



Jan Wanink, Koeman en Bijkerk bv  
 Reinder Torenbeek, Torenbeek Consultant  
 Herman Wanningen, Wanningen Water Consult  
 Rinke van Veen, Provincie Drenthe

# Oppervlaktewater in Drenthe wordt warmer

**Dat het klimaat verandert, weten we. De gevolgen daarvan voor het waterbeleid in Nederland zijn en worden steeds beter onderzocht en bekend. Het onderzoek richt zich echter vooral op de problemen in het hoofdwatersysteem, zoals de verhoging van de zeespiegel, het afvoerpatroon van de grote rivieren en het gebrek aan voldoende zoet water. Het veranderende klimaat heeft echter ook gevolgen voor het regionale waterbeheer. In opdracht van de Provincie Drenthe is één aspect daarvan onderzocht: het opwarmen van het oppervlaktewater in Drenthe en de gevolgen daarvan voor de waterkwaliteit en de ecologie. Voor deze studie zijn meetreeksen van de temperatuur van het oppervlaktewater vanaf 1974 statistisch onderzocht. Het water in Drenthe blijkt warmer geworden.**

Rijkswaterstaat heeft de feiten en ficties over het waterbeheer en het veranderende klimaat overzichtelijk in kaart laten brengen<sup>1)</sup>. Het is duidelijk: het weer wordt extremer, de zeespiegel stijgt, het afvoerpatroon van de rivieren wordt grilliger. Droogte en wateroverlast zullen vaker voorkomen. Rijkswaterstaat heeft ook de klimaatbestendigheid van Nederland laten onderzoeken<sup>2)</sup>. Dat onderzoek richt zich vooral op het hoofdwatersysteem van Nederland. Ook voor het regionale waterbeheer heeft het veranderende klimaat zeer waarschijnlijk gevolgen. Door Deltares is een verkennende studie voor het waterbeheer op hogere zandgronden in oost-Brabant uitgevoerd<sup>3)</sup>. Uit de studie blijkt dat het droogvallen van beken, onvoldoende wateraanbod, regionale wateroverlast en de waterkwaliteit de belangrijkste problemen zijn. STOWA onderzoekt hoe de regionale uitwerking van het Deltaprogramma het best uitvoerbaar is. Dit onderzoeksprogramma gaat vooral in op de aspecten waterveiligheid en -verdeling (verziltingsbestrijding). Ook de gevolgen van het veranderende klimaat op natuur en ecologie in (regionaal) oppervlaktewater worden onderzocht, zowel in Nederland<sup>4),5)</sup> als internationaal<sup>6)</sup>.

In het kader van het programma Klimaat en Energie van de Provincie Drenthe bestaat behoefte aan inzicht in hoeverre in Drenthe sprake is van veranderingen in de temperatuur van de oppervlaktewateren. In opdracht van de provincie is daarom op basis van meetgegevens onderzocht welke trends

in watertemperatuur werkelijk optreden<sup>7)</sup>, evenals de mogelijke gevolgen hiervan voor de waterkwaliteit en ecologie en vervolgens de gevolgen voor het waterbeheer.

Het eerste doel van de studie is het analyseren van langjarige meetreeksen op trends. De vraag is in hoeverre een trend in watertemperatuur in de Drentse oppervlaktewateren zichtbaar is. Voor deze vraag zijn meetgegevens van de waterschappen Hunze en Aa's, Noorderzijlvest, Reest en Wieden en Velt en Vecht gebruikt. Deze waterschappen zijn in 2000 opgericht. Hun

beheergebieden liggen deels in Drenthe. Oudere gegevens zijn verzameld van het voormalig Zuiveringsschap Drenthe. Deze gaan terug tot 1974 en moesten voor deze studie deels nog gedigitaliseerd worden. Er zijn meetpunten gekozen die zowel door het voormalig Zuiveringsschap Drenthe als door de nieuwe waterschappen zijn onderzocht. Alle meetpunten zijn gedurende de gehele onderzoeksperiode maandelijks bemonsterd. In totaal zijn gegevens van negen kanalen, twee meren en negen beken verzameld. De gegevens zijn geanalyseerd met het statistisch pakket PASW (voorheen SPSS).

*Groote Diep, ook wel Eenerdiep. Deze middenloop is, door grondwaterinvloeden, één van de koelere wateren van Drenthe (foto: Herman Wanningen).*



Het tweede doel van de studie is het in beeld brengen van mogelijke effecten van een temperatuurverandering op de waterkwaliteit en ecologie. De volgende vragen zijn behandeld:

- Wat is de temperatuursafhankelijkheid van de belangrijkste (bio)chemische processen in het oppervlaktewater en welke gevolgen kan een temperatuurverhoging op de concentratie van verschillende chemische stoffen hebben?
- Wat zijn de verwachte effecten van de gevonden trends op de biologische kwaliteitselementen (fytoplankton, overige waterflora, macrofauna en vis)?

Deze vragen zijn beantwoord met behulp van literatuurstudie en beoordelingen door deskundigen.

### Wordt het Drentse oppervlaktewater warmer?

Het antwoord op deze vraag is 'ja'. Gemiddeld genomen is de watertemperatuur circa 1,5°C gestegen over de periode 1974-2009. Op maar liefst 17 van de 20 onderzochte locaties zijn over de 36-jarige tijdreeks met jaargemiddelde temperaturen significante positieve trends gevonden. De resultaten van de statistische analyse van de gemiddelde jaartemperatuur van alle meetpunten zijn gegeven in tabel 1.

Opvallend is dat het significantieniveau in de meeste gevallen zeer hoog is ( $p = 0,000$ ), maar de hoeveelheid verklaarde variantie in het algemeen erg laag. Dit laatste betekent dat niet alleen de tijd aan de trends ten grondslag ligt. Luchttemperatuur blijkt de belangrijkste verklarende factor te zijn. Hiervoor zijn de gegevens van het KNMI-station Eelde gebruikt.

Afbeelding 1 laat zien dat zowel binnen als tussen de onderzochte watertypen sprake is van de nodige variatie in de relatie tussen de jaargemiddelde watertemperatuur en de tijd, alsook in de absolute waarden van de watertemperatuur. Er lijkt een verband te bestaan tussen de watertemperatuur aan het begin van het onderzoek en de mate van verandering in de tijd. Hierbij vindt in het algemeen de grootste temperatuurstijging plaats in de wateren met de laagste aanvangstemperatuur. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat een hogere omgevingstemperatuur relatief koude (door grondwater gevoede) watergangen sterker beïnvloedt dan wateren die bij aanvang (in 1974) al warmer zijn.

Tabel 2. Temperatuurcoëfficiënten.

proces	typische waarden (literatuur, meting)	EUTROF1A en EUTROF2A	PCLake en PCDitch
groei van algen	1,066	1,04	
afbraak van algen		1,04	
respiratie algen		1,04	
mineralisatie	1,020-1,080	1,04	1,07
nitrificatie	1,080	1,06	1,08
denitrificatie in water	1,045	1,06	
denitrificatie in sediment		1,04	

code	naam	a	b	p	R <sup>2</sup>
<b>kanalen</b>					
K01	Rodervaart	-0,0071	25,770	0,325	0,00
K02	Noord-Willemskanaal	<b>0,0516</b>	<b>-90,930</b>	<b>0,000</b>	<b>0,13</b>
K03	Grevelingskanaal	<b>0,0311</b>	<b>-50,382</b>	<b>0,000</b>	<b>0,05</b>
K04	Hoogeveense Vaart	<b>0,0419</b>	<b>-71,720</b>	<b>0,000</b>	<b>0,10</b>
K05	Verlengde Hoogeveense Vaart	<b>0,0173</b>	<b>-22,771</b>	<b>0,001</b>	<b>0,02</b>
K06	Kanaal Coevorden-Alte Picardie	<b>0,0188</b>	<b>-26,084</b>	<b>0,001</b>	<b>0,02</b>
K07	Bargermeerkanaal	<b>0,0197</b>	<b>-25,990</b>	<b>0,001</b>	<b>0,02</b>
K08	Weedingermond	<b>0,0294</b>	<b>-47,414</b>	<b>0,000</b>	<b>0,06</b>
K09	Lutterhoofdwijk	0,0029	5,786	0,632	0,00
<b>meren</b>					
M01	Leekstermeer	<b>0,0391</b>	<b>-66,971</b>	<b>0,000</b>	<b>0,08</b>
M02	Zuidlaardermeer	<b>0,0343</b>	<b>-57,028</b>	<b>0,000</b>	<b>0,06</b>
<b>beken</b>					
R01	Koningsdiep	<b>0,0394</b>	<b>-66,785</b>	<b>0,000</b>	<b>0,07</b>
R02	Drentsche Aa	<b>0,0411</b>	<b>-70,724</b>	<b>0,000</b>	<b>0,08</b>
R03	Eenerdiep	<b>0,0466</b>	<b>-82,187</b>	<b>0,000</b>	<b>0,11</b>
R04	Oude Diep	<b>0,0642</b>	<b>-116,509</b>	<b>0,000</b>	<b>0,19</b>
R05	Steenwijker Aa	<b>0,0264</b>	<b>-40,837</b>	<b>0,000</b>	<b>0,03</b>
R06	Reest	-0,0104	32,352	0,126	0,00
R07	Oostermoerse vaart	<b>0,0180</b>	<b>-24,468</b>	<b>0,008</b>	<b>0,01</b>
R08	Oostermoerse vaart	<b>0,0148</b>	<b>-18,133</b>	<b>0,024</b>	<b>0,01</b>
R09	Oude Vaart	<b>0,0246</b>	<b>-37,185</b>	<b>0,000</b>	<b>0,03</b>

Tabel 1. Lineaire regressie van jaargemiddelde watertemperatuur met bemonsteringsjaar over de periode 1974-2009. De formule voor de regressielijn is:  $T = a \cdot \text{Jaar} + b$ , waarbij  $T = \text{watertemperatuur in } ^\circ\text{C}$ ,  $a = \text{regressiecoëfficiënt}$  en  $b = \text{constante}$ . De tabel geeft de waarden voor  $a$  en  $b$ , de significantie ( $p$ ) en de verklaarde variantie ( $R^2$ ). Vetgedrukte waarden vertegenwoordigen statistisch significante ( $p < 0,05$ ) regressies.

In afbeelding 2 zijn de (gemiddelde) trends in de onderzochte kanalen, beken en meren doorgetrokken naar jaren die voor de Kaderrichtlijn Water van belang zijn: 2015, 2021 en 2027. Ook op het niveau van het watertype komt het eerder genoemde beeld naar voren, dat een relatief lage temperatuur bij de aanvang van de meetreeks samengaat met een relatief grote stijging door de jaren heen. In 2027 worden voor de meren, beken en kanalen jaargemiddelde temperaturen verwacht van respectievelijk 12,4, 12,5 en 12,6°C.

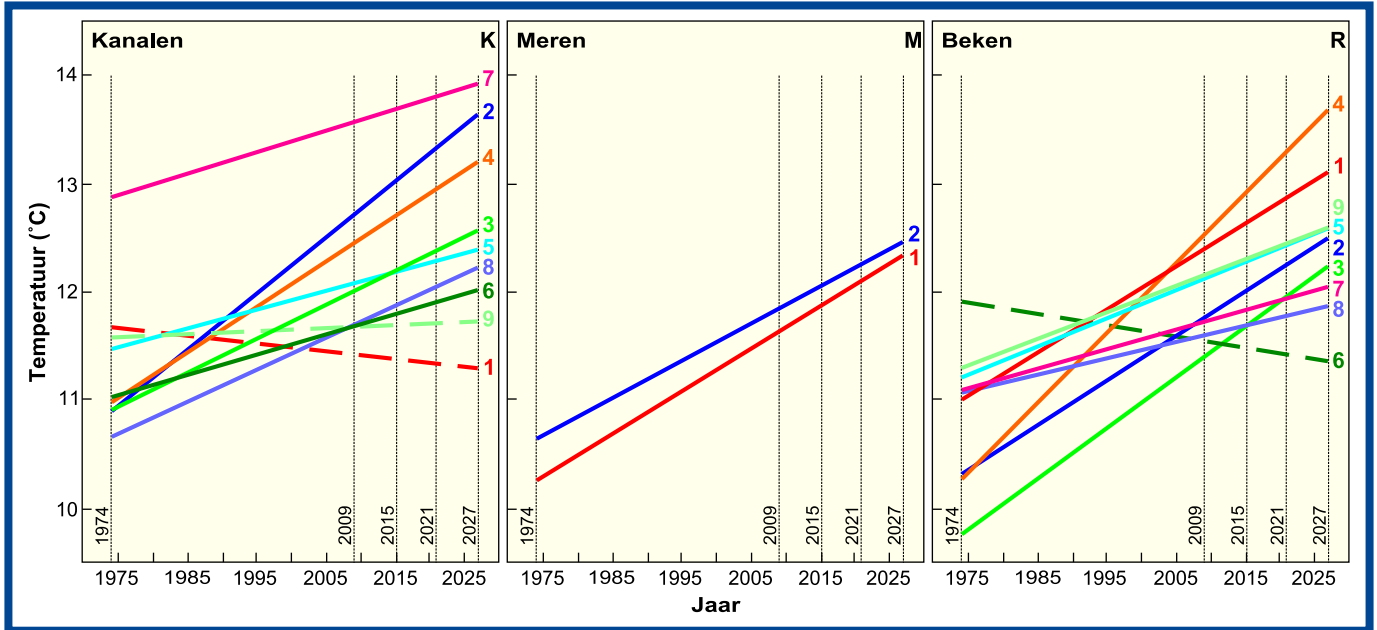
De statistische analyses zijn niet alleen uitgevoerd voor de jaargemiddelde temperatuur, maar ook voor de jaarlijkse

minima en maxima, de zomer- en wintergemiddelden en de gemeten temperaturen in april en mei.

- Bij de wintergemiddelde temperatuur zien we weinig significante trends;
- De gemiddelde temperatuur in de zomer toont een grotere stijging dan die voor de jaargemiddelde temperatuur. Dit betekent dat de wijziging in watertemperatuur door de klimaatverandering vooral in de zomerperiode tot uiting komt. Dit is belangrijk, omdat deze periode ecologisch gezien de meest kritische is en dus voor de KRW-doelen belangrijk;
- Ook in april en mei wordt de watertemperatuur hoger. Dit is van belang in relatie tot de verlaagde kritische watertemperatuur (20°C) die in KRW-verband voor deze maanden is vastgesteld in verband met de paiperiode van veel vissoorten.

### Gevolgen voor de waterkwaliteit

De waargenomen trends in watertemperatuur hebben ook gevolgen voor de waterkwaliteit. De snelheid van veel (bio)chemische processen is afhankelijk van de temperatuur. Tabel 2 geeft een overzicht van temperatuurcoëfficiënten van enkele belangrijke waterkwaliteitsgerelateerde processen. In afbeelding 3 is aangegeven hoe de snelheid



Afb. 1: Grafische weergave van de gevonden trends in jaargemiddelde watertemperatuur voor alle onderzochte wateren (zie tabel 1 voor formules van de lineaire regressielijnen en de bij de gecodeerde meetpunten behorende namen van de wateren). Doorgetrokken lijnen vertegenwoordigen statistisch significante regressies, voor de onderbroken lijnen was het gevonden verband niet significant. Verticale stippellijnen tonen het eerste (1974) en laatste meetjaar (2009) van de reeks waarop de trends zijn gebaseerd, alsmede een drietal met betrekking tot de KRW belangrijke toekomstige jaren (2015, 2021 en 2027). Extrapolatie van de lineaire regressie maakt het mogelijk de voor deze drie jaren voorspelde waarden uit de grafiek af te lezen.

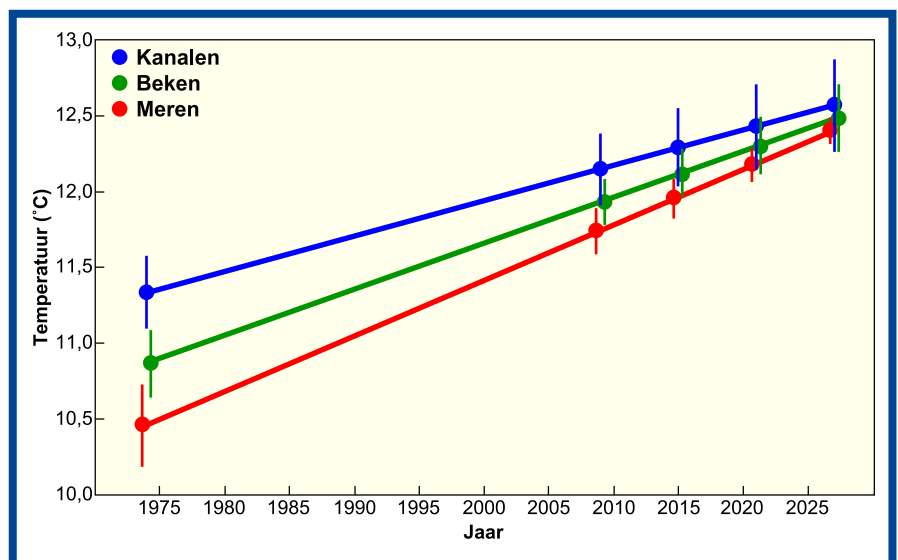
van processen bij verschillende temperatuurcoëfficiënten verandert ten opzichte van de snelheid bij 20°C. In de praktijk betekent dit, dat rond de 20°C een temperatuurstijging van één graad leidt tot een toename van de maximale groeisnelheid van algen en van de mineralisatie met circa vier procent. De snelheden van nitrificatie en denitrificatie nemen onder die omstandigheden toe met circa zes procent. Door de toename van de denitrificatie kan het stikstofgehalte bij een stijgende temperatuur dalen. Door een grotere mineralisatie kan echter meer fosfaat in het water komen.

Naast de snelheid van biochemische processen is ook wijziging van het zuurstofgehalte van belang. De reëratie van zuurstof van de lucht naar het water is afhankelijk van de temperatuur. In de modellen PCLake en PCDitch<sup>9)</sup> wordt een waarde van 1,024 aangehouden. De snelheid van reëratie is dus minder afhankelijk van de temperatuur dan de eerder genoemde biochemische processen. Belangrijker is de temperatuurafhankelijkheid van de zuurstofverzadiging in water. Kouder water kan meer zuurstof bevatten dan warmer water. De formule is:

$$C = 14,7 - 0,41 * T + 0,008 * T^2 - 0,00008 * T^3$$

waarin C staat voor de zuurstofconcentratie (mg/l) en T voor de temperatuur (°C). Dit betekent bijvoorbeeld dat de zuurstofverzadiging in water bij 21°C 0,2 mg/l lager is dan bij 20°C.

Recent is voor alle Nederlandse oppervlaktewatertypen de doorwerking van klimaatverandering op processen in het water beoordeeld<sup>9)</sup>. Hierbij is een score bepaald voor de mate van gevoeligheid per watertype. Voor kanalen, meren en beken bedragen de scores op een schaal van 1 (weinig effect) tot 5 (groot effect) respectie-



Afb. 2: Voorspelde jaargemiddelde watertemperatuur en standaardfout in 1974, 2009, 2015, 2021 en 2027, voor de drie onderzochte watertypen. De punten vertegenwoordigen de gemiddelde waarden van de individuele trendlijnen voor de betreffende jaren (voor kanalen en beken: n=9; voor de meren: n=2). Voor niet-significante regressies zijn voor alle vijf jaren de jaargemiddelde meetwaarden over de periode 1974 - 2009 gebruikt.

velijk 1, 2 en 4-5. Eén van de uitgangspunten bij deze beoordeling is een gelijke temperatuurstijging in de verschillende watertypen. Voor de Drentse wateren bestaan echter duidelijke verschillen in toename van de watertemperatuur tussen deze drie watertypen (zie afbeelding 2). Tussen 1974 en 2009 nam in Drenthe de jaargemiddelde temperatuur van de relatief ongevoelige kanalen gemiddeld toe met 0,8°C, van de iets gevoeliger meren met 1,3°C (1,6 maal hoger dan de stijging in de kanalen) en van de gevoelige beken met 1,1°C (1,4 maal hoger dan de stijging in de kanalen). Juist in de gevoelige watertypen is dus sprake van een relatief grote temperatuurstijging.

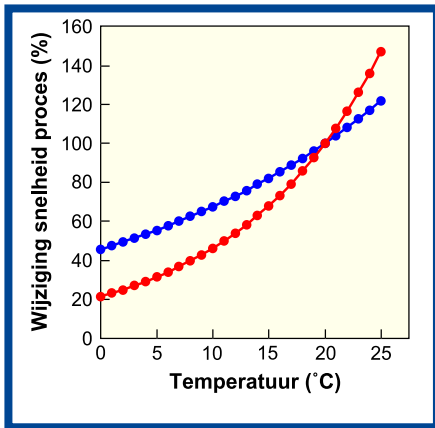
### Gevolgen voor flora en fauna

In 1999 is een oriënterende literatuurstudie

uitgevoerd naar de potentiële effecten van klimaatverandering op aquatische gemeenschappen<sup>10)</sup>. Als we de conclusies van dat onderzoek vertalen naar de situatie van het Drentse oppervlaktewater, komen we tot de volgende conclusies:

- Levenscycli van soorten verschuiven in de tijd. Bij algen betekent dit bijvoorbeeld dat de blauwalgenbloei eerder in het jaar kan gaan optreden. Voor gevoelige wateren zoals de meren kan dit tot extra zwemwaterproblemen leiden;
- Soorten die afhankelijk zijn van koud water, kunnen het moeilijker krijgen zich te handhaven. Neem de beschermde kwabaal. Deze vissoort is voor de voortplanting afhankelijk van kouder water. Terugkeer van deze soort in Drenthe kan door temperatuurverhoging moeilijker worden;





Afb. 3: Wijziging van de snelheid van een proces ten opzichte van de snelheid bij 20°C voor twee waarden van de temperatuurscoëfficiënt.

- De verspreiding van exoten als de grote waternavel kan toenemen en op meer plaatsen overlast veroorzaken. Bij hogere temperaturen groeien deze planten ook nog sneller;
- De groei van (inheemse) water- en oeverplanten kan versnellen, waardoor watergangen sneller dichtgroeien en waterschappen vaker moeten maaien.

### Gevolgen voor het waterbeheer in Drenthe

Welke lering kunnen de Drentse waterbeheerders uit deze gevolgen van een veranderend klimaat voor het waterbeheer trekken? We zien drie hoofdlijnen:

- maatregelen uitvoeren om de verhoging van de watertemperatuur te beperken. Goede maatregelen zijn het beschaduwen van wateren (beken) door bomen en het aanleggen van diepere gedeelten (bijvoorbeeld stroomkuilen);
- maatregelen uitvoeren om de gevolgen voor de waterkwaliteit te beperken. Deze

moeten de negatieve effecten zoveel mogelijk compenseren. Hierbij valt te denken aan het verder terugdringen van de emissies van nutriënten en frequenter baggeren;

- leren leven met de gevolgen van warmer water. Dit betekent: frequenter maaien, vaker plaagsoorten bestrijden, frequenter ziekten zoals botulisme bestrijden en vaker sluiten van zwemplassen wegens overlast door blauwalgen en zwemmersjeuk.

### 'Natuurlijk' gegeven?

Tot slot willen we de vraag stellen: In hoeverre is het veranderend klimaat, inclusief de gevolgen hiervan voor het waterbeheer, een 'natuurlijk' gegeven? In de Kaderrichtlijn Water is de Toestand- en Trendmonitoring opgenomen om natuurlijke en antropogene veranderingen op lange termijn te onderzoeken. Dat is niet zonder reden. Een slechte waterkwaliteit als gevolg van menselijk handelen wordt volgens de regels van de KRW niet geaccepteerd. Maar er kan ook geredeneerd worden dat een slechtere waterkwaliteit als gevolg van klimaatverandering onvermijdelijk is en niet tegen proportionele kosten is te voorkomen. In dat geval zou artikel 4.5 (een lagere doelstelling vanwege een onomkeerbare slechte waterkwaliteit) in werking kunnen treden. In de praktijk zou dit betekenen dat de normen voor waterkwaliteit zijn aan te passen. Wij schatten in dat het zo ver nog niet komt, omdat op nutriënten-, beheer- en inrichtingsniveau nog allerlei maatregelen mogelijk zijn, waardoor de wateren meegroeien met de trend in de temperatuur. We bevelen daarom aan om een lijst met inrichtings- en beheermaatregelen uit te werken waarmee de water- en natuurbeheerders zorgen dat de wateren in Drenthe 'meegroeien' met de klimaatverandering. Deze lijst is vervolgens

toepasbaar bij de actualisatie van de KRW-stroomgebiedplannen in 2015.

### NOTEN

- Deltares (2008). Waterbeheer in een veranderend klimaat. Feiten en ficties van tachtig beweringen in de media. In opdracht van Rijkswaterstaat.
- Deltares (2008). De klimaatbestendigheid van Nederland Waterland. Verkenning van knikpunten in beheer en beleid voor het hoofdwatersysteem. In opdracht van Rijkswaterstaat.
- Boland D., M. Hoogvliet, R. Knobben en E.-J. Melisie (2010). Klimaatbestendigheid van het waterbeheer op de hoge zandgronden. H<sub>2</sub>O nr. 12, pag. 13-15.
- Wanink J., H. van Dam, F. Grijpstra en T. Claassen (2008). Invloed van klimaatverandering op fytoplankton van de Friese meren. H<sub>2</sub>O nr. 23, pag. 32-35.
- Van Dam H. en A. Mertens (2008). Vennen minder zuur maar warmer. H<sub>2</sub>O nr. 12, pag. 36-39.
- Jeppesen E., M. Meerhoff, K. Holmgren, I. González-Bergonzoni, F. Teixeira-de Mello, S. Declerck, L. De Meester, M. Søndergaard, T. Lauridsen, R. Bjerring, J. Conde-Parcuna, N. Mazzeo, C. Iglesias, M. Reizenstein, H. Malmquist, Z. Liu, D. Balayla en X. Lazzaro (2010). Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential effects on ecosystem function. *Hydrobiologia* 646, pag. 73-90.
- Wannings H., R. Torenbeek en J. Wanink (2010). Wordt het Drentse water warmer? Onderzoek naar het effect van klimaatverandering op het Drentse oppervlaktewater in de periode 1974-2009. In opdracht van Provincie Drenthe. Koeman en Bijkerk bv. Rapport 2010-031.
- Janse J. (2005). Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches. Proefschrift Wageningen Universiteit.
- Besse-Lototskaya A. en P. Verdonschot (2010). Hoe kwetsbaar zijn onze waterecosystemen voor klimaatverandering? H<sub>2</sub>O nr. 14/15, pag. 27-29.
- Wanink J. (1999). Effecten van klimaatverandering op aquatische gemeenschappen: literatuurstudie voor het project WIN. Koeman en Bijkerk bv. Rapport 99-46.

Het Noord-Willemskanaal heeft net als alle andere kanalen in Drenthe in 1974 een hogere temperatuur dan de meren en beken. In 2009 liggen de temperaturen dichterbij elkaar (foto: Herman Wannings).

