

**Effecten van klimaatverandering op
watertemperatuur en de
consequenties daarvan voor
visecologie en drinkwaterproductie**

Effecten van klimaatverandering op watertemperatuur en de consequenties daarvan voor visecologie en drinkwaterproductie

Peñailillo Burgos
Twan van den Beld

Titel

Effecten van klimaatverandering op watertemperatuur en de consequenties daarvan voor visecologie en drinkwaterproductie

Opdrachtgever
Delft Cluster

Project
1002020-001

Kenmerk
1002020-001-ZWS-0001

Pagina's
50

Sinds 1900 is de watertemperatuur van de Rijn bij Lobith 3°C (2°C als resultaat van warmtelozingen en 1°C door klimaatverandering). Ook is de gemiddelde, maximale en minimale watertemperatuur bij Lobith in de afgelopen honderd jaren toegenomen. Hogen watertemperaturen beperken de mogelijkheden voor koelwater, brengen de drinkwaterproductie in risico en bedreigen het aquatische ecosysteem. Gegeven de verwachte stijging in de luchttemperatuur als gevolg van klimaatverandering en het vaker voorkomen van hittegolven, is in de toekomst een stijging van de watertemperatuur in de Rijn en de Maas te verwachten. De doelstelling van deze studie is het inzichtelijk maken van de verandering van watertemperatuur in de Rijkswateren als gevolg van klimaatverandering en de consequenties daarvan voor de relevante vissoorten en voor de drinkwaterproductie. De bestudeerde scenario's zijn: i) huidige situatie; ii) KNMI'06 scenario W rond 2050; iii) KNMI'06 scenario W+ rond 2050; en vi) het jaar 2003. De watertemperatuurgegevens zijn afkomstig van de moderesultaten van de studie Kallen et al. (2008) en Boderie en Visser (2007). Op basis hiervan zij de overschrijdingsfrequenties van de temperatuureisen van vissen zalm, spiering, barbeel en kwabaal, en van de temperatuurnorm voor drinkwaterproductie berekent voor de verschillende scenario's.

Uit de resultaten van deze studie valt te concluderen dat als gevolg van klimaatverandering meer dagen rond 2050 zullen voorkomen met een hogere watertemperatuur in vergelijking met de huidige situatie. Hierdoor zullen meer overschrijdingen van de temperatuureisen voor vissen en drinkwaterproductie optreden. Uitgaande van het meest extreme scenario zal de migratie in het voorjaar van de juveniele zalm in de toekomst aanzienlijk verstoord worden met watertemperaturen boven de 22°C tot elke drie dagen. De eifase van de spiering kan rond 2050 in gevaar komen met temperaturen boven de 12°C in het voorjaar tot elke drie dagen. De kwabaal zal het erg moeilijk krijgen in de Nederlandse grote rivieren door een toename van het aantal dagen boden de optimale en maximale temperatuur in de toekomst (tot boven 35% van de tijd). Hoewel de grote rivieren in Nederland goede condities bieden voor de paaitrek van de barbeel in de toekomst, wordt de temperatuur rond 2050 veel te hoog voor de barbeeleieren. Met betrekking tot de drinkwaterproductie zullen de directe winningen Andijk en Gat van de Kerkstoot rond 2050 aan wettelijke norm voldoen dankzij de spaarbekkens.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	08-12-2009	R.S. Penailillo Burgos		S. de Rijk		A.G. Segeren	
		C.A.L. Postma		A.D. Buijse			

Status
definitief

Inhoud

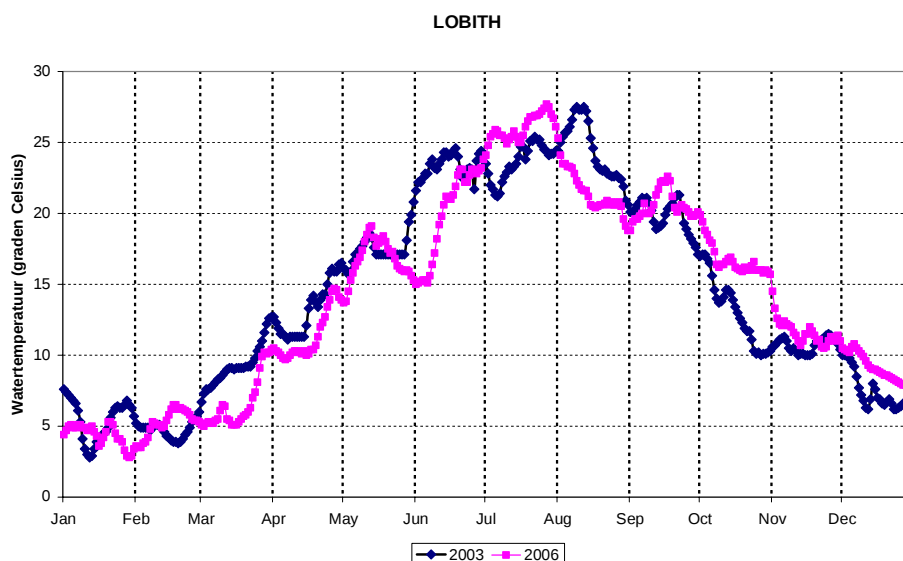
1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Doelstelling van deze studie	2
1.3 Leeswijzer	2
2 Achtergrond informatie	3
2.1 Vissen en watertemperatuur	3
2.1.1 Zalm (<i>Salmo salar</i>)	3
2.1.2 Spiering (<i>Osmerus eperlanus</i>)	5
2.1.3 Kwabaal (<i>Lota lota</i>)	5
2.1.4 Barbeel (<i>Barbus barbus</i>)	6
2.2 Drinkwater en watertemperatuur	7
2.2.1 Wettelijke temperatuurnormen	9
2.3 KNMI'06 klimaatscenario's W en W+	10
3 Methode	12
3.1 Aanleiding	12
3.2 Geselecteerde locaties	13
3.3 Temperatuureisen voor visecologie	16
3.4 Watertemperatuur in de huidige situatie en rond 2050	17
3.5 Watertemperatuur in het jaar 2003	17
4 Resultaten	19
4.1 Aanleiding	19
4.2 Gemiddelde verandering in watertemperatuur volgens de KNMI'06 scenario's W en W+	19
4.3 Overschrijding van de temperatuureisen	21
4.3.1 Visecologie	21
4.3.2 Functie Drinkwaterproductie	26
5 Discussie	27
5.1 Gemiddelde temperatuurverandering volgens KNMI'06 scenario's	27
5.2 Visecologie	28
5.3 Drinkwaterproductie	30
6 Conclusies	32
7 Referenties	34
Bijlage(n)	
A Implementatie KNMI'06 scenario's W en W+ in het LTM (Kallen et al., 2008)	35
B Bijlage tijdsduur (aantal dagen)	38
C Grafieken	41

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De watertemperatuur van rivieren wordt beïnvloed door meteorologische condities, warmtelozingen en de watertemperatuur en afvoer van zijrivieren en grondwater. Volgens het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2008) is sinds 1900 de watertemperatuur van de Rijn bij Lobith 3 graden Celsius toegenomen, waarvan 2 graden Celsius als resultaat van warmtelozingen zijn, en 1 graad Celsius door klimaatverandering is veroorzaakt. Ook is de gemiddelde watertemperatuur zoals de maximale en minimale watertemperatuur van de Rijn bij Lobith in de afgelopen honderd jaren toegenomen. Van der Grinten et al. (2007) geven ook een toenemende trend aan van het aantal dagen per jaar dat de watertemperatuur boven de 20 en 25°C komt. Als het water teveel is opgewarmd, dan beperkt dit de mogelijkheden voor koelwaterlozingen door de industrie en energiesector (Boderie et al., 2006; Icke et al., 2006; Peñailillo et al., 2008). Ook hebben hoge watertemperaturen risico's voor de drinkwaterproductie (Van Vliet et al., 2008; Zwolsman & van Vliet, 2007) en bedreigingen van het aquatische ecosysteem (Van de Grinten et al., 2007; Van Herpen et al., 2008).

Gegeven de verwachte stijging in de luchttemperatuur als gevolg van klimaatverandering en het vaker voorkomen van hittegolven, is in de toekomst een stijging van de watertemperatuur in de Rijn en de Maas te verwachten (van Vliet et al., 2008). In de zomer van 2003 is de watertemperatuur in de Rijn en in de Maas langdurig boven de 25°C geweest. Dit is bij Lobith in juli (5 dagen achter elkaar) en de eerste 2 weken van augustus waargenomen (zie Figuur 1.1). Ook tijdens de hittegolf van 2006 kwam de watertemperatuur boven de 25°C; bij Lobith bijna de gehele maand juli (zie Figuur 1.1). Bovendien werden in 2003 en in 2006 maximumwaarden van de watertemperatuur van ca. 28°C bereikt. Volgens de KNMI is de herhalingstijd van de warme en droge zomer van 2003 op dit moment één keer in de tien jaar, maar in 2050 is de kans door klimaatverandering één in de twee jaar.



Figuur 1.1 Watertemperatuur bij Lobith in de jaren 2003 en 2006.

Kallen et al. (2008) hebben op basis van modelsimulaties de gevolgen van de KNMI'06 scenario's W en W+ voor de warmtelozingencapaciteit voor een aantal locaties in Nederland bepaald. Volgens deze auteurs vormt de hogere temperatuur die in het W scenario optreedt ten opzichte van de huidige situatie geen wezenlijk probleem voor de capaciteit, tenzij de KRW doelstellingen in werking zouden treden. In dit geval wordt de capaciteit sterkt beperkt of verdwijnt deze zelfs volledig. Het W+ scenario laat een duidelijke afname van de capaciteit zien. De modelsimulaties betroffen de dagelijkse watertemperatuur binnen een periode van 31 jaar in de huidige situatie en volgens beide KNMI scenario's. Echter lag de focus niet op de gevolgen voor de ecologie en de drinkwaterproductie.

1.2 Doelstelling van deze studie

De hoofddoelstelling van deze studie is het inzichtelijk maken van de verandering van watertemperatuur in de Rijkswateren als gevolg van klimaatverandering en de consequenties daarvan voor de relevante vissoorten en voor de drinkwaterproductie.

De specifieke onderzoeksvragen hierbij zijn:

- Wat is de frequentie van overschrijding van de temperatuureisen voor vissen en voor de drinkwaterproductie in de huidige situatie en wat zal de frequentie naar verwachting zijn volgens de KNMI'06 scenario's W en W+ rond het jaar 2050?
- Wat is de frequentie van overschrijding van temperatuureisen voor vissen en voor de drinkwaterproductie in een extreem jaar en hoe verhoudt deze zich in relatie tot de huidige situatie en de verwachtingen rond het jaar 2050?

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat de achtergrondinformatie over de relevante vissoorten en hun temperatuureisen. In dit hoofdstuk komt ook een beschrijving van de norm voor de drinkwaterproductie aan bod. Ook geeft dit hoofdstuk een korte beschrijving van de KNMI'06 scenario's. De selectie van de relevante locaties in de Rijkswateren en de temperatuureisen voor vissen wordt in hoofdstuk 3 besproken. Ook behandelt dit hoofdstuk de methode voor het afleiden van de overschrijdingsfrequentie en de hiervoor beschikbare gegevens. Hoofdstuk 4 behandelt de temperatuurveranderingen volgens de KNMI'06 scenario's en de effecten op visecologie en de drinkwaterproductie. De resultaten van het jaar 2003 zijn ook in dit hoofdstuk beschreven. Hoofdstuk 5 bevat een discussie van de resultaten. Tot slot de belangrijkste conclusies en aanbevelingen komen aan bod in hoofdstuk 6.

2 Achtergrond informatie

2.1 Vissen en watertemperatuur

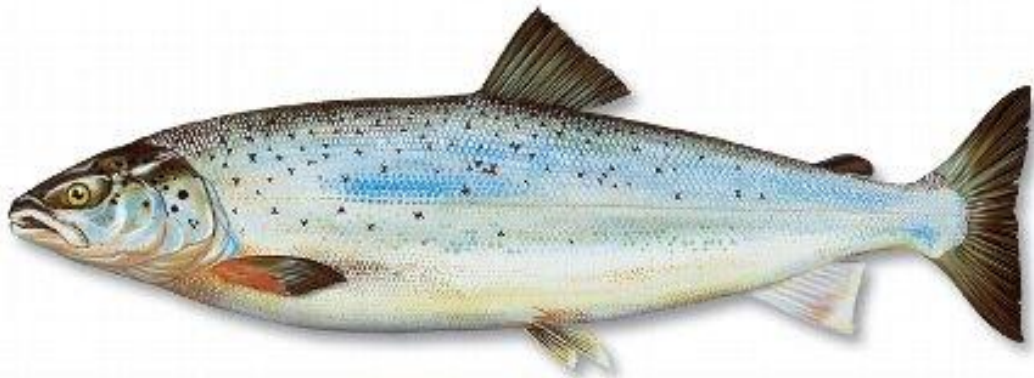
In dit onderzoek ligt de focus op een aantal karakteristieke koudminnende vissoorten die o.a. voor de paai en migratie afhankelijk zijn van de watertemperatuur. Deze soorten zijn zalm, spiering en kwabaal. Tevens is er voor gekozen om de barbeel mee te nemen. De barbeel is zeker geen koudminnende soort maar doet het juist goed bij hogere watertemperaturen. De volgende tabel laat een overzicht zien van de geselecteerde vissoorten.

Tabel 2.1 Overzicht geselecteerde vissoorten. Habitat richtlijn II: Dier- en plantensoorten waarvoor speciale beschermingszones moeten worden aangewezen. Habitat richtlijn V: Dier- en plantensoorten waarvoor exploitatie en onttrekken aan de natuur moet worden gereguleerd. De barbeel en de kwabaal hebben op de Rode Lijst de status van bedreigd. (RAVON.nl).

Soort	Latijnse naam	diadroom/reofiel	Zalmachtige	habitat richtlijn
Zalm	Salmo Salar	diadroom/reofiel	ja	II en V
Spiering	Osmerus eperlanus	diadroom	ja	V
Barbeel	Barbus barbus	reofiel	nee	V; bedreigd (rode lijst)
Kwabaal	Lota lota	reofiel	nee	Bedreigd (rode lijst)

2.1.1 Zalm (Salmo salar)

Nederland is voor de zalm (Figuur 2.1) vooral van belang bij de trek van de juveniele zalmen van de paai- en opgroei gebieden naar zee en de trek van de adulten vanuit zee naar de paaigebieden bovenstrooms. Van zalmen is bekend dat deze gedurende het gehele jaar de Nederlandse rivieren optrekken naar de paaigebieden. Van Herpen et al., 2008 geven in het rapport over de toekomstperspectieven van de zalm aan dat ondanks individuele verschillen de piek van de migratie in het voor- en najaar ligt. Van zalmen die in het voorjaar de rivier op migreren wordt aangenomen dat deze gedurende de zomer in het riviersysteem verblijven voordat ze in het late najaar gaan paaien. De geografische locatie, leeftijd en sekse is tevens bepalend voor het moment dat zalmen de rivier optrekken. Ondanks veel onderzoek blijft het intrekmoment naar het zoete water wat mysterieus. Licht, temperatuur, afvoer, stroming, turbulentie en gradiënten in bijv. zoutgehalte en andere klimatologische omstandigheden spelen vermoedelijk een rol bij het exacte intrekmoment naar het zoete water (Van Herpen et al., 2008).



Figuur 2.1 Atlantische Zalm adult (bron: www.visuitnoorwegen.nl).

Het enige wat optrekkende adulte zalmen onderweg nodig hebben is een vrije doorgang tot de paairivieren en een afwisseling in de rivier van plaatsen met snel stromende stukken en met luwten om te rusten. Gedurende de migratie eet de vis niet (De Nie, 1996). Zalmen paaïen in de late herfst en vroege winter in grindbeddingen van heldere en koele bovenlopen en zijriviertjes. Jonge zalmen komen in het voorjaar uit en verblijven 1 tot 7 jaar (afhankelijk van de regio) in het zoete water om op te groeien. Wanneer de jonge zalmen een bepaalde grootte bereiken, ondergaan ze fysiologische aanpassingen om op zee te kunnen overleven. De juveniele zalmen, smolts genaamd, migreren in het voorjaar van de paaigebieden naar zee. In zee blijven de zalmen 1 tot 4 jaar om volwassen te worden voordat ze de weg terug zoeken naar hun geboorterivier om daar weer te gaan paaïen.

Aangezien dat de zalm niet in Nederland paaït wordt de eifase en pre-smolt fase hier niet beschouwd. De migratie van juvenielen vanuit de rivieren naar zee wordt geïnduceerd door de toename van de riviertemperatuur, hoewel er geografische verschillen in drempelwaarden bestaan (Laak, 2007). Voor juvenielen die in het voorjaar van de opgroeigronden via de Nederlandse grote rivieren naar zee migreren, ligt het optimum bij 16-20°C en boven 22,5°C nemen geen voedsel meer op (Van Herpen et al., 2008).

De zalm wordt in dit onderzoek meegenomen omdat het een belangrijke migrerende soort is die symbool staat voor een goede waterkwaliteit en een gezond ecosysteem van de grote rivieren. Daarnaast is Nederland van groot belang voor de zalm als migratieroute van zee naar paaïplaatsen in België, Duitsland en Frankrijk. Juveniele zalmen zullen gedurende de migratie van de paaï- en opgroeigebieden naar zee wederom gebruik maken van de Nederlandse grote rivieren. Verder is er veel informatie bekend over de temperatuurtolerantie van de Atlantische zalm.

Grote rivieren zijn aangegeven als water voor karperachtigen en voor zalmachtigen. De temperatuurgrenzen gesteld in de Viswaterrichtlijn zijn respectievelijk 21,5°C en 28°C. Aangezien dat de bovengrens van water voor zalmachtigen veel lager is, moet de zalm er doorheen migreren. De letale temperatuur voor adulte zalmen komt uit op een temperatuur van 28°C tot 30,5°C (Van Herpen et al., 2008), maar bij 25°C wordt de migratie al belemmerd.

2.1.2 Spiering (*Osmerus eperlanus*)

De spiering (Figuur 2.2) behoort tot dezelfde orde als de zalm en is een koudwatersoort en heeft een hoog zuurstofgehalte in het water nodig. Er bestaan in Nederland twee populaties spiering, een naar zee trekkende vorm en de zogenaamde 'land-locked' spiering, een zoetwatervis die algemeen voorkomt in het IJsselmeergebied. Met name deze laatste populatie staat hier centraal.



Figuur 2.2 Spiering (bron: www.RAVON.nl).

In 2006 meldt het Ministerie van LNV een massale spieringsterfte in het IJsselmeer door een hoge watertemperatuur van 26°C. Kroes et al., (2007) geven aan dat bij 23°C de spiering al problemen ondervindt en dat bij 25°C sterfte op zal treden.

De spiering is een beargumenteerde keuze omdat in dit onderzoek ook naar deze grote meren wordt gekeken. Opgemerkt moet worden dat voor spiering is uitgegaan van de zogenaamde 'land-locked' spiering en niet van de anadrome (migrerende) spiering. Migratie naar zee is een strategie om hoge temperaturen in de grote rivieren te mijden.

2.1.3 Kwabaal (*Lota lota*)

De kwabaal (Figuur 2.3) kan overal in Nederland voorkomen, zelfs in brakke wateren maar heeft een sterke voorkeur voor koud, helder en zuurstofrijk water. Met name in de winter zijn de kwabalen actief. In de zomer is de soort dan ook minder actief en eten dan ook veel minder. De voortplantingstijd valt in de koude winterperiode, en wel van november tot begin maart, de watertemperatuur is dan ongeveer 4 graden Celsius. De geslachtsrijpe vissen verzamelen zich dan in grote scholen en trekken stroomopwaarts, of in meren naar delen met een zand- of kiezelbodem. De eitjes bevatten olie waardoor ze vrij in het water kunnen zweven en met de stroming over grote afstanden wordt verspreid. De larven komen pas na 6 tot 10 weken uit (De Nie, 1996) .



Figuur 2.3 *Adulte kwabaal (bron: visserslatijn.nl).*

De Nie (1996) geeft aan dat de kwabaal zeer gevoelig is voor verstuwning, normalisatie, onnatuurlijke temperatuurverhogingen en daarmee een verlaging van het zuurstof gehalte. Ook Hardewig et al., (2004) geven aan dat in de Nederlandse rivieren het optimum van 11,4°C vaak wordt overschreden. De kwabaal zal bij watertemperaturen boven de 20°C ernstig in de problemen komen. Bij hoge temperaturen zal de kwabaal direct op zoek gaan naar koudere waterlagen. Als overlevingsstrategie nemen in de warme zomermaanden de activiteit en het metabolisme af. (Hardewig *et al.*, 2003). De watertemperatuur speelt een ook belangrijke rol in de paaiperiode. De kwabaal heeft een koude periode (0,4-4°C) in de winter nodig, tussen november en maart om tot reproductie te komen. In beken trekken volwassen dieren massaal stroomopwaarts of naar locaties waar de beek buiten haar oevers treedt. In meren zoeken kleinere dieren de ondiepte stukken op om te paaieren maar grote exemplaren kunnen ook op grote diepte tot reproductie komen. Eieren worden afgezet boven een schone zandbodem. Ook in uiterwaarden plassen zijn kwabaallarven waargenomen. In Nederland is de kwabaal een sterk bedreigde vissoort (De Nie, 1996).

De eieren van de kwabaal zijn wat betreft temperatuur enorm kwetsbaar. De maximale temperatuur voor de eieren is slechts 6°C. Een plotselinge stijging van meer dan 2°C in de eerste 10 dagen kan dodelijk zijn (Beelen, 2009).

De kwabaal is van de geselecteerde soorten de meest gevoelige soort wat betreft watertemperatuur en is voor zijn voortplanting afhankelijk lage watertemperaturen in de winter. In tegenstelling tot veel andere watertemperatuuronderzoeken wordt niet alleen naar de maximale zomertemperaturen gekeken maar ook naar de maximale watertemperaturen in de winter perioden en het voorjaar. De perioden zijn geselecteerd aan de hand van de maanden waarbinnen vissen actief (kunnen) zijn.

2.1.4 Barbeel (*Barbus barbus*)

De barbeel (Figuur 2.4) is een reofiele vissoort (stromingminnend) welke wordt aangetroffen in rivieren met zand en grind zoals de Nederlandse grote rivieren. In tegenstelling tot de hierboven beschreven vissoorten is de barbeel geen koudminnende soort. Barbelen worden aangetroffen in het warme en gematigde Europa, maar ontbreekt in Denemarken en Scandinavië. In het voorjaar trekt de barbeel naar de paaiplaatsen stroomopwaarts gelegen. De paai vindt plaats in het voorjaar en wat betreft de Rijn hoogstwaarschijnlijk grotendeels in het buitenland waardoor de adulten in deze periode niet of nauwelijks in de grote rivieren van Nederland aanwezig zal zijn. In Limburg paait de barbeel in de Grensmaas en zijrivieren o.a. Roer en Geul. Juvenielen worden wel aangetroffen in nevengeulen van de grote rivieren maar dit zijn waarschijnlijk exemplaren die met de stroom mee afgezakt zijn naar deze stromende geschikte habitat.



Figuur 2.4 Barbeel, adult.

De barbelen trekken naar de paaipplaatsen in de maanden april tot juli. Van Herpen et al. (2008) geven aan dat bij 8 tot 10°C de paaitrek op gang komt. Daar zetten ze zo'n 10.000 eieren per wijfje af op grindbanken die gelegen zijn in de stroming, vaak bij de monding van zijriviertjes waar een grover structuur of een grindbodem aanwezig. De locatie waar de eieren worden afgezet wordt gekenmerkt door een hoge stroomsnelheid. De maximale watertemperatuur voor de eieren ligt volgens Kroes et al., 2007 rond de 20°C, wordt deze waarden overschreden dan treedt sterfte op. Met name de grensmaas is wat betreft stroming en bodemstructuur een perfecte paaipplaats in Nederland.

Bij juvenielen neemt de sterfte nauwelijks toe bij temperaturen van 25°C en bij temperatuur van 30°C blijkt het dodelijk te zijn (Van Herpen et al., 2008).

2.2 Drinkwater en watertemperatuur

Veertig procent van de Nederlandse bevolking gebruikt drinkwater dat bereid is uit oppervlaktewater. In Nederland zijn drie directe inname locaties voor de drinkwatervoorziening, dit wil zeggen dat het ingenomen water vrijwel direct wordt verwerkt tot drinkwater zonder tussenkomst van duininfiltratie. Alle innamepunten in oppervlaktewater staan genoemd in Tabel 2.2. Afkoeling tussen inname en eindproduct kan bij directe winningen alleen tijdens verblijf in het bekken plaatsvinden. Tijdens het zuiveringsproces treedt geen afkoeling op. Tijdens transport van zuiveringsstation naar huishoudens kan gedurende warme zomers opwarming optreden (Zwolsman et al., 2007). Dit onderzoek focust op de Rijkswateren en daardoor is de inname locatie de Punt niet relevant.

Tabel 2.2 Overzicht van locaties waar oppervlaktewater wordt ingenomen ten behoeve van drinkwater (referentie). De onderstreepte locaties zijn directe winningen waar het ingenomen water vrijwel direct wordt verwerkt tot drinkwater.

Water-leidingbedrijf	Inname-punt	Oppervlaktewater	Stroomgebied	Relevante eigenschappen van inname
WBG	<u>de Punt</u>	Drentse Aa	Eems	Oppervlaktewater naar mengbekken en vervolgens naar zuiveringsstation. Verblijftijd in bekken c. 1 maand
PWN	<u>Andijk</u>	IJsselmeer	Rijn	Oppervlaktewater naar bekken (verblijftijd c. 40 dagen), hiervandaan gaat water deels naar zuiveringsstation voor klanten in Noord Holland en deels naar duinfiltratie Castricum/Heemskerk
Waternet	Nieuwegein	Lekkanaal	Rijn	Voorzuivering (coagulatie en snelfiltratie) in Nieuwegein daarna getransporteerd en geïnfiltreerd in Amsterdamse Waterleidingduinen.
Waternet	Nieuwersluis	Amsterdam Rijnkanaal	Rijn	Kleine onttrekking; inname ten behoeve van aanvulling van de Waterleidingplas. Waterleidingplas is voornamelijk gevuld met kwelwater uit de Bethunepolder. Na een verblijf van c. 100 dagen wordt water getransporteerd naar zuiveringsstation.
Evides	<u>Gat van de Kerkvloot</u> (1)	Maas/ Gat van de Kerkvloot	Maas	Ingenomen water naar een van de drie bekken, vervolgens naar zuiveringsstation. Verblijftijd bekken c. 5 maanden, er vindt geen menging met grondwater plaats in het bekken.
Evides	Scheelhoek	Haringvliet	Maas (2)	Voorzuivering in Ouddorp, infiltratie in de duinen van Ouddorp en Haamstede.
DZH	Brakel	Afgedamde Maas	Maas	Ingenomen water wordt in Bergambacht voorgezuiverd. Het voorgezuiverde rivierwater wordt dan getransporteerd naar het duingebied tussen Monster en Katwijk en geïnfiltreerd in de duinen.
WML	Heel	Lateraalkanaal	Maas	Water wordt onttrokken uit het lateraal kanaal, een kanaal parallel aan de Maas. Het water komt via een retentiebekken in het proces- en voorraadbekken, De Lange Vlieter. Vervolgens stroomt het door de oever naar een 30-tal putten waar het wordt onttrokken en naar het zuiveringsstation wordt gepompt.

(1) Vaak Keizersveer genoemd maar daadwerkelijk innamepunt ligt verder stroomafwaarts van Keizersveer

(2) hoewel dit punt bij het Maasstroomgebied hoort, bestaat het water uit 70-80 % uit Rijnwater en voor 20-30 % uit Maaswater

De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO, 2004) concludeert dat bij temperaturen in het leidingennetwerk hoger dan 20 á 25°C, de (na)groei van micro-organismen (zoals Legionella en andere ziekte veroorzakers) sterk toeneemt. De Wereldgezondheidsraad adviseert daarom om temperaturen van het leidingwater niet te laten toenemen tot meer dan 25°C.

De WHO doet haar uitspraak over de temperatuur van leidingwater. In Nederland is er een directe link tussen de temperatuur van het leidingwater en het ingenomen water. In de zomer is de temperatuur van het leidingwater gelijk aan de temperatuur van het ingenomen water. Omdat gedurende de zomer het water vanaf het innamepunt tot aan de kraan nauwelijks van temperatuur verandert, dient het ingenomen oppervlaktewater de 25°C niet te overschrijden. Bij temperaturen in het leidingnetwerk hoger dan 20 á 25°C, neemt de (na)groei van micro-organismen sterk toe. Temperatuurverhoging leidt ook tot smaak-, geur- en kleurproblemen van het drinkwater en vergroot het de corrosie van de leidingen tijdens het transport.

2.2.1 Wettelijke temperatuurnormen

De Europese Drinkwaterrichtlijn 75/440 heeft betrekking op de eisen waaraan de kwaliteit van zoet oppervlaktewater moet voldoen, dat bestemd is voor de drinkwaterproductie. De 75/440/EEG legt een grenswaarde van 25°C op en stelt een streefwaarde van 22°C. Nederland heeft de eisen uit deze Europese drinkwaterrichtlijn geïmplementeerd in het Besluit kwaliteitsdoelstellingen en metingen wateren (BKMW, in bijlage I van dit Besluit) en het Waterleidingbesluit (in bijlage D van dit Besluit). De temperatuurnorm voor oppervlaktewater bestemd voor de bereiding van drinkwater is daarmee wettelijk op 25°C. In de praktijk wordt door het Ministerie van V&W tijdens langdurig warme zomers hogere temperaturen gedoogd om zodoende de koelwaterlozingen mogelijk te maken. Hoe lang deze periodes mogen duren is niet vastgelegd.

Richtlijn 75/440/EEG is eind 2007 vervallen en overgaan in de Kaderrichtlijn water (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 wordt afgeleid dat de doelstellingen van 75/440/EEG ten minste moeten worden gehandhaafd. Deze KRW-eis voor behoud van het huidige beschermingsniveau is in het nieuwe BKMW 2009 gerealiseerd door behoud van de 25°C norm op innamepunten (bijlage IV, tabel 1 en 2). Dit nieuwe BKMW is op 6 november gepubliceerd in de Staatscourant (2008 - nr 476) en wordt in 2009 van kracht.

Drinkwaterbedrijven onttrekken ook oppervlaktewater voor infiltratie in de duinen, het Infiltratiebesluit (Wet bodembescherming) legt kwaliteitsnormen op voor water dat geïnfiltrerd mag worden. Het Infiltratiebesluit bevat geen temperatuurnormen.

In het oude BKMW zijn ook temperatuurseisen voor water voor karperachtige, zalmachtige en schelpdierwater opgenomen. In het nieuwe BKMW zijn deze vervangen door een temperatuurnorm die bij de Goede Ecologische Toestand hoort (25°C), zie Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Vergelijking van temperatuurnormen in het oude BKMW en de opvolger, het BKMW2009.

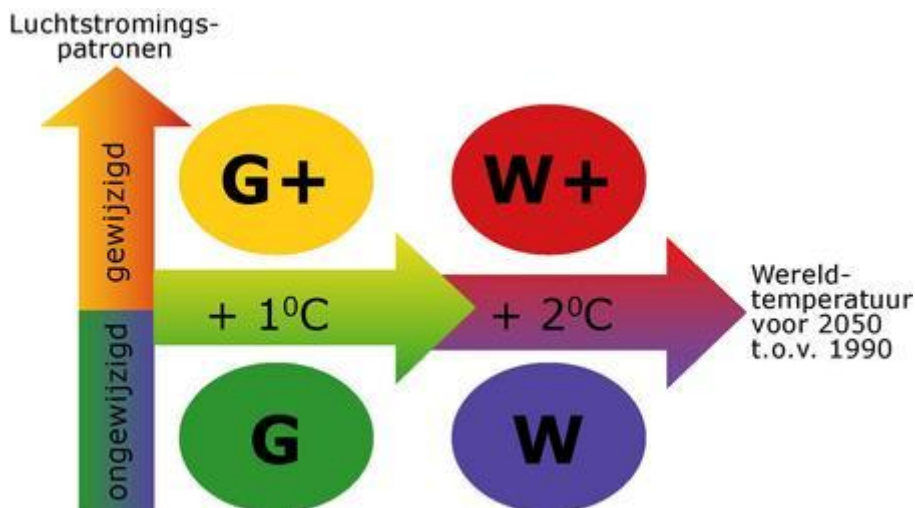
Functie	Oude BKMW		BKMW 2009	
	Maximum temperatuur	Verhoging t.o.v. de natuurlijke waarde	maximum temp. (Bijlage IV tabel 1 en 2)	GET (goede ecologische toestand)
Oppervlaktewater voor de bereiding van drinkwater	25°C	-	25°C	n.v.t.
Water voor karperachtigen	28 °C	3°C	-	n.v.t.
Water voor zalmachtigen	21.5°C	1.5°C	-	n.v.t.
Schelpdierwater	25°C	2°C	-	n.v.t.
KRW definitie: natuurlijke wateren	n.v.t.	n.v.t.	-	25 °C

2.3 KNMI'06 klimaatscenario's W en W+

De klimaatscenario's worden door het KNMI omschreven als "consistente en plausibele beelden van een mogelijk toekomstig klimaat". Ze geven aan in welke mate temperatuur, neerslag, wind, etc. kunnen veranderen, bij een bepaalde mondiale klimaatverandering. Er zijn vier klimaatscenario's voor Nederland door het KNMI ontwikkeld. Deze scenario's zijn vergelijkbaar de WB21 scenario's uit 2006. Echter zijn er bij de totstandkoming van de nieuwe klimaatscenario's wel andere methoden en basisgegevens gebruikt (www.KNMI.nl). Voor de indeling van de klimaatscenario's is het KNMI uitgegaan van twee aspecten waarvan verwacht wordt dat ze het meest bepalend zullen zijn voor de klimaatverandering in Nederland (Van Vliet et al., 2008). Deze zijn:

1. de mondiale temperatuurstijging, waarbij wordt uitgegaan van +1 of +2°C in 2050 t.o.v. 1990, en
2. sterke of minder sterke veranderingen in stromingspatronen (circulatie). Onder een sterke verandering in circulatie zal er tijdens de winter meer westenwind zijn, wat resulteert in warmere en vochtigere condities; tijdens de zomer zal er juist meer dominantie van oostenwind zijn, waardoor er dan meer droge en warme situaties voorkomen.

Deze indeling resulteerde in vier scenario's die volgens het KNMI allemaal even waarschijnlijk zijn: G, G+, W en W+ (zie Figuur 2.5). De 'gematigde' scenario's (G en G+) zijn gebaseerd op een mondiale temperatuurstijging van +1°C en voor de 'warme' scenario's (W en W+) is deze stijging +2°C. De "+" scenario's (G+ en W+) gaan uit van een verandering in atmosferische circulatie, terwijl er bij G en W wordt aangenomen dat er weinig verandering hierin zal optreden.



Figuur 2.5 Visualisatie KNMI scenario's G en W. Bron: www.KNMI.nl.

In dit onderzoek is er voor gekozen om de scenario's W (warm) en W+ (warm +) nader uit te werken aangezien dit de meest extreme scenario's zijn waarbij eventuele effecten het grootst zijn. De verandering in variabelen zijn voor heel Nederland gelijk, dus geven geen differentiatie naar provincie of streek.

De klimaatscenario's zijn geen lange-termijn weersverwachtingen. Dit betekent dat ze geen uitspraken doen over het weer op een bepaalde datum, maar alleen over het gemiddelde weer en de kans op extreem weer in de toekomst (www.KMNI.nl).

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. De volgorde van temperatuurwisselingen, jaar-op-jaar variaties, etc. rond 2050 zijn sterk bepaald door wat er in de periode 1976-2005 is gebeurd.

3 Methode

3.1 Aanleiding

In dit onderzoek is de watertemperatuur van de Rijkswateren bestudeerd volgens verschillende scenario's en vergeleken met de temperatuureisen van vissen die o.a. voor de paai en migratie afhankelijk zijn van de watertemperatuur, en met de norm voor drinkwaterproductie. De bestudeerde scenario's zijn: i) huidige situatie; ii) KNMI'06 scenario W rond 2050; iii) KNMI'06 scenario W+ rond 2050; en vi) het jaar 2003.

Ten eerste zijn relevante locaties voor visecologie en drinkwaterproductie in de rivieren Maas, Rijn (inclusief Rijntakken), IJssel en in het IJsselmeer gekozen. Dit is in paragraaf 3.2 beschreven. Vervolgens zijn voor dit onderzoek de temperatuureisen voor de vissen zalm, spiering, barbeel en kwabaal gedefinieerd. Dit is in paragraaf 3.3 samengevat.

De watertemperatuurgegevens voor de huidige situatie en rond 2050 zijn afkomstig van de studie Kallen et al. (2008). In deze studie zijn 31 jaar doorgerekend met het Landelijk Temperatuurmodel (LTM) per scenario en de daggemiddelde watertemperatuur van de Rijkswateren gesimuleerd. Paragraaf 3.4 geeft een korte samenvatting van het modelopzet zoals in Kallen et al. (2008). Meer informatie hierover kan gevonden worden in hun rapport 'Bepaling koelcapaciteit van Rijkswateren'. Voor de watertemperatuur in het jaar 2003 is een aparte berekening uitgevoerd met het LTM. Dit is in paragraaf 3.5 beschreven.

Om de daggemiddelde veranderingen in de watertemperatuur volgens de KNMI'06 scenario's ten opzicht van de huidige situatie in te schatten, zijn ten eerste de gemiddelde watertemperaturen in de periode van 31 jaar berekend op dag basis voor de huidige situatie en de KNMI'06 scenario's. Hiervoor is een analyse uitgevoerd van de kwaliteit van de modelresultaten van Kallen et al (2008). Wanneer de maand januari is gebruikt als inspeeltijd voor de simulatie zijn de resultaten in deze maand weggehaald van de dataset. Bovendien zijn niet alle jaren volledige doorgerekend. Vervolgens is de watertemperatuuroename volgens de KNMI'06 scenario's ten opzichte van de huidige situatie berekend. Dit is gedaan voor alle geselecteerde locaties.

De frequentie van overschrijding van de temperatuureisen en –norm wordt per scenario berekend op basis van het aantal dagen wanneer sprake zal zijn van een overschrijding van de temperatuureisen binnen de gehele periode van 31 jaar. Dit kan resulteren in een hoeveelheid van dagen groter dan het aantal dagen in een jaar (> 365 dagen). De frequentie van overschrijding wordt afgedrukt als percentage van de tijd. Dit is dan het aantal dagen wanneer een overschrijding plaatsvindt gedeeld door het totale aantal dagen binnen een periode van 31 jaar (of wanneer modelresultaten beschikbaar zijn).

Op basis hiervan kunnen uitspraken gedaan worden over toekomstig knelpunt ten aanzien van watertemperatuur voor de drinkwaterproductie en bepaalde vissoorten.

3.2 Geselecteerde locaties

De watertemperatuur van de grote rivieren is één van de voorwaarden voor de zalm om de rivieren op te migreren (Laak, 2007). De overige geselecteerde vissoorten kunnen gebruik maken van het gehele rivierensysteem is hiermee rekening gehouden bij het selecteren van de meetlocaties. Er zijn een aantal locaties bij de monding van de grote rivieren geselecteerd omdat hier de watertemperatuur een trigger is voor de zalm om de rivier om te trekken. Verder zijn een aantal locaties midden in het land en op de locaties waar de rivieren Nederland binnen komen uitgekozen. Op deze wijze wordt een temperatuur-transect verkregen van de grote rivieren. Voor de spiering is gezien het feit dat deze soort voornamelijk in en rond het IJsselmeergebied wordt aangetroffen specifiek gekozen voor een meetpunt bovenstrooms in de IJssel en in het IJsselmeer bij de Afsluitdijk. In tabel 3.4 worden de geselecteerde locaties voor visecologie weergegeven.

Tabel 3.1 toont de locaties in de Maas- en Rijnstroomgebied waarop de modelresultaten worden getoetst aan de drinkwaternorm. Oplettend is dat de locaties Lobith en Eijsden randen van het LTM zijn. In Figuur 3.1 wordt een overzichtskaat geselecteerde locaties weergegeven.

Tabel 3.1 Overzicht van geselecteerde meetlocaties en waterlichamen gekoppeld aan de vissoort waarvoor het water van belang is.

Locaties (SOBEK ID)	Afkorting	Waterlichaam	Argumentatie	Vissoort
Kampen (KAMPN)	KMP	IJssel	Midden transect	Zalm / kwabaal / spiering
Den Oever (DENOVR)	DOE	IJsselmeer	IJsselmeer	Spiering
Haringevlietsluis (HARVSS)	HRV	Haringvliet	Monding/delta	Zalm
Hoek van Holland (HOEKVHRTOVR)	HVH	Nieuwe waterweg	Monding/delta	Zalm
Meers km 32.8 RO (MEERSKM32.8)	MRS	Grensmaas	Grensmaas/midden transect	Zalm / barbeel / kwabaal
Belfeld, boven (BELFBVN)	BEL	Maas	Midden transect	Zalm / barbeel / kwabaal
Lobith	LOB	Rijn	Grens Duitsland	Zalm / barbeel / kwabaal
De Mosterdpot (DEMTCPBSD)	DMP	Waal	Midden transect	Zalm
Nieuwegein (NIEUWGN)	NWG	Lek	Midden transect	Zalm / barbeel / kwabaal

Tabel 3.2 *Overzicht van relevante locaties voor de drinkwaterproductie.*

Locatie (SOBEK ID)	Afkorting	Stroomgebied
Eijsden	EIJS	Maas
Heel	HEEL	Maas
Gat van de Kerksloot of Keizersveer (KEIZVR)	KEIZ	Maas
Lobith	LOB	Rijn
Nieuwegein (NIEUWGN)	NWG	Rijn
Nieuwersluis (NIEUWSS)	NWS	Rijn
Andijk (ANDK)	ANDK	Rijn



Figuur 3.1 Overzichtskaart van de geselecteerde locaties. Groen: visecologie. Rood: drinkwater. Nieuwegein is zowel voor drinkwaterproductie als voor visecologie gekozen.

3.3 Temperatuureisen voor visecologie

Voor vissen zijn drie verschillende levensfasen onderscheiden: eifase, juveniele fase en de adultfase. Gedurende deze levensfasen worden verschillende vereisten aan de biotische en abiotische omgeving gesteld, zo ook aan de watertemperatuur. Daarbij is het zo dat de verschillende levensfase veelal in verschillende seizoenen aanwezig zijn. Als één levensfase bedreigd wordt kan dat grote gevolgen hebben voor de toekomst van de soort in het algemeen. Het is dus van groot belang dat als naar de effecten van watertemperatuur op vissen wordt gekeken, er een onderscheid moet worden gemaakt in de verschillende levensfase.

De vissen die in dit onderzoek centraal staan zetten allen eieren af op substraten of waterplanten. Onder juvenielen worden niet geslachtsrijpe individuen van een soort verstaan. Van zalmen is bekend dat juvenielen enkele jaren oud kunnen zijn. Zo worden juveniele zalmen die naar zee trekken "smolts" genaamd. Van Herpen et al., 2008 geven aan dat smolts een leeftijd van wel 7 jaar kunnen bereiken voordat het adulte stadium wordt bereikt. Adulte vissen zijn paairijpe en volwassen individuen van een soort.

Tabel 3.3 *Overzicht watertemperatuur in °C voor de drie levensfasen van de geselecteerde vissoorten (Bron: Kroes et al., 2007, De Nie, 1996, Laak, 2007).*

Vissoort	Periode/temp eifase	Periode/temp juveniel	Periode/temp adult
Zalm	Oktober t/m januari, 3-8°C	Migratie in april- juni, max 22 °C (optimum 16-20 °C)	Migratie voorjaar naar zoetwater, problemen bij 25 °C, max 28 °C (optimum 6-20 °C)
Spiering	Februari t/m april, 4-12°C	Gehele jaar, problemen bij 23°C, sterfte bij 25°C	
Kwabaal	December t/m januari, 1-6°C	Gehele jaar, max 20°C	Gehele jaar, max 20°C (optimum 11,4 °C)
Barbeel	April t/m juni, 10-20°C	Gehele jaar, 17-25°C	Gehele jaar, max 30°C Paaitrek voorjaar, watertemperatuur >8 °C

Bij bovenstaande tabel 3.3 dient opgemerkt te worden dat zalmen in Nederland geen eieren afzetten. Deze levensfase is dus niet van belang voor dit onderzoek. Juveniele zalmen en adulte zalmen maken alleen gedurende de migratie gebruik van de Nederlandse grote rivieren. Van de barbeel is ook bekend dat deze stroomopwaarts paait maar er worden ook steeds meer bewijzen gevonden dat deze soort zich ook in Nederland, net als in de vorige eeuw succesvol voort kan planten. Er is dus voor gekozen om uitgezonderd de eieren van de zalm alle levensfasen van de geselecteerde soorten mee te nemen in dit onderzoek.

3.4 Watertemperatuur in de huidige situatie en rond 2050

In de studie 'Bepaling koelcapaciteit van Rijkswateren' (Kallen et al., 2008) zijn de huidige situatie en de KNMI'06 scenario's W en W+ rond het jaar 2050 berekend met het Landelijk Temperatuurmodel (LTM). Het LTM is een SOBEK River toepassing en geschikt om de watertemperatuur in Nederlandse Rijkswateren te berekenen. Sinds 2003 is het LTM in ontwikkeling en in 2006 is door WL | Delft Hydraulics een verificatie van het model uitgevoerd (Boderie et al., 2006). Vervolgens zijn in 2007 nog enkele verbeteringen geïmplementeerd (Boderie en Visser, 2007). Het modelinstrument maakt gebruik van informatie over de rivierafvoeren, de meteorologie (ruimtelijk gedifferentieerd), de watertemperaturen en de warmtelozingen. Daarmee is het instrument geschikt voor regionale toepassing om de effecten van de natuurlijke opwarming en de koelwaterlozingen op de watertemperatuur te kwantificeren.

In de studie van Kallen et al. (2008) is de periode 1970 tot en met 2000 gekozen om de huidige situatie statistisch te kunnen beschrijven. Dit betekent dat 31 simulaties zijn uitgevoerd met het LTM. De modelresultaten zijn op dagbasis en betreffen de riviertemperatuur op verschillende locaties in de Rijkswateren.

Daarnaast is de watertemperatuur rond 2050 (periode 2045-2075) gesimuleerd, op basis van de KNMI'06 scenario's W en W+ en de modelresultaten van de huidige situatie. De KNMI'06 scenario's W en W+ zijn twee 'warme' scenario's en geven voor potentiële verdamping, neerslag en omgevingstemperatuur een relatieve verandering (percentuele verandering) of een absolute verandering per decade. Echter, de KNMI'06 scenario's geven geen verandering voor globale straling, zonneschijnduur, relatieve luchtvochtigheid, luchtdruk, windsnelheid, afvoer of watertemperatuur. Deze zijn relevante modelparameters van het LTM. Hiervoor zijn in samenwerking met de Waterdienst en het KNMI afspraken gemaakt. Bijlage A geeft een samenvatting weer van de implementatie van de KNMI'06 scenario's in het LTM zoals in Kallen et al. (2008).

Oplettend is dat de binnenlandse lozingen in beide scenario's gelijk zijn gehouden aan de huidige situatie. Door mogelijke veranderingen in de energie productie en bijdrage van energie bronnen aan de totale productie, zoals verbeteringen in de thermische efficiëntie van koelsystemen wordt verwacht dat de warmtelozingen rond 2050 zullen veranderen. Echter, deze informatie was niet beschikbaar voor deze studie.

3.5 Watertemperatuur in het jaar 2003

Voor het kwantificeren van de effecten van de natuurlijke opwarming en de koelwaterlozingen op de watertemperatuur van de Nederlandse Rijn, Maas en IJsselmeer in het jaar 2003 is LTM met gegevens voor het betreffende jaar. Een volledige beschrijving van het opzet van het model is te vinden in Boderie en Visser (2007).

De hydrodynamische modelranden zijn uit de database Waterbase gehaald. Voor alle zeeranden (Haringvliet, Hoek van Holland en IJmuiden) en de twee Waddenzeeranden (Den Oever en Kornwerderzand) zijn waterstanden gebruikt. Voor de rivieren wordt net als in de vorige studie gebruik gemaakt van gemeten debieten bij Lobith (Rijn), Eijsden (Maas) en Emmerichheim (Vecht).

De gegevens watertemperatuur van de zeeranden (Noordzee bij IJsselmeer, Noordzee bij IJmuiden, Maasmond en Haringvliet) en de rivierranden (Maas bij Eijsden en Rijn bij Lobith) zijn afkomstig van website van Waterbase. Voor de laterale instromen is de watertemperatuur afgeleid uit de luchttemperatuur in het jaar 2003 zoals in Boderie en Visser (2007) is beschreven. De luchttemperatuurgegevens zijn afkomstig van de website van het KNMI.

De meteorologische condities zijn bepalend voor de uitwisseling van warmte tussen de atmosfeer en de rivier. Het LTM maakt gebruik van gegevens van 10 weerstations in Nederland. In dit onderzoek zijn daggemiddelde waarden van de meteorologische parameters voor het jaar 2003 gebruikt. De gegevens zijn afkomstig van het KNMI en betreffen de volgenden parameters:

- Luchttemperatuur (°C);
- Luchtdruk (mbar);
- Relatieve luchtvochtigheid (%);
- Windsnelheid (m/s);
- Zonuren (uur);
- Globale straling (W/m²);
- Wolkbedekkingsgraad (%).

De inventarisatie van actuele lozingen betreft in het LTM de periode 2000-2005.

4 Resultaten

4.1 Aanleiding

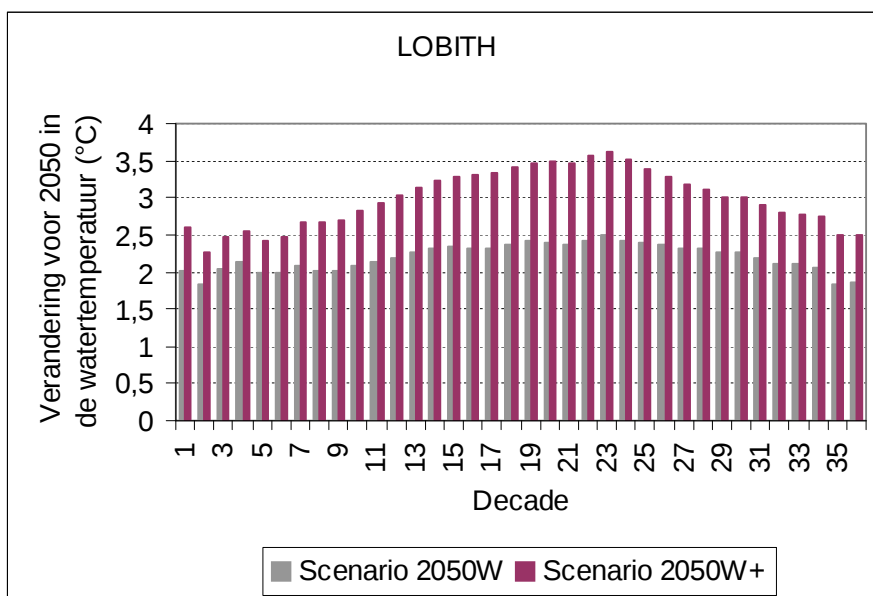
Dit hoofdstuk begint met de resultaten van de daggemiddelde toename in de watertemperatuur volgens de KNMI'06 scenario's W en W+ ten opzichte van de huidige situatie. De toetsingsresultaten aan de temperatuureisen van vissen en drinkwater voor de vier scenario's zijn in het tweede gedeelte van dit hoofdstuk beschreven.

4.2 Gemiddelde verandering in watertemperatuur volgens de KNMI'06 scenario's W en W+

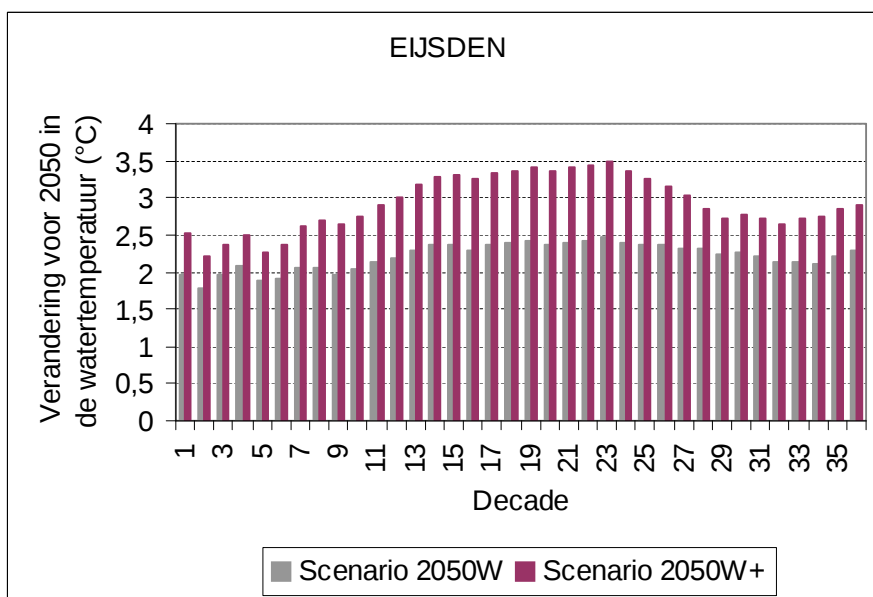
Uit de analyse van de modelresultaten valt direct op dat voor het W scenario rond 2050 meer dagen met een hogere watertemperatuur zullen voorkomen in vergelijking met de huidige situatie. Ook zien we dat voor het W+ scenario meer dagen met hogere watertemperatuur in vergelijking met het W scenario. Daarbij laat het model ook aanzienlijke verschillen in watertemperatuur zien tussen de verschillende locaties. De volgorde van temperatuurwisseling, jaar-op-jaar variaties rond 2050 zijn sterk bepaald door wat er in het verleden (1970-2000) is gebeurd. Figuur 4.1 en 4.2 tonen de absolute watertemperatuurstijging voor 2050 per decade ten opzichte van de huidige situatie in de Rijn (bij Lobith) en in de Maas (bij Eijsden). De grafieken met de resultaten voor andere locaties zijn in bijlage C weergegeven. Tabel 4.1 geeft de maximale en minimale temperatuurstijging in de toekomst ten opzichte van de huidige situatie, samen met de maand wanneer deze plaatsvinden.

De toename van watertemperatuur varieert in het jaar. De variatie is gering voor het W scenario dan voor het W+ scenario. De temperatuurstijging in de zomer is groter dan in de winter. In de toekomst zou in het W scenario de temperatuurstijging in de Rijn bij Lobith en in de Maas bij Eijsden ca. 2°C in de zomer en 2,5°C in de zomer zijn. Dit is vooral het resultaat van de 2°C stijging in de luchttemperatuur in 2050 die het KNMI voor dit scenario voorspeld. In vergelijking met het W+ scenario is de relatieve verandering voor de afvoer in beide rivieren groter. De hoge afvoer lijkt veroorzaakt te worden door een kleinere neerslagtekort. Neerslagtekort is het verschil tussen de verdamping en de netto neerslag.

In het meest extreme scenario (W+) zal variatie van de watertemperatuur in het jaar groter zijn. Dit is niet alleen in de winter en zomer, maar ook in het voorjaar en najaar. Bij Lobith in de Rijn en Eijsden in de Maas zou de temperatuurstijging in de winter onder de 2,5°C beginnen en tot boven de 3,5°C in de zomer lopen. Dit is het resultaat van de 2°C stijging in de luchttemperatuur in 2050 en de veranderingen in luchtstromingspatronen waardoor de winter zachter en natter worden en de zomers warmer en droger. In vergelijking met het W scenario neemt de neerslag neemt in het W+ scenario af, terwijl de verdamping veel meer toeneemt. Dit resulteert in een grotere neerslagtekort.



Figuur 4.1 Absolute watertemperatuurverandering voor 2050 in de Rijn bij Lobith ten opzichte van 2000.



Figuur 4.2 Absolute watertemperatuurverandering voor 2050 in de Maas bij Eijsden ten opzichte van 2000.

Tabel 4.1 Gemiddelde maximale en minimale temperatuuroptename in 2050 voor KNMI'06 scenario's W en W+ ten opzichte van de huidige situatie.

Stroomgebied	Locatie	Scenario W				Scenario W+			
		Max. Toename		Min. Toename		Max. Toename		Min. Toename	
		ΔT (°C)	Maand Nr	ΔT (°C)	Maand Nr	ΔT (°C)	Maand Nr	ΔT (°C)	Maand Nr
	LOB	2,5	8	1,7	1	3,7	8	2,2	1
	DMP	2,1	12	1,3	1	2,9	7	1,7	1
	NWG (drinkwater)	2,3	3	1,3	8	3	3	1,4	11
	NWS (drinkwater)	2,4	1	1,1	12	2,8	8	1	1
	HRV	2	12	1,2	1	2,7	8	1,7	1
	HVH	2	12	1,2	1	2,7	7	1,7	1
	KMP	2,1	12	1,1	1	2,8	7	1,5	1
	DOE	2	12	1,1	1	2,8	8	1,6	1
	AND (drinkwater)	1,9	12	1,3	1	2,6	8	1,4	1
	EIJS	2,5	8	1,7	1	3,5	8	2,1	1
	BEL	2,1	12	1,1	1	2,9	8	1,4	1
	MRS	2,3	12	1,3	1	2,8	12	1,6	10
	HEEL (drinkwater)	2	12	0,8	1	2,6	8	1,3	1
	KEIZ (drinkwater)	1,9	12	1,3	1	2,9	8	1,3	1

4.3 Overschrijding van de temperatuureisen

4.3.1 Visecologie

Wat de te verwachten stijging van de watertemperatuur nu concreet voor de verschillende vissoorten en de productie van drinkwater inhoud zal hieronder worden beschreven. Het absolute aantal dagen in de huidige situatie en rond 2050 (voor de KNMI scenario's W en W+) wanneer sprake zal zijn van een overschrijding van de temperatuureisen van vissen is in bijlage B weergegeven.

Zalm

Voor de twee scenario's blijkt uit de hier uitgevoerde modelberekeningen dat het aantal dagen in de periode april t/m juni met een temperatuur van boven de 22 graden met een gemiddelde factor 4 voor het W scenario en een factor 8 voor het W+ scenario zal toenemen. Dit houdt in dat, uitgaande van het meest extreme scenario de migratie van juvenielen in de toekomst al aanzienlijk verstoord zal raken. Bij de monding zijn er grote verschillen in de tijdsduur te zien tussen de Haringvlietsluis en Hoek van Holland. De gemiddelde temperatuurverhoging bij Hoek van Holland ligt in de periode april tot en met juni wat hoger dan bij de andere locaties. De locatie Haringvlietsluis ligt in het model voor de sluis. In de Rijn is bij Lobith de overschrijding van de 22°C in de periode april tot en met juni zowel in de huidige situatie als rond 2050 de hoogste. De watertemperatuur koelt benedenstroom van Lobith af en als resultaat is de tijdsduur in de Waal bij De Mosterdpot en in de Lek bij Nieuwegein lager. Echter, de resultaten laten een hogere overschrijding in de Waal dan in de Lek zien. Opmerkelijk zijn de resultaten bij Meers, die gelijke tijdsduurwaarden aan Lobith tonen.

Uit literatuurstudie blijkt dat de bovengrens van salmoniden in Nederland rond de 23°C ligt. De letale temperatuur voor adulte zalmen ligt rond de 28 tot 30,5°C. Echter, van belang is om te analyseren waanneer migratie van zalm belemmerd wordt. Dit zal gebeuren bij temperatuur boven de 25°C. Uit modelberekeningen blijkt dat het te verwachte aantal dagen boven de 25°C rond het jaar 2050 opmerkelijk is. De maximale overschrijdingsfrequentie zou in het W scenario 4,8% (in de Rijn bij Lobith) zijn. In het meest extreem scenario zal de watertemperatuur tot 10% van de dagen boven de 25°C liggen.

De resultaten in 2003 laten een hogere tijdsduur van de 22°C-temperatuureis bij Lobith zien dan in de huidige situatie maar lager dan rond 2050. In de maanden april tot en met juni zijn in 2003 geen temperaturen boven 25°C geregistreerd.

Tabel 4.2 Overzicht tijdsduur in de periode april –juni waarbij voor de juveniele en adulte fase van de zalm een overschrijding van de maximale temperatuur optreed voor de huidige situatie, rond 2050 en in het jaar 2003.

Juveniel	Temp. eis	Rijn/Rijntakken				Maas/Grensmaas			Monding/Delta	
		LOB	NWG	DMP	KMP	EIJS	MRS	BEL	HRV	HVH
Huidige situatie	>22°C (4 t/m 6)	4,6%	0,7%	3,4%	2,0%	9,6%	5,2%	1,0%	0,0%	1,0%
2050W		18,3%	5,1%	15,0%	9,9%	25,2%	16,4%	4,8%	0,2%	6,0%
2050W+		28,1%	11,0%	11,0%	17,0%	33,6%	24,7%	10,1%	1,6%	12,9%
2003		7,4%	0,8%	7,7%	6,3%	7,9%	6,8%	6,3%	0,0%	3,3%

Adult	Temp. eis	Rijn/Rijntakken				Maas/Grensmaas			Monding/Delta	
		LOB	NWG	DMP	KMP	EIJS	MRS	BEL	HRV	HVH
Huidige situatie	>25°C (4 t/m 6)	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2050W		1,2%	0,0%	0,9%	0,5%	3,2%	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%
2050W+		3,3%	0,5%	2,5%	1,8%	7,6%	3,1%	0,5%	0,0%	0,6%
2003		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Adult	Temp. eis	Rijn/Rijntakken				Maas/Grensmaas			Monding/Delta	
		LOB	NWG	DMP	KMP	EIJS	MRS	BEL	HRV	HVH
Huidige situatie	>28°C (4 t/m 6)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2050W		0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2050W+		0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2003		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Spiering

Verwacht wordt dat het aantal dagen boven de 12 graden in de periode februari tot en met april zullen toenemen rond het jaar 2050. De afkoeling in het IJsselmeer komt uit de resultaten duidelijk naar voren. Bij Kampen is de tijdsduur van overschrijding in de huidige situatie hoger dan in de IJsselmeer (15%) en zal naar verwachtingen tot 36% rond 2050 toenemen. De eifase van de spiering kan hiermee in gevaar komen.

Het is nog opvallender dat het aantal dagen met een watertemperatuur van boven de 23°C, waarbij de spiering zuurstofproblemen ondervindt. Dit zal in de toekomst toenemen. Met name het W+ scenario voorspelt dat rond het jaar 2050 een groot aantal dagen boven deze grens zal komen. Ten opzichte van de huidige situatie is dit een toename met een factor 7 bij de IJsselmeer en een factor 5 bij de IJssel. De W en W+ scenario's geven aan dat het aantal dagen dat het zelfs boven de 25°C zal komen aanzienlijk vaak voor zou kunnen komen. Op basis van deze modelgegevens ziet het er uit dat de juveniele en adulte spiering het in de toekomst nog moeilijker gaat krijgen in het IJsselmeergebied.

De modelresultaten van het jaar 2003 laten een tijdsduur van overschrijding van de 23°C hoger dan rond 2050 volgens de W scenario. Met betrekking tot de temperatuureis van 25°C is de overschrijding in 2003 bij Kampen hoger dan die van de scenario W. Dit is vooral het resultaat van de hittegolf in 2003 ten opzicht van een gemiddelde tijdsduur van de periode rond 2050.

Tabel 4.3 Overzicht tijdsduur in relevante perioden waarbij voor de ei- juveniel- en adulte fase van de spiering een overschrijding van de maximale temperatuur optreedt voor de huidige situatie, rond 2050 en in het jaar 2003.

Ei	Temp. eis	IJsselmeer	IJssel
		DOE	KMP
Huidige situatie	>12°C (2 t/m 4)	0,7%	14,9%
2050W		3,1%	28,7%
2050W+		6,1%	35,6%
2003		1,6%	4,1%

Juveniel / Adult	Temp. eis	IJsselmeer	IJssel
		DOE	KMP
Huidige situatie	>23°C (heel jaar)	0,7%	2,9%
	>25°C (heel jaar)	0,0%	0,4%
2050W	>23°C (heel jaar)	1,9%	8,4%
	>25°C (heel jaar)	0,4%	2,0%
2050W+	>23°C (heel jaar)	4,6%	14,1%
	>25°C (heel jaar)	1,1%	4,3%
2003	>23°C (heel jaar)	1,9%	10,7%
	>25°C (heel jaar)	0,0%	2,7%

Kwabaal

Als naar locaties in de grote rivieren wordt gekeken zien we in de resultaten van het model dezelfde trends als bij de hierboven beschreven vissoorten. Er worden meer dagen verwacht met een hogere watertemperatuur. Dit geldt zowel voor de winter als voor de zomerperioden. Het larvale stadium is vrij gevoelig aan temperatuurverhoringen en schommelingen. De maximale temperatuur voor de eieren van 6°C in december en januari wordt in de huidige situatie bij Lobith, de Mosterdpot, Meers en Kampen meer dan helft van de tijd overschreden. Rond 2050 zal dit naar verwachtingen bij alle locaties plaatsvinden. Sterker nog bij een aantal locaties zal de tijdsduur van overschrijding rond 2050 boven 90% komen. Het ziet er naar uit dat door de toename van het aantal dagen boven het optimum (11,4°C) en zelfs boven maximum (20°C) de kwabaal het erg moeilijk gaat krijgen in de Nederlandse grote rivieren rond het jaar 2050. Dit is al in de huidige situatie het geval (tijdsduur tussen 11 en 26%).

Opvallender is dat in het jaar 2003 de maximale temperatuur voor eieren met een lagere frequentie wordt overschreden dan in de huidige situatie. Dit is vooral het resultaat van de lage temperaturen in december en januari die bijna de hele maand waarden onder de 6 graden bereikten. De frequentie van overschrijding van maximale temperatuur voor juveniele en adulte kwabaal in 2003 liggen hoger dan in de huidige situatie maar lager dan in 2050.

Tabel 4.4 Overzicht tijdsduur in relevante perioden waarbij voor de EI- juveniel- en adulte fase van de kwabaal een overschrijding van de maximale watertemperatuur optreedt voor de huidige situatie, rond 2050 en in het jaar 2003.

Ei	Temp. eis	Rijn/Rijntakken				Maas/Grensmaas	
		LOB	NWG	DMP	KMP	BEL	MRS
Huidige situatie	>6 °C (12 t/m 1)	85,0%	28,6%	77,4%	55,5%	43,0%	70,3%
2050W		96,8%	63,2%	93,0%	82,0%	68,8%	91,4%
2050W+		95,9%	66,6%	94,0%	85,5%	71,6%	91,4%
2003		12,6%	0,8%	7,7%	6,3%	6,3%	6,8%

Juveniel/ Adult	Temp. eis	Rijn/Rijntakken				Maas/Grensmaas	
		LOB	NWG	DMP	KMP	BEL	MRS
Huidige situatie	>20 °C (heel jaar)	25,9%	13,4%	23,6%	18,2%	11,0%	20,8%
2050W		34,7%	22,8%	32,7%	27,3%	20,3%	29,9%
2050W+		38,5%	26,5%	36,2%	30,9%	25,5%	33,2%
2003		29,9%	23,3%	28,2%	24,1%	24,1%	23,8%

Barbeel

Als naar de modelresultaten wordt gekeken valt op dat ook momenteel het aantal dagen in het voorjaar wanneer de watertemperatuur boven de 20°C uit komt groot is (tussen 7 en 21%). Wellicht is dit een oorzaak dat de barbeel hier nog niet goed kan paaieren. Kijken we naar het W en W+ scenario dan worden nog meer dagen in het voorjaar met een watertemperatuur boven de 20°C voorspeld. In de Rijn (Lobith), Waal (de Mosterdpot), Grensmaas (Meers) en IJssel (Kampen) is de frequentie van overschrijding boven de 38% van de tijd. De maximale grens van 25 °C voor juvenielen zal rond 2050 vaker worden overschreven. Momenteel ligt de tijdsduur onder de 1% en zal volgens het meest extreme scenario tot 10% uitkomen. De stijging van de overschrijdingsfrequentie van de maximale grens van 27°C waarbij adulten in de problemen komen, is rond 2050 aanzienlijk minder.

Opmerkelijk is dat het aantal dagen wanneer de watertemperatuur in het voorjaar waarden boven 8°C bereikt ongeveer hetzelfde blijft zowel in de huidige situatie als rond 2050. Deze grens geeft wanneer de paaitrek op gang komt. De resultaten laten zien dat de grote rivieren in Nederland goede condities bieden voor de paaitrek. Echter, het lijkt dat voor de eieren de voorspelde temperatuur momenteel en rond 2050 veel te hoog zijn. Er wordt verwacht dat de barbeel eerder gaat paaïen dan in de periode april/juni bij goede temperatuurcondities.

De tijdsduur van overschrijding van de temperatuureisen 8°C en 20°C in het voorjaar van 2003 is lager dan de frequenties in de huidige situatie. In het geval van de temperatuureis van 8°C is de overschrijding bijna een factor 4 lager ten opzicht van alle drie andere scenario's. De temperatuureis van 20°C is bij Lobith, De Mosterdpoed en Meers zijn met een factor groter dan 2 minder overschreden dan in de huidige situatie. Echter, door de hittegolf van 2003 zijn de temperatuurgrenzen van 25°C vaker overschreven dan momenteel en zelf vaker dan in het scenario 2050W.

Tabel 4.5 Overzicht tijdsduur in relevante perioden waarbij voor de EI- juveniel- en adulte fase van de Barbeel een overschrijding van de maximale watertemperatuur optreedt voor de huidige situatie, rond 2050 en in het jaar 2003.

Ei	Temp. eis	Rijn/Rijntakken				Maas/Grensmaas	
		LOB	NWG	DMP	KMP	BEL	MRS
Huidige situatie	>20 °C (4 t/m 6)	21,0%	7,7%	18,0%	12,4%	6,7%	19,9%
2050W		37,8%	19,1%	35,1%	27,8%	19,6%	36,0%
2050W+		45,7%	27,6%	43,0%	37,5%	26,9%	44,2%
2003		8,2%	7,4%	8,5%	8,2%	8,2%	8,5%

Juveniel	Temp. eis	Rijn/Rijntakken				Maas/Grensmaas	
		LOB	NWG	DMP	KMP	BEL	MRS
Huidige situatie	>25 °C (hele jaar)	0,9%	0,1%	0,6%	0,4%	0,1%	0,6%
2050W		4,8%	1,0%	3,6%	2,0%	0,9%	2,8%
2050W+		10,0%	2,2%	7,3%	4,3%	2,5%	5,6%
2003		5,2%	0,5%	3,6%	2,7%	3,0%	3,6%

Adult	Temp. eis	Rijn/Rijntakken				Maas/Grensmaas	
		LOB	NWG	DMP	KMP	BEL	MRS
Huidige situatie	>8 °C (4 t/m 6)	99,8%	95,6%	99,8%	99,1%	95,6%	98,3%
	>30 °C (heel jaar)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2050W	>8 °C (4 t/m 6)	99,9%	99,5%	99,9%	99,8%	98,8%	98,9%
	>30 °C (heel jaar)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
2050W+	>8 °C (4 t/m 6)	99,9%	99,9%	99,9%	99,8%	98,8%	98,9%
	>30 °C (heel jaar)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2003	>8 °C (4 t/m 6)	24,9%	24,9%	24,9%	24,9%	24,9%	24,9%
	>30 °C (heel jaar)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

4.3.2 Functie Drinkwaterproductie

De overschrijdingsfrequentie van de drinkwaternorm is weergegeven in Tabel 4.6 voor de huidige situatie, rond 2050 en het jaar 2006. Uit de resultaten blijkt dat de tijdsduur van overschrijding van de maximale temperatuur voor de drinkwaterproductie voor de huidige situatie lager dan 1% in de Rijn bij Lobith en van 1,4% in de Maas bij Eijsden. In de Maas bij Eijsden worden hogere watertemperaturen voorspeld dan in de Rijn bij Lobith. Dit is ook het geval van de resultaten voor de KNMI'06 scenario's W en W+ rond 2050. Ten opzicht van de andere locaties is de overschrijdingsfrequentie bij Lobith en Eijsden groter. Dit betekent dat zowel het Rijn- als het Maaswater benedenstroom van Lobith en Eijsden afkoelt, wellicht als resultaat van de menging met (kouder) water van de zijrivieren en afgifte van warmte aan de lucht in lange trajecten.

Wanneer naar de relevante locaties voor de drinkwatervoorziening wordt gekeken zien we dat in de huidige situatie de tijdsduur van overschrijding van de drinkwaternorm onder de 0,5% ligt. Zelfs bij Andijk vindt er geen overschrijding plaats. Naar verwachtingen zal de maximale grens rond 2050 vaker worden overschreden. Voor een aantal locaties zoals Heel en Nieuwegein zal de overschrijdingsfrequentie in 2050 ten opzicht van de huidige situatie met een factor 10 voor het W scenario en een factor 20 voor het W+ scenario toenemen. Echter, Heel en Nieuwegein zijn geen directe inname locaties voor de drinkwatervoorziening. Wel wordt bij Andijk het ingenomen water vrijwel direct verwerkt tot drinkwater (ca. 40 dagen verblijftijd in de bekken). Volgens de modelresultaten wordt bij Andijk een tijdsduur van overschrijding voorspeld van 1,1% voor het W+ scenario (ca. 4 dagen). Bij Keizersveer (Gat van de Kerksloot) is dit 1,6% (ca. 6 dagen). Wanneer een overschrijding van de wettelijke norm plaatsvindt, moeten maatregelen zoals inname stop of afkoeling in spaarbekken genomen worden. Het zit er naar uit dat door een toename van de dagen boven de norm de locatie Andijk geen risico's zou lopen. Deze situatie is haalbaar in het geval van een grote spaarbekken zoals bij Gat van de Kerksloot, waarbij de verblijftijd circa 5 maanden is.

Door de hittegolf in 2003 liggen de frequenties van normoverschrijding hoger dan die volgens de W scenario, behalve bij Eijsden, Nieuwegein en Andijk.

Tabel 4.6 *Tijdsduur van overschrijding (%) van drinkwaternorm (25°C) voor de huidige situatie, rond 2050 en in het jaar 2006.*

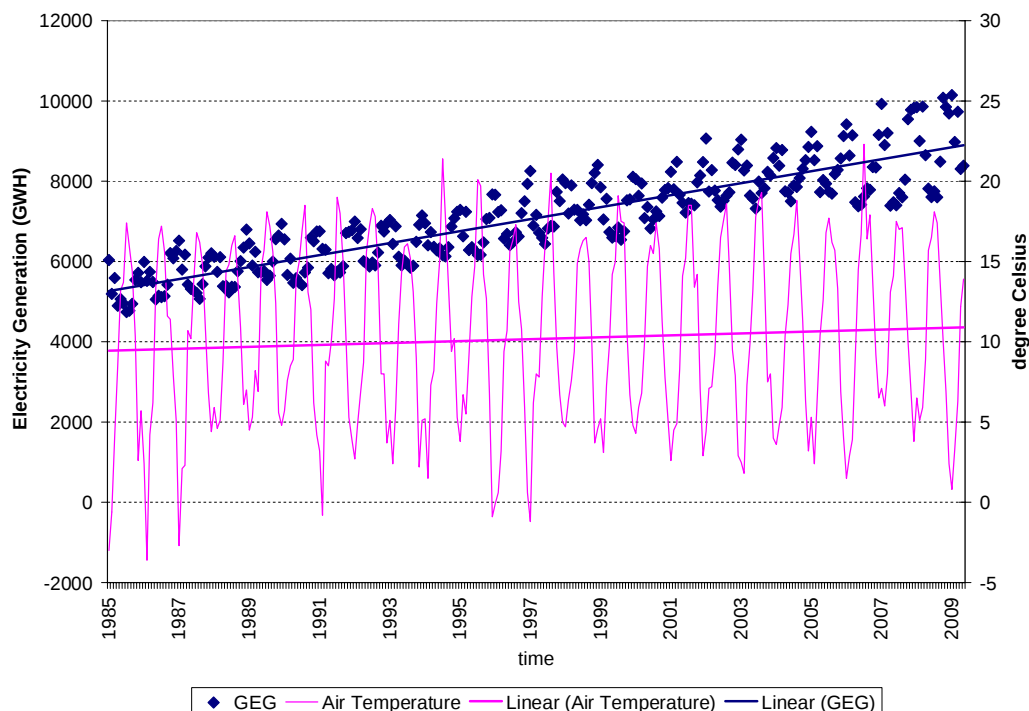
Twater > 25°C	EIJS	HEEL	KEIZ	LOB	NWG	NWS	ANDK
Huidige situatie	1,4%	0,1%	0,1%	0,9%	0,1%	0,3%	0,0%
2050W	5,6%	1,0%	0,4%	4,8%	1,0%	1,3%	0,2%
2050W+	11,0%	2,4%	1,6%	10,0%	2,2%	3,1%	1,1%
2003	3,6%	2,2%	1,1%	5,2%	0,5%	1,9%	0,0%

5 Discussie

5.1 Gemiddelde temperatuurverandering volgens KNMI'06 scenario's

Uit de analyse van de modelberekeningen valt te concluderen dat de watertemperatuur van de Rijkswateren rond het jaar 2050 voor het W als het W+ scenario zal gaan stijgen. Deze voorspelling geldt voor alle geselecteerde locaties van zowel de Rijn, Maas en IJssel. Ook de locaties waar de grote rivieren van Nederland in zee uitmonden en het IJsselmeer zullen te maken krijgen met een toenemende watertemperatuur. Met de huidige kennis is niet aan te geven welk KNMI scenario het meest waarschijnlijk is. Dit is ook het geval voor de hier berekende watertemperatuur.

Een relevante onzekerheid bij het afleiden van de KNMI'06 scenario's is de toekomstige bevolkingsgroei en de economische, technologische en sociale ontwikkelingen. In de studie van Kallen et al. (2008) zijn de binnenlandse warmtelozingen zijn in beide scenario's gelijk gehouden aan de huidige situatie. Een toename in het energiegebruik rond 2050 zou leiden tot het vermoeden dat de temperatuurverandering ten opzichte van de huidige situatie verder zal toenemen dan zoals in dit onderzoek berekend voor de toekomst. Als voorbeeld kan er naar de afgelopen 100 jaar gekeken worden waarin een toename van 2°C in de watertemperatuur (bij Lobith) door de warmtelozingen is veroorzaakt. Figuur 4.3 laat de toename zien in de bruto energieproductie (GEG) in Nederland en in de dagelijkse luchttemperatuur bij De Bilt voor de periode 1985-2009 zien.



Figuur 5.1 Bruto energieproductie (GEG) in Nederland en luchttemperatuur (De Bilt) voor de periode 1985-2009. Bron GEG: Eurostat (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home>).

De verandering van omgevingstemperatuur voor 2050 per decade volgens de KNMI'06 scenario's lopen op met 1,7 tot 1,85 graden voor het W scenario en met 2,2 tot 2,9°C voor het W+ scenario. De jaarlijkse gemiddelde watertemperatuur veranderingen in 2050 in dit onderzoek berekend liggen tussen 1,0 tot 2,4°C voor het W scenario en tussen 1,0 en 3,0 voor het W+ scenario. De breedte in verandering van de watertemperatuur voor 2050 is groter dan die van de omgevingstemperatuur. Dit is het resultaat van een gecombineerd effect van de verandering in omgevingstemperatuur en in afvoer. In de winter zal de afvoer en de omgevingstemperatuur toenemen waardoor de watertemperatuur ook zal toenemen maar zachter. Hierbij wordt een kleinere watertemperatuurverandering verwacht dan die van de omgevingstemperatuur. In de zomer zal de afvoer afnemen en de omgevingstemperatuur sterk toenemen. Dit zal leiden tot een sterkere toename van de watertemperatuur en dus een grotere verandering dan die van de omgevingstemperatuur.

Volgens een toetsing aan de klimaatscenario's voor Nederland concludeert het KNMI (KNMI, 2008) dat de gemiddelde verschillen tussen nu en 2050 nog in de meeste gevallen binnen de huidige jaar-op-jaar variatie liggen, de kans op hittegolven (zoals 2003 en 2006) meer dan de gemiddelde toeneemt en dat de extreme hitte en droogte in juni en juli goed passen in het beeld van het toekomstige zomerklimaat. Wanneer de resultaten voor 2050 worden vergeleken met die van 2003 blijkt dat de gemiddelde temperatuur in de zomer van 2003 hoger is dan die in het scenario 2050W, maar lager dan die in scenario 2050W+. In de winter van 2003 is de gemiddelde watertemperatuur lager dan de gemiddelde temperatuur in de periode 1970-2000.

5.2 Visecologie

De veronderstelde temperatuurstijging zal een bepaalde impact hebben op de ecologie. Omdat vissen ectotherme organismen zijn, zijn groei, reproductie en gedrag 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). Echter hebben in dit onderzoek een aantal koudminnende vissoorten centraal gestaan welke gevoelig zijn voor verhogingen van de temperatuur. Zoals uit dit onderzoek is gebleken stellen vissoorten verschillende eisen aan de watertemperatuur. Uit literatuuronderzoek is ook gebleken dat binnen soorten de temperatuurgrenzen variëren per levensstadia. Wat dit per soort betekent wordt in de volgende paragrafen gediscussieerd.

Naast het gegeven dat veel temperatuurgrenzen van soorten, in dit geval vissen overschreden worden wat directe sterfte tot gevolg kan hebben leidt een gemiddeld hogere watertemperatuur ook nog tot een aantal andere negatieve ecologische effecten. Naar eventuele mismatches in het voedselweb is hier geen aandacht besteed hoewel het logisch is dat deze rond 2050 eerder kunnen ontstaan in vergelijking met nu. Ook is in dit onderzoek geen rekening gehouden met de opkomst van exoten. Door de gemiddeld hogere watertemperatuur zullen bepaalde exoten, zoals de zonnebaars dominant kunnen worden waardoor het evenwicht in ecosystemen gaat verschuiven. Ook ziektekiemen en bacteriën zullen sneller groeien in warmer water, dit bleek ook uit onderzoek bij vissen die leefden bij koelwaterlozingspunten. Hier hadden brasems significant meer last van infecties van de slijmlaag.

Zalm

Voor migrerende soorten als de zalm is naast het debiet ook de temperatuur van het rivierwater bij de monding van rivieren van invloed op de mate van optrekbaarheid van zalmen (Van Herpen et al., 2008; Laak, 2007). Algemeen bekend is dat een hogere watertemperatuur het trekgedrag van vissen beïnvloed (Van Emmerik & de Nie, 2006). Van Herpen et al., 2008 geven ook aan dat de migratie van juveniele zalmen rond het jaar 2100 door te hoge watertemperaturen verstoord zal zijn. Het model wat hier gebruikt is verwacht voor adulte zalmen rond 2050 nog niet veel problemen hoewel de migratie bij de warmere dagen stil komt te liggen, en dit vaker zal optreden dan de afgelopen 30 jaar. Dat de migratie van volwassen zalmen stil komt te liggen hoeft geen negatieve effecten te hebben op de populatie (Van Emmerik & de Nie, 2006; Van Herpen et al., 2008), aangezien adulte zalmen kunnen gedurende het hele jaar de rivier op trekken (late najaar tot voorjaar). Wel zullen zalmen die het voorjaar de rivier op trekken en gedurende de zomer in het riviersysteem verblijven, last hebben van de hogere temperaturen.

De migratie van juvenielen zalmen van de opgroeiplaatsen naar zee zal rond 2050 volgens het gebruikte model verstoord raken (tot 28% van de tijd zou de watertemperatuur in het voorjaar waarden boven de 22 graden bereiken). Dit zien we vooral langs de Grensmaas en langs de Waal richting Lobith.

Spiering

De juveniele en adulte spiering zal volgens de modelresultaten heel waarschijnlijk in 2050 nog moeilijk krijgen in het IJsselmeergebied, vooral langs de IJssel (tot 14% van de tijd gedurende het hele jaar met watertemperaturen boven 23°C). Bovendien komt de eifase van de spiering kan hiermee in gevaar komen (tot 36% van de tijd boven 12°C). Dit leidt tot een vermoed dat vaker een grote sterfte van de spiering zal optreden.

Het IJsselmeer kent een aantal diepe stukken maar het grootste gedeelte is relatief ondiep waardoor het lastig wordt voor de spiering koelere diepere stukken op te zoeken. Van spiering in de Theems is thans bekend dat deze bij hogere watertemperatuur naar zee vlucht. In het IJsselmeer is dit momenteel onmogelijk doordat de spuisluizen en dijken het meer van de zee hebben afgesloten, tenzij een andere sluisbeheer wordt geïmplementeerd.

Een verhoogde temperatuur vervroegt en verlengt dus eigenlijk het paai- en groeiseizoen. Een hogere temperatuur kan daarmee leiden tot een verlenging tot een extra lichting van spiering. Er kan echter ook een voedselprobleem ontstaan (net als bij de driehoeksmosselen) doordat er dan nog niet voldoende zooplankton is. Daarnaast kunnen bij hoge zomertemperaturen effecten zijn opgetreden op de groei en overleving, ook omdat de spiering als zalmachtige een relatief hoge zuurstofbehoefte heeft. Bij hoge temperaturen daalt het zuurstofgehalte, en met name als bij windstil weer gelaagdheid in het water ontstaat, kan massale sterfte optreden. Hier ligt ook een link met de algen, die in hoge concentraties zorgen voor zuurstofloosheid.

Kwabaal

Samen met de spiering is de kwabaal het gevoeligst hier in Nederland en zullen direct bedreigd worden door een hogere watertemperatuur. Met 11% tot 26% van de tijd boven de maximale temperatuur van juveniele en adulte kwabaal is dit al het geval in de huidige situatie. Dit zou kunnen verklaren waarom de kwabaal op dit moment nauwelijks meer voorkomt. Door te warm water in winterperioden (als resultaat van zachte winters en koelwaterlozingen) komen de eieren in gevaar. Rond 2050 zal volgens de modelresultaten de watertemperatuur bij alle locaties meer dan helft van de tijd in de winter boven de 6°C opkomen.

Barbeel

Het aantal dagen wanneer de watertemperatuur in het voorjaar boven de 20°C opkomt, is in het huidige klimaat in Nederland groot en dit kan wellicht verklaren waarom de barbeel hier nog niet goed kan paaieren. Rond 2050 worden nog meer dagen in het voorjaar met hoge watertemperatuur voorspeld. Toch is bekend dat barbelen het prima doen bij hogere watertemperaturen dus wellicht dat problemen mee zullen vallen. Van alle hier beschreven vissoorten komt de barbeel het minst in de problemen rond het jaar 2050. Bovendien zien we dat het aantal dagen in het voorjaar rond 2050 wanneer de watertemperatuur boven de 8°C (begin paaitrek) niet veel verschilt ten opzichte van de huidige situatie. Dit zou kunnen betekenen dat de grote rivieren in Nederland goede condities bieden voor de paaitrek van de barbeel.

5.3 Drinkwaterproductie

Een temperatuurstijging als resultaat van klimaatverandering zal risico's brengen voor de drinkwatersector. Studies verwachten dat bij de klimaatscenario's de norm van 25°C vaker overschreden zal worden door een stijging van de maximale temperatuur in de rivieren (Zwolsman et al., 2007; van Vliet et al., 2008). Naar eventuele gevolgen van de toename van de watertemperatuur voor chemische processen (bv. verlaagde absorptie aan gronddeeltjes en hogere oplosbaarheid van stoffen) of biologische processen (bv. algenbloei) is hier geen aandacht besteed hoewel het logisch is dat deze in de toekomst vaker kunnen ontstaan (Zwolsman et al., 2007). Ook is in dit onderzoek geen rekening gehouden met effecten op diverse zuiveringsprocessen. Een temperatuurstijging als resultaat van klimaatverandering zal leiden tot effecten op de prestaties van zuiveringsprocessen, vooral biologische processen. Dit is een aandachtspunt aangezien de meeste waterzuiveringen in Nederland in meer of mindere mate op biologische processen zijn gebaseerd. Zwolsman et al (2007) noemen de volgende mogelijke gevolgen hiervan:

- Vermindering adsorptie van opgeloste stoffen door een vast adsorbens zoals bij actieve-koolfiltratie.
- Toename in de snelheid waarmee stoffen door chemische processen worden omgezet (bv. tijdens oxidatieprocessen).
- Toename in de snelheid waarmee micro-organismen worden geïnactiveerd.
- Toename in (micro)biologische nagroei(potentie) van het water.
- Afname in de zuurstofconcentratie en een toename in de vorming van biomassa bij filtratieprocessen (snelfiltratie, langzame zandfiltratie). Het resultaat hiervan is een anaërobie met negatieve effecten op de processen en tot verstopping van de filters.

In de studie 'Effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit in de Rijn en Maas' (Van Vliet et al., 2008) is het gekeken naar grenswaarden in afvoer, maar ook in watertemperatuur waarbij normoverschrijding optreden in de Rijn (bij Lobith) en Maas (bij Eijsden en Keizersveer). Vervolgens is in deze studie een analyse gemaakt van de frequentie van ontstaan van kritieke waarden in de periode 2000-2005 en voor de KNMI'06 scenario's voor 2050. Voor watertemperatuur is geen analyse gedaan voor de KNMI scenario's.

Voor het bepalen van de kritieke lucht- en watertemperatuur waarbij normoverschrijdingen optreden, zijn meetreeksen voor water- en luchttemperatuur voor de periode 2000-2005 geanalyseerd en empirische relaties ertussen afgeleid. Voor Lobith is het meteostation Twente gekozen ($R^2=0,77$), Eijsden is aan het meteostation Maastricht ($R^2=0,78$) gerelateerd en Keizersveer aan De Bilt ($R^2=0,80$). Hierbij is in deze studie het effect van de afvoer op de watertemperatuur buiten beschouwing gelaten.

De daggemiddelde luchttemperatuur over de periode 2000-2005 waarbij een overschrijding van de watertemperatuurnorm van 25°C wordt waargenomen, is 22,7°C bij Twente (Lobith), 23,6°C bij Maastricht (Eijsden) en 23,3°C bij Bilt (Keizersveer). De volgende tabel toont de tijdsduur van overschrijding van kritieke daggemiddelde luchttemperatuur voor de periode 2000-2005. Ook toont de tabel de in dit onderzoek berekende overschrijdingsfrequenties van de drinkwaternorm voor de periode 1970-2000. Behalve bij Keizersveer lijken de resultaten in dezelfde ordergrootte te zijn. Opmerkelijk is dat de periode 2000-2005 extreme jaren zoals 2003 en 2006 meeneemt, waardoor de overschrijdingsfrequentie hoger dan in de periode 1970-2000 uitkomt. Blijkbaar is de watertemperatuur bij Keizersveer gevoeliger voor hittegolven.

Tabel 5.1 Tijdsduur van overschrijding van kritieke daggemiddelde luchttemperatuur voor de periode 2000-2005 en van de drinkwaternorm voor de periode 1970-2000.

	tijd (%)		
	Lobith	Eijsden	Keizersveer
$T_{\text{lucht}} > T_{k, \text{lucht}}$, 2000-2005 (Van Vliet et al., 2008)	1,5%	1,6%	1,0%
$T_{\text{water}} > 25^\circ\text{C}$, 1970-2000	0,9%	1,4%	0,1%

Op basis van de kritieke daggemiddelde luchttemperatuur bij de meteostations Twente, Maastricht en De Bilt (Van Vliet et al., 2008) en de getransformeerde tijdreeksen voor de omgevingstemperatuur van de KNMI (http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/) zijn overschrijdingsfrequenties berekend rond 2050. Voor Twente zijn er geen tijdreeksen voor luchttemperatuur beschikbaar. Deze frequenties zijn ten opzicht van de frequenties die op basis van de modelresultaten zijn berekend, een factor 2 kleiner bij Eijsden en een meer dan een factor 3 kleiner bij Keizersveer.

	tijd (%)					
	Lobith		Eijsden		Keizersveer	
	$T_{\text{lucht}} > T_{k, \text{lucht}}$	$T_{\text{water}} > 25^\circ\text{C}$	$T_{\text{lucht}} > T_{k, \text{lucht}}$	$T_{\text{water}} > 25^\circ\text{C}$	$T_{\text{lucht}} > T_{k, \text{lucht}}$	$T_{\text{water}} > 25^\circ\text{C}$
2050W	(-)	4,8%	3,24%	5,6%	2,66%	0,4%
2050W+	(-)	10,0%	5,79%	11,0%	4,53%	1,6%

6 Conclusies

Zoals als verwacht zullen in het warme scenario rond 2050 meer dagen voorkomen met een hogere watertemperatuur in vergelijking met de huidige situatie. Bij het W+ scenario zal dit nog extremer zijn.

Bij het W+ scenario zien we rond 2050 verschillen in de watertemperatuur (1,5 - 3°C) voor de zomer- en winterperioden als resultaat van de veranderingen in de circulatiepatronen. Deze veranderingen in de circulatiepatronen zijn bij het W scenario niet meegenomen en daardoor is de watertemperatuur ongeveer constant in het jaar (ca. 1,5°C).

Uit de resultaten van dit onderzoek valt op dat de stijging in watertemperatuur als gevolg van klimaatverandering niet gelijk is aan de luchttemperatuurstijging en dus dat het tellen de wereld temperatuurstijging op aarde (2°C in 2050 voor W en W+) bij de watertemperatuur niet juist is.

Meer overschrijdingen van de temperatuureisen voor vissen en van de drinkwaternorm als gevolg van klimaatverandering zullen rond 2050 plaatsvinden. Dit is geconcludeerd bij de toekomstige situatie waarbij de warmtelozingen gelijkblijvend zoals in de huidige situatie zijn gehouden. Een toename in het energiegebruik rond 2050 zonder verbeteringen in de efficiëntie van koelsystemen zou leiden tot het vermoeden dat de temperatuurverandering verder zal toenemen dan zoals in dit onderzoek berekend. Dit zou betekenen dat de consequenties voor de visecologie en drinkwaterproductie heftiger kunnen worden.

Voor de visecologie zijn de volgende conclusies getrokken:

- Uitgaande van het meest extreme scenario zal de migratie in het voorjaar van de juveniele zalm in de toekomst aanzienlijk verstoord worden met watertemperaturen boven de 22°C tot elke drie dagen. Dit zou betekenen dat de juveniele zalm eerder in het jaar moet migreren of gedurende de zomer in het riviersysteem moet verblijven voordat hij in het late jaar gaan migreren.
- De eifase van de spiering kan rond 2050 in gevaar komen met temperaturen boven de 12°C in het voorjaar tot elke drie dagen
- In Nederland is de kwabaal de sterk bedreigde vissoort. De maximale temperatuur voor de kwabaal eieren in december en januari wordt in de huidige situatie meer dan de helft van de tijd overschreden. In de toekomst zal dit vaker plaatsvinden. Door een toename van het aantal dagen boden de optimale en maximale temperatuur in de toekomst (tot boven 35% van de tijd) zal de kwabaal het erg moeilijk krijgen in de Nederlandse grote rivieren.
- De grote rivieren in Nederland bieden goede condities in de toekomst voor de paaitrek van barbeel. Echter, voor de barbeeleieren is en wordt de temperatuur momenteel en rond 2050 veel te hoog.
- Vissen kunnen zich aanpassen om hoge temperatuur in de riviersysteem te mijden. Een strategie van de spiering is de migratie naar zee. De kwabaal zoekt direct koudere waterlagen en vermindert zijn activiteit en metabolisme in warme zomermaanden. De barbeel gaat eerder dan in de periode april/juni paaien. Vooral voor de voorjaar groep worden negatieve effecten verwacht omdat ze niet verder kunnen.

Voor de drinkwaterproductie zijn de volgende conclusies getrokken:

- De directe winningen Andijk en Gat van de Kerksloot kunnen op basis van de in dit onderzoek berekende watertemperatuur rond 2050 aan wettelijke norm voldoen dankzij de spaarbekkens. Afkoeling tussen inname en eindproduct vindt bij directe winningen alleen tijdens verblijf in het bekken plaats. De verblijftijd bij Andijk is circa 40 dagen en bij Gat van de Kerksloot circa 5 maanden. In het meest extreme scenario is het aantal dagen wanneer de watertemperatuur boven de norm komt circa 4 bij Andijk en circa 6 bij Gat van de Kerksloot.
- Verder onderzoek naar de invloed van de stijgende watertemperatuur op de filtratieprocessen. Een voorbeeld hiervan is Nieuwegein waarin het water via coagulatie en snelfiltratie wordt vorgezuiverd. Bij deze locatie kan het aantal dagen wanneer de norm rond 2050 wordt overschreden tot circa 8 dagen lopen.

7 Referenties

- Boderie, P. Meijers, E. en Peñailillo, R. (2006) Verificatie SOBEK-Landelijk temperatuurmodel. WL | Delft Hydraulics Rapport Q4166.
- Boderie, P. en Visser, T. (2007). Implementeren verbeteringen in het landelijk temperatuurmodel. In opdracht van Rijkswaterstaat, RIZA. WL | Delft Hydraulics Rapport Q4421
- Herpen, van F.C.J.; Evers, C.H.M. en Possen, B.J.H.M. (2008) Gevolgen van temperatuurstijging door klimaatverandering voor de toekomst van de Atlantische zalm (*Salmo salar* L.) in de grote rivieren
- Icke, J.; Peñailillo, R. en Meijers, E. (2005). Quick scan warmtelozingen Rijnstroomgebied. In opdracht van Rijkswaterstaat, RIZA. WL | Delft Hydraulics Rapport Q4100
- Icke, J.; Peñailillo, R. en Rutten, M. (2006). De invloed van warmtelozingen op de watertemperatuur van de Rijn Quick scan warmtelozingen Rijnstroomgebied. In opdracht van Rijkswaterstaat, RIZA. WL | Delft Hydraulics Rapport Q4214
- Kallen, M.; de Goede, E. en Boderie, P. (2008). Bepaling koelcapaciteit van Rijkswateren: Statistische analyse landelijke warmtelozingscapaciteit en koelcapaciteit Hollandsch Diep onder kritische en extreme omstandigheden. Deltares rapport Q4489
- KNMI, 2008. Veel gestelde vragen. <http://www.knmi.nl/klimaatsscenario's/faq/index.html>
- Kroes, M.J.; Vriese, F.T. en van Emmerik, W.A. M. (2007). Vis in stromende wateren. RWS-RIZA.
- Laak, G.A.J. de (2007). Kennisdocument Atlantische Zalm *Salmo salar* (Linnaeus 1758). Kennisdocument 6 Sportvisserij Nederland.
- Peñailillo, R.; Icke, J. en Jeuken, A. (2008). Effects of meteorological conditons and cooling water discharges on the watertemperature of the Rhine River. Conference paper. 12th International Conference on Integrated Diffuse Pollution Management (IWA DIPCON 2008)
- Nie, H.W. de (1996). Atlas van de Nederlandse Zoetwatervissen. Stichting Atlas Verspreiding Nederlandse Zoetwatervissen
- Van der Grinten, E.; van Herpen, F.C.J.; van Wijnen, H.J.; Evers, C.H.M.; Wuijts, S. en Verweij, W. (2007). Afleiding maximumtemperatuurnorm goede ecologische toestand (GET) voor Nederlandse grote rivieren. RIVM Rapport 607800003/2007
- Van Vliet, M; Zwolsman, G. en Joziasse, J. (2008). Effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit in de Rijn en Maas. Delft Cluster Waterkwaliteit en Calamiteiten. Deltares rapport 2008-U-R0629/A
- Vriese, F.T.; Merks, J.C.A. en de Lange, M.C. (2005). Onderzoek naar de visstand in de aan en afvoerkanalen van twee Energiecentrales. Visadvies.
- Zwolsman, G. en Van Vliet, M. (2007). Effect van een hittegolf op de waterkwaliteit van de Rijn en de Maas. H2O, 40(2007)22
- Zwolsman, G.; Cirkel, G.; Doomen, A.; Jalink, M.; van den Berg, G.; Maas, C.; Vreeburg, J.; Ijpelaar, G. en Mesman, G. (2007). Risicoanalyse van de gevolgen van klimaatverandering voor de drinkwatersector. Kiwa Water Research. BTO 2007.032

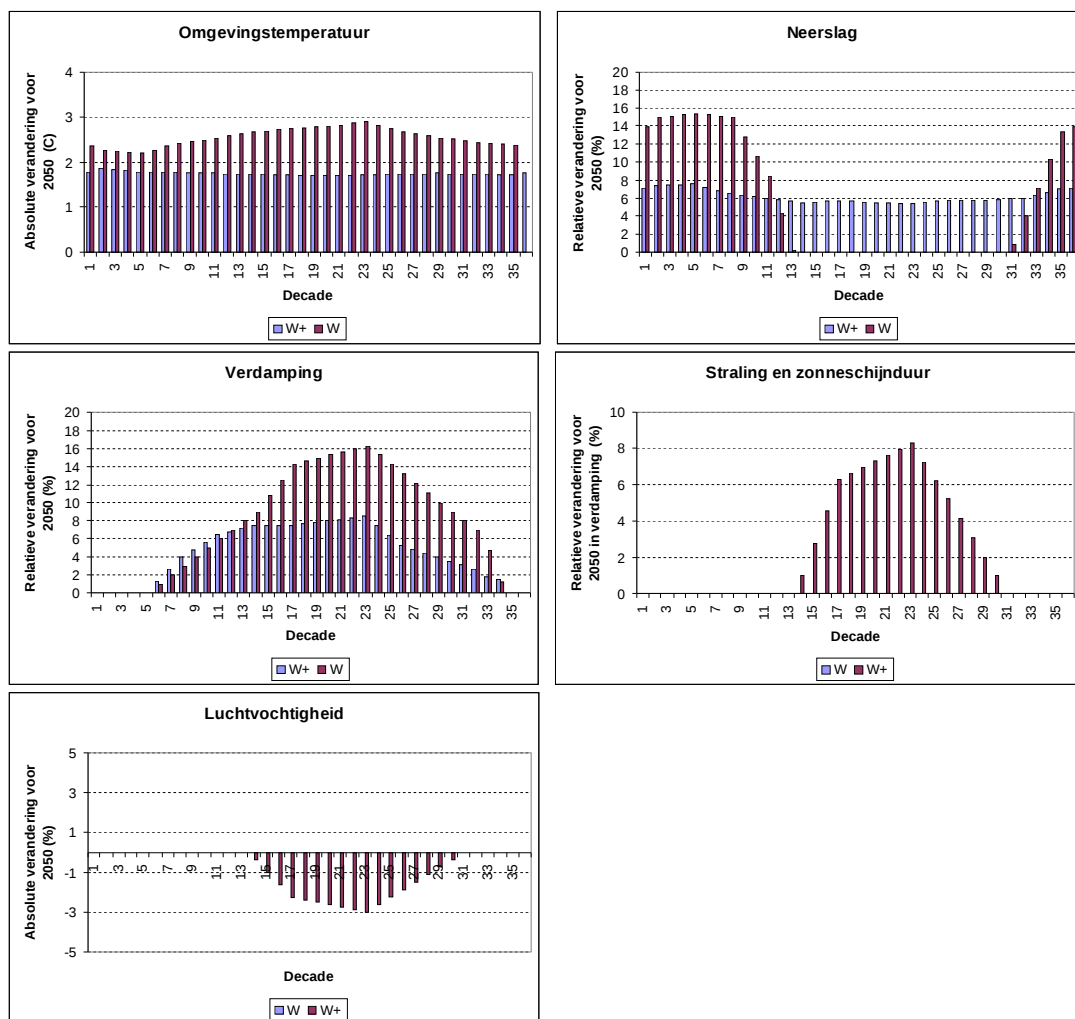
A Implementatie KNMI'06 scenario's W en W+ in het LTM (Kallen et al., 2008)

In de studie 'Bepaling koelcapaciteit van Rijkswateren' (Kallen et al., 2008) zijn de huidige situatie en 2 KNMI'06 scenario's W en W+ rond 2050 berekend met het LTM. Om de huidige situatie statistisch te kunnen beschrijven is de periode 1970 tot en met 2000 gekozen. Dit betekent dat 31 jaarsimulaties met het LTM zijn gedraaid. Volgens de KNMI is 1900 het basisjaar en dus de periode die de huidige situatie beschrijft, is 1976-2005. Op basis van de resultaten van de huidige situatie en van de KNMI'06 scenario's W en W+ zijn de situaties rond 2050 (periode 2045-2075) gesimuleerd.

Meteorologische gegevens

De KNMI'06 scenario's W en W+ zijn twee 'warme' scenario's en geven voor de omgevingstemperatuur, neerslag en verdamping een relatieve verandering (percentuele verandering) of een absolute verandering (zie Figuur 1). Echter, de KNMI'06 scenario's geven geen verandering voor straling, zonneshijnduur, luchtvochtigheid, luchtdruk en windsnelheid. Hiervoor zijn in samenwerking met de Waterdienst en het KNMI afspraken gemaakt. Luchtdruk en windsnelheid zijn ongewijzigd gebleven voor beide scenario's. De verandering in de overige meteorologische variabelen zijn per decade gedefinieerd. Figuur 1 geeft de absolute of relatieve verandering voor 2050 per decade in de meteorologische parameters.

- De globale straling en de zonneshijnduur blijven ongewijzigd in het W scenario. In het W+ scenario is deze gerelateerd aan de relatieve verandering in de potentiële verdamping, $y = \max(0\%, x - 8\%)$.
- Relatieve luchtvochtigheid blijft ongewijzigd in het W scenario. In het W+ scenario is deze in absolute termen gelijk aan 0,36 de relatieve verandering in de globale straling.



Figuur A.1 Absolute / Relatieve verandering voor 2050 per decade in meteorologische parameters.

Watertemperatuur

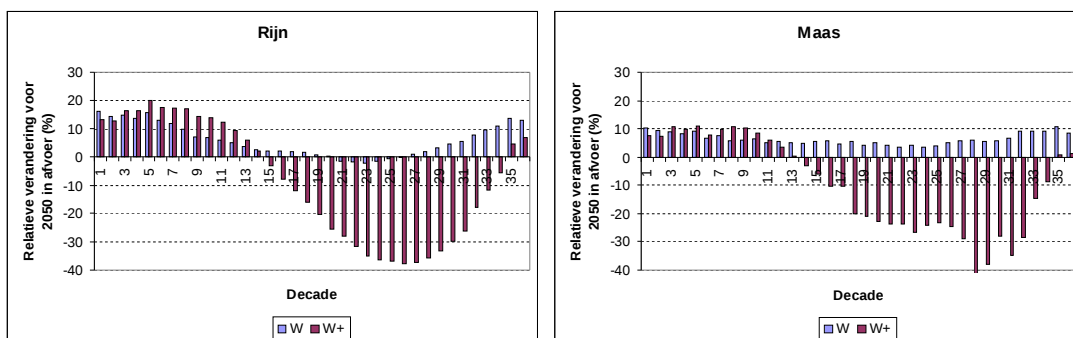
De veranderingen in de watertemperatuur van lateralen debieten, Noordzee en van de rivieren Rijn, Maas en Vecht veranderen 1-op-1 met de omgevingstemperatuur. Dit betekent dat de watertemperatuur gewijzigd is volgens de relatieve decadeverandering in omgevingstemperatuur.

Waterstanden (zeespiegel)

Voor beide scenario's is de waterstandsrand opgehoogd met 27,5 cm.

Afvoeren

De afvoeren van de Rijn en de Maas zijn voor beide scenario's gewijzigd volgens de decadeveranderingen voor 2050 in van Deursen (2006). Deze relatieve verandering varieert voor de Rijn tussen -1,98 en 16,09% voor het W scenario en tussen -37,88 en 20,15% voor het W+ scenario. In het geval van de Maas loopt de afvoer verandering op van 3,51 tot 10,72% voor het scenario W en van -41,39 tot 10,77% voor het W+ scenario.



Figuur A.2 Relatieve verandering (in %) voor 2050 in de afvoer van de Rijn en Maas uit (van Deursen, 2006).

De lateralen in- en uitstroom op het LTM zijn gegenereerd op basis van het cumulatieve neerslagtekort tijdens de zomerperiode dat door het distributiemodel (DM) zijn berekent. Hierin wordt de verandering in neerslag en verdamping volgens de KNMI'06 scenario's per decade ingevoerd.

Warmtelozingen

De binnenlandse lozingen zijn in beide scenario's gelijk gehouden aan de huidige situatie. Door mogelijke veranderingen in de energie productie en in de bijdrage van energie bronnen aan de totale productie zoals in de thermische efficiëntie door technische verbeteringen wordt verwacht dat de warmtelozingen rond 2050 zullen veranderen. Echter, deze informatie was niet beschikbaar voor deze studie.

B Bijlage tijdsduur (aantal dagen)

Tabel B.1 Overzicht aantal dagen in het jaar waarbij een overschrijding van de norm voor drinkwaterproductie optreedt voor de huidige situatie, rond het jaar 2050, 2003 en 2006 (Voor afkorting locaties zie tabel 3.2.).

	EIJS	HEEL	KEIZ	LOB	NWG	NWS	ANDK
Huidige situatie	5	0	0	3	0	1	0
2050W	21	4	1	18	4	5	1
2050W+	40	9	6	37	8	11	4
2003	13	8	4	19	2	7	0
2006	7	6	26	27	3	6	4

Tabel B.2 Overzicht aantal dagen in het jaar in de periode april –juni waarbij voor de juveniele en adulte fase van de zalm een overschrijding van de maximale temperatuur optreedt voor de huidige situatie, rond het jaar 2050, 2003 en 2006 (Voor afkorting locaties zie tabel 3.1.).

Juveniel	Temp. eis	Rijn/Rijntakken				Maas/Grensmaas			Monding/Delta	
		LOB	NWG	DMP	KMP	EIJS	MRS	BEL	HRV	HVH
Huidige situatie	>22°C (4 t/m 6)	17	2	12	7	35	19	3	0	3
2050W		67	19	55	36	92	60	17	1	22
2050W+		103	40	89	62	123	90	37	6	47
2003		27	3	28	23	29	25	23	0	12
2006		44	0	0	0	0	0	0	0	0

Adult	Temp. eis	Rijn/Rijntakken				Maas/Grensmaas			Monding/Delta	
		LOB	NWG	DMP	KMP	EIJS	MRS	BEL	HRV	HVH
Huidige situatie	>25°C (4 t/m 6)	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2050W		4	0	3	2	12	4	0	0	0
2050W+		12	2	9	7	28	11	2	0	2
2003		0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006		0	0	0	0	0	0	0	0	0

Adult	Temp. eis	Rijn/Rijntakken				Maas/Grensmaas			Monding/Delta	
		LOB	NWG	DMP	KMP	EIJS	MRS	BEL	HRV	HVH
Huidige situatie	>28°C (4 t/m 6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2050W		0	0	0	0	0	0	0	0	0
2050W+		1	0	0	0	0	0	0	0	0
2003		0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006		0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel B.3 *Overzicht aantal dagen in het jaar in relevante perioden waarbij voor de ei- juveniel- en adulte fase van de spiering een overschrijding van de maximale temperatuur optreed voor de huidige situatie, rond het jaar 2050, 2003 en 2006 (Voor afkorting locaties zie tabel 3.1).*

Ei		IJsselmeer	IJssel
	Temp. eis	DOE	KMP
Huidige situatie	>12°C (2t/m 4)	3	54
2050W		11	105
2050W+		22	130
2003		6	15
2006		0	20

Juveniel / Adult		IJsselmeer	IJssel
	Temp. eis	DOE	KMP
Huidige situatie	>23°C (heel jaar)	2	11
	>25°C (heel jaar)	0	1
2050W	>23°C (heel jaar)	7	31
	>25°C (heel jaar)	1	7
2050W+	>23°C (heel jaar)	17	52
	>25°C (heel jaar)	4	16
2003	>23°C (heel jaar)	7	39
	>25°C (heel jaar)	0	10
2006	>23°C (heel jaar)	14	32
	>25°C (heel jaar)	4	16

Tabel B.4 *Overzicht aantal dagen in het jaar in relevante perioden waarbij voor de EI- juveniel- en adulte fase van de kwabaal een overschrijding van de maximale watertemperatuur optreed voor de huidige situatie, rond het jaar 2050, 2003 en 2006 (Voor afkorting locaties zie tabel 3.1).*

Ei		Rijn/Rijntakken				Maas/Grensmaas	
	Temp. eis	LOB	NWG	DMP	KMP	BEL	MRS
Huidige situatie	>6 °C (12 t/m 1)	310	105	283	203	157	257
2050W		353	231	340	299	251	334
2050W+		350	243	343	312	261	334
2003		46	3	28	23	23	25
2006		183	142	183	173	153	183

Juveniel/ Adult		Rijn/Rijntakken				Maas/Grensmaas	
	Temp. eis	LOB	NWG	DMP	KMP	BEL	MRS
Huidige situatie	>20 °C (heel jaar)	94	49	86	66	40	76
2050W		127	83	119	100	74	109
2050W+		140	97	132	113	93	121
2003		109	85	103	88	88	87
2006		97	42	90	72	45	64

Tabel B.5 *Overzicht aantal dagen in het jaar in relevante perioden waarbij voor de EI- juveniel- en adulte fase van de Barbeel een overschrijding van de maximale watertemperatuur optreedt voor de huidige situatie, rond het jaar 2050, 2003 en 2006 (Voor afkorting locaties zie tabel 3.1).*

		Rijn/Rijntakken				Maas/Grensmaas	
Ei	Temp. eis	LOB	NWG	DMP	KMP	BEL	MRS
Huidige situatie	>20 °C (4 t/m 6)	76	28	66	45	24	73
2050W		138	70	128	101	71	131
2050W+		167	101	157	137	98	161
2003		30	27	31	30	30	31
2006		68	0	64	44	4	28

		Rijn/Rijntakken				Maas/Grensmaas	
Juveniel	Temp. eis	LOB	NWG	DMP	KMP	BEL	MRS
Huidige situatie	>25 °C (hele jaar)	3	0	2	1	0	2
2050W		18	4	13	7	3	10
2050W+		37	8	27	16	9	20
2003		19	2	13	10	11	13
2006		8	0	5	3	1	3

Adult		Rijn/Rijntakken				Maas/Grensmaas	
	Temp. eis	LOB	NWG	DMP	KMP	BEL	MRS
Huidige situatie	>8 °C (4 t/m 6)	364	349	364	362	349	359
	>27 °C (heel jaar)	0	0	0	0	0	0
2050W	>8 °C (4 t/m 6)	364	363	364	364	360	361
	>27 °C (heel jaar)	2	0	1	1	0	1
2050W+	>8 °C (4 t/m 6)	364	365	364	364	360	361
	>27 °C (heel jaar)	8	0	6	2	1	3
2003	>8 °C (4 t/m 6)	91	91	91	91	91	91
	>27 °C (heel jaar)	0	0	0	0	0	0
2006	>8 °C (4 t/m 6)	361	361	361	357	361	361
	>27 °C (heel jaar)	5	0	3	0	0	0

C Grafieken

