in cijfers per klimaatscenario.

Klimaatverandering in Nederland rond **2100** ten opzichte van het basisjaar 1990 volgens de vier KNMI'06 klimaatscenario's. Het klimaat in het basisjaar 1990 is beschreven met gegevens van 1976 tot en met 2005. Onder winter wordt hier verstaan december, januari en februari, zomer staat gelijk aan juni, juli en augustus (bron Van den Hurk *et al.*, 2006).

		G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging in 2100		+2°C	+2°C	+4°C	+4°C
Verandering in luchtstromingspatronen in West Europa		nee	ja	nee	ja
Winter	gemiddelde temperatuur	+1,8°C	+2,3°C	+3,6°C	+4,6°C
	koudste winterdag per jaar	+2,1°C	+2,9°C	+4,2°C	+5,8°C
Zomer	gemiddelde temperatuur	+1,7°C	+2,8°C	+3,4°C	+5,6°C
	warmste zomerdag per jaar	+2,1°C	+3,8°C	+4,2°C	+7,6°C



Sportvisserij Nederland
Postbus 162
3720 AD Bilthoven

