



Gertjan Zwolsman, Kiwa Water Research / Delft Cluster
Michelle van Vliet, TNO / Delft Cluster

Effect van een hittegolf op de waterkwaliteit van de Rijn en de Maas

Juli 2006 was de warmste maand in 300 jaar. Nederland werd die maand getroffen door twee hittegolven. Deze situatie kan exemplarisch zijn voor toekomstige zomers als de klimaatverandering doorzet. Vanuit die gedachte is de waterkwaliteit onderzocht in de Rijn (Lobith) en de Maas (Eijsden) in de bewuste zomer, op basis van uurmetingen. De studie is beperkt tot de parameters chloride, watertemperatuur, zuurstof, pH en chlorophyl-a. De belangrijkste conclusie is dat de waterkwaliteit van de Rijn en de Maas aanzienlijk verslechtert tijdens een hittegolf en de lage afvoeren die daarmee gepaard gaan. Hierdoor ontstaan risico's voor de realisatie van ecologische doelstellingen en voor de gebruiksfuncties van het water (bijvoorbeeld de drinkwaterproductie). De resultaten zijn van belang voor de Wvo-vergunningverlening en de implementatie van de Kaderrichtlijn Water.

Juli 2006 was de warmste maand die Nederland ooit heeft gekend sinds de metingen begonnen in 1706. Vrijwel alle warmtorecords en ook veel andere records sneuvelen¹⁾. Zo was het etmaalgemiddelde van de temperatuur 22,3°C tegen 17,4°C als langjarig gemiddelde (tijdvak 1971-2000). Het oude record van 21,4°C in juli 1994 is dus bijna een graad bijgesteld. Opmerkelijk zijn ook de gemiddelde maximum- en minimumtemperaturen, die ook nooit eerder zo hoog waren. In De Bilt werden gemiddelden bereikt van respectievelijk 28,7°C en 15,2°C; normaal zijn waarden van 22,1°C en 12,5°C. Het gemiddeld maximum van Arcen kwam zelfs uit op een tropische 30,0°C; normaal voor plaatsen als Bologna in het noorden van Italië en Messina op Sicilië. De maand telde twee hittegolven: de eerste begon op 30 juni en duurde een week, de tweede begon op 15 juli en hield 16 dagen aan, vergelijkbaar met de hittegolven in 1975 (18 dagen) en 1976 (17 dagen). Juli 2006 was ook zeer droog, maar niet overal in het land. Flinkke buien, zelfs wolkbreken, lieten op een aantal plaatsen veel water achter, waardoor de uiteindelijk maandsom sterk uiteenliep. Op sommige plaatsen viel circa 90 millimeter, maar De Kooy (Texel) had met vier millimeter de droogste juli ooit! Gemiddeld over het land viel circa 25 millimeter tegen 70 millimeter normaal.

Het zomerse weer werd veroorzaakt door een groot hogedrukgebied boven West-Europa en twee kleinere lagedrukgebieden ten zuidwesten en zuidoosten, die de weg blokkeerden voor depressies.

Een hittegolf is een aaneengesloten periode van minstens vijf dagen met zomerse temperaturen in De Bilt (25,0°C of meer) waarvan er zeker drie tropisch zijn (tenminste 30°C). De hittegolf van juli 2006 is al de zesde van de 21e eeuw. In de periode 2003 t/m 2006 kreeg ons land elke zomer te maken met minstens één hittegolf en sinds 1901 telde het KNMI er in totaal 38, van wisselende lengte.

De kans op een hittegolf neemt toe door klimaatverandering. Zo is de herhalingstijd van de hete zomer van 2003 op dit moment eens per tien jaar, maar in 2050 ligt deze kans op eens per twee jaar (de KNMI-klimaat-scenario's G+ en W+). Een toename van het aantal hittegolven zal effect hebben op de waterkwantiteit (waterstanden, afvoeren) en de waterkwaliteit. Naar de effecten van een hittegolf (en droogte in algemene zin) op de fysisch-chemische waterkwaliteit is nog relatief weinig onderzoek verricht. Wel zijn verkennende studies uitgevoerd in de Friese wateren²⁾, de Rijn³⁾ en de Maas⁴⁾. In het algemeen wordt een verslechtering van de chemische waterkwaliteit aangetoond tijdens perioden van droogte (bijvoor-

beeld een toename van chloride). Wat de ecologische waterkwaliteit betreft, gaat de aandacht vooral uit naar de verhoging van de watertemperatuur en de daarmee samenhangende toename van algenbloei, verschuiving van soorten (meer cyanobacteriën⁵⁾), de opkomst van exoten (bijvoorbeeld de grote waternavel) en een toenemende kans op botulisme.

Juli 2006 kan exemplarisch zijn voor toekomstige zomers als de klimaatverandering doorzet. Vanuit die optiek is de waterkwaliteit onderzocht in de Rijn en de Maas in diezelfde zomer. Het doel van deze studie was om de effecten van een hittegolf op de waterkwaliteit te onderzoeken. De basis voor de studie vormen metingen van Aqualarm: het alarmingsysteem waarmee de waterkwaliteit van de grote rivieren aan de landsgrenzen wordt bewaakt. Het aantal parameters dat binnen Aqualarm wordt gemeten, is relatief beperkt, maar de meetfrequentie (op uurbasis) is aanzienlijk hoger dan die van het reguliere monitoringsprogramma (MWTL) van de Rijn en de Maas. In de huidige studie beperken we ons tot de parameters chloride, watertemperatuur, zuurstof, pH en chlorophyl-a. De data zijn afkomstig van Aqualarm, behalve voor chlorophyl-a, waarvan de data afkomstig zijn van het reguliere monitoringsprogramma. Alle meetgegevens hebben betrekking op de locaties Lobith (Rijn) en Eijsden (Maas).

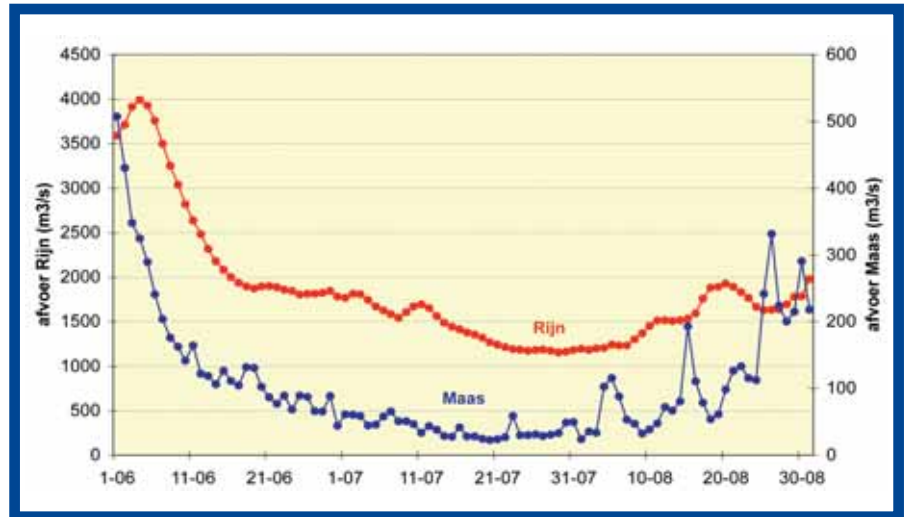
Resultaten

De afvoer van de Rijn (Lobith) en de Maas (Eijsden) in de zomer van 2006 (juni t/m augustus) is weergegeven in afbeelding 1. De afvoer is begin juni relatief hoog, maar daarna treedt een sterke terugval op van het debiet. De laagste afvoeren zijn gemeten op 20 juli in de Maas (23 kubieke meter per seconde) en op 29 juli in de Rijn (1152 kubieke meter per seconde). Daarna stijgt de afvoer weer, door de overvloedige regenval in de maand augustus.

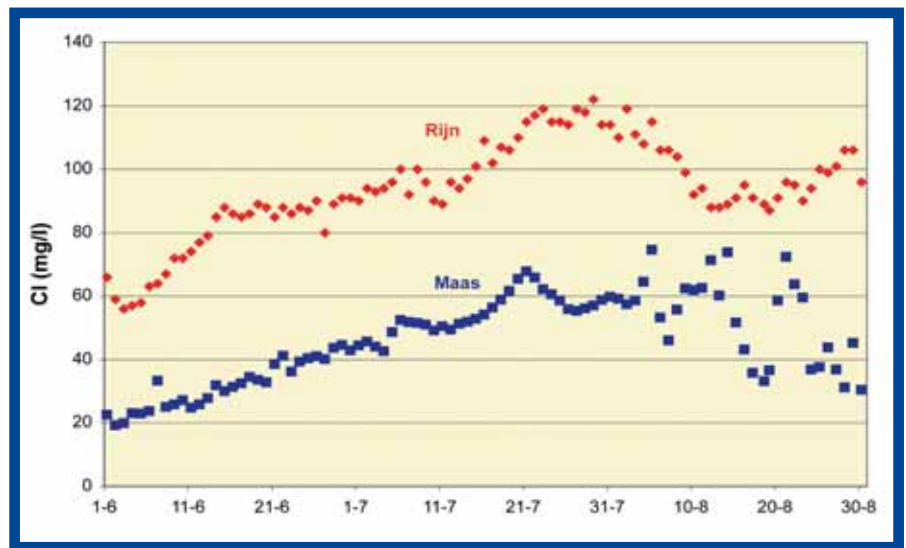
Afbeelding 2 toont de chlorideconcentraties in dezelfde periode. Het verloop van chloride is sterk gerelateerd aan de afvoer, zoals ook in eerdere studies is gevonden^{3),4)}. De concentraties zijn begin juni relatief laag, maar lopen dan sterk op. Piekwaarden worden bereikt op 21 juli in de Maas (68 mg/l) en 30 juli in de Rijn (122 mg/l), op het moment dat de afvoer minimaal is. Deze concentraties liggen beneden de drinkwaternorm van 150 mg/l. In de droge zomer van 2003 werd deze grens wel enige tijd overschreden in de Rijn (maximaal 184 mg/l³⁾). In augustus dalen de chlorideconcentraties weer, terwijl de afvoer aantrekt. Uit een nadere analyse bleek dat de concentraties omgekeerd evenredig zijn met de afvoer, net als voor andere drinkwaterrelevante stoffen als fluoride, bromide en sulfaat^{3),4)}. Dit gedrag kan worden verklaard door een afname van de verdunning van puntlozingen bij lage afvoeren. Een afname van de afvoer leidt dus vaak tot verslechtering van de waterkwaliteit.

In afbeelding 3 wordt het verloop weergegeven van de watertemperatuur, het zuurstofgehalte en de pH in de Rijn in juli 2006. Uit deze grafiek blijkt dat de watertemperatuur nagenoeg de hele maand boven de 25°C ligt. In de tweede helft van juli worden extreem hoge watertemperaturen bereikt, tot 28°C. Uit de tabel blijkt dat de gemiddelde (!) watertemperatuur bijna een week tussen de 27 en 28°C heeft gelegen. Op 27 juli wordt een historisch maximum bereikt, met een maximale watertemperatuur van 28,0°C en een gemiddelde temperatuur van 27,7°C. Wanneer deze situatie een halve dag langer had aangehouden, zouden vier elektriciteitscentrales zijn stilgelegd⁶⁾. De toenmalige minister van Verkeer en Waterstaat heeft in 2006 met de elektriciteitssector en andere warmtelozers afgesproken dat verhogingen van de watertemperatuur tot een maximum van 28°C zijn toegestaan, maar dat die grens strikt zal worden gehandhaafd. Nederland is in 2006 dus door het oog van de naald gekropen, maar het is, gegeven de klimaatscenario's van het KNMI, duidelijk dat een groot risico op overschrijding van deze 'werknorm' bestaat.

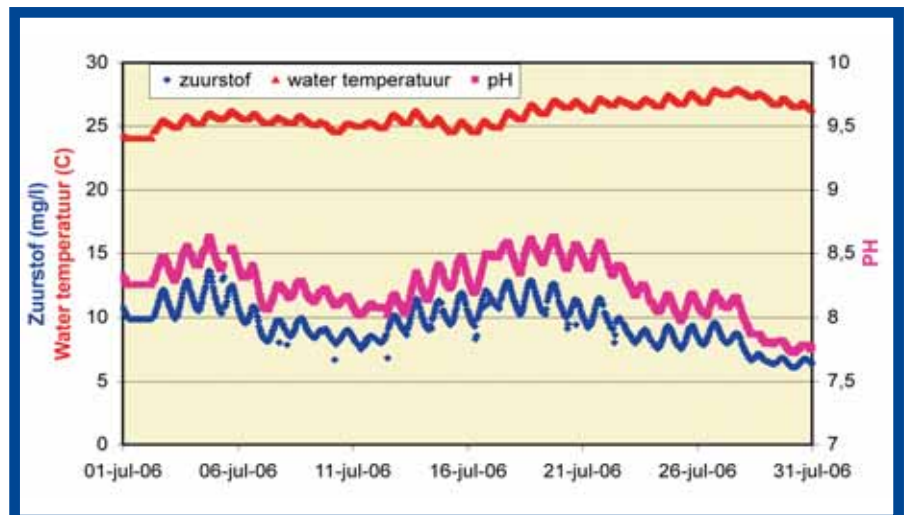
De vraag is bovendien wat dergelijke watertemperaturen betekenen voor het ecologisch functioneren en de gebruiksfuncties van de Rijn (bijvoorbeeld als bron voor drinkwater). Een tip van de sluier wordt opgelicht door het verloop van het zuurstofgehalte en de pH (zie afbeelding 3). Beide parameters laten een sterke toename zien in de eerste en de derde week van juli 2006, waarbij tevens sprake is van een dag-nachtcyclus. Deze



Afb. 1: Afvoer van de Rijn (Lobith) en de Maas (Eijsden) in de periode juni t/m augustus 2006.



Afb. 2: Chlorideconcentratie in de Rijn (Lobith) en de Maas (Eijsden) in de periode juni t/m augustus 2006.



Afb. 3: Verloop van de watertemperatuur, zuurstof en de pH in de Rijn (Lobith) in juli 2006.

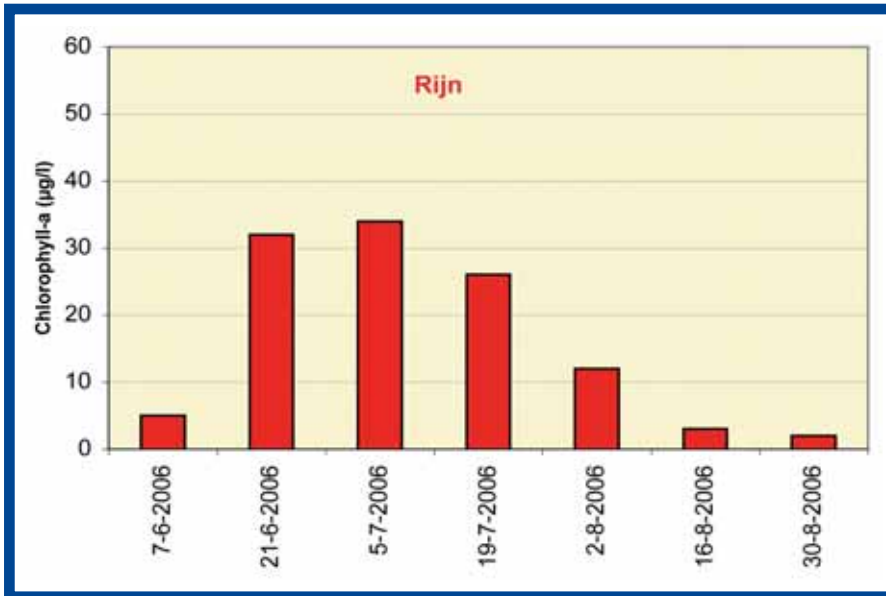
schommelingen wijzen op een aanzienlijke algenbloei, wat wordt bevestigd door de concentratie chlorophyll-a in het rivierwater (zie afbeelding 4). Algenbloei leidt tot afgifte van zuurstof aan de waterkolom (oververzadiging) en onttrekking van opgelost koolzuur (pH stijging) gedurende de dag, maar 's nachts is de respiratie dominant, waardoor

het zuurstofgehalte en de pH juist dalen. Overigens is het zuurstofgehalte in juli 2006 in de Rijn niet beneden de ecologische norm van 5 mg/l geweest (zie afbeelding 3).

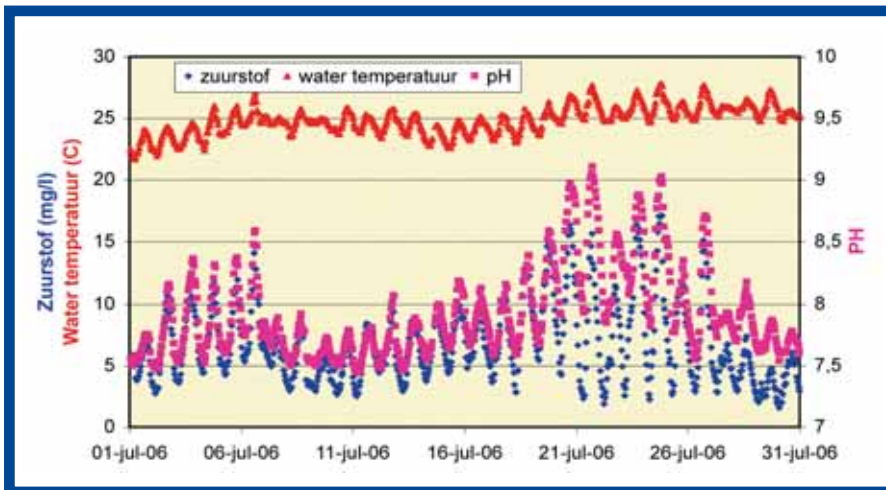
In de Maas is een vergelijkbaar verloop van de temperatuur, het zuurstofgehalte en de pH waar te nemen als in de Rijn, maar hier

Watertemperatuur van de Rijn (Lobith) in de tweede helft van juli 2006 (in °C).

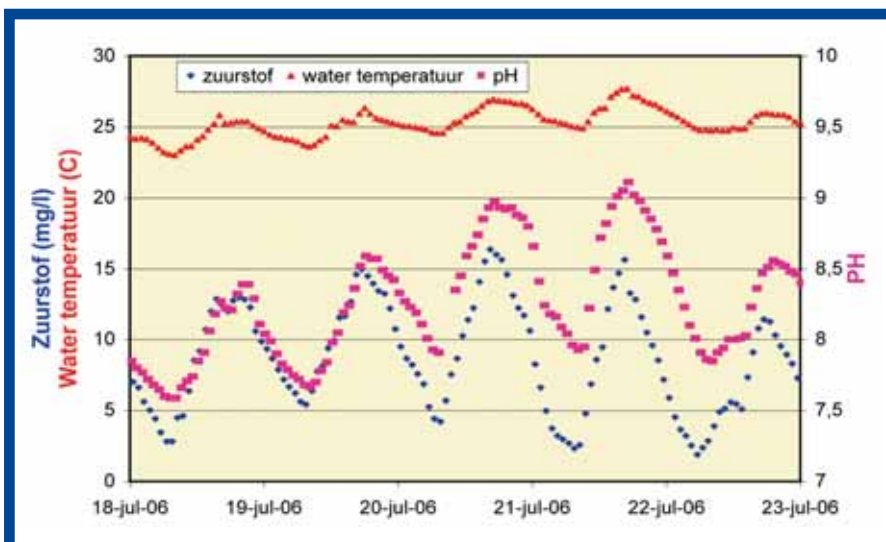
datum	mini- mum	maxi- mum	gemid- deld
15 juli	24,6	25,4	25,0
16 juli	24,6	25,5	25,0
17 juli	24,9	26,2	25,5
18 juli	25,6	26,7	26,1
19 juli	26,0	27,1	26,5
20 juli	26,5	27,1	26,8
21 juli	26,3	27,2	26,8
22 juli	26,7	27,2	26,9
23 juli	26,6	27,2	26,9
24 juli	26,6	27,5	27,0
25 juli	26,8	27,7	27,2
26 juli	26,9	27,9	27,4
27 juli	27,5	28,0	27,7
28 juli	27,3	27,7	27,5
29 juli	26,7	27,3	27,0
30 juli	26,4	26,9	26,7
31 juli	25,8	26,3	26,1



Afb. 4: Concentratie chlorophyl-a in de Rijn (Lobith) in de periode juni t/m augustus 2006.



Afb. 5: Verloop van de watertemperatuur, zuurstof en de pH in de Maas (Eijsden) in juli 2006.



Afb. 6: Dag-nachtcyclus van de watertemperatuur, zuurstof en de pH in de Maas (Eijsden) van 18 tot 23 juli 2006.

laatste twee weken van juli (zeer groot). De metingen van chlorophyl-a bevestigen dit beeld (zie afbeelding 7). De dag-nachtfluctuaties in de pH en het zuurstofgehalte zijn bijzonder extreem te noemen (zie afbeelding 6). Zeer waarschijnlijk hebben deze fluctuaties tot een aanzienlijke belasting van het ecosysteem geleid. De lage zuurstofconcentraties gedurende de nacht (orde 1-3 mg/l) en de hoge pH-waarden (omzetting van ammonium in ammoniak) kunnen vissterfte tot gevolg hebben. Bij Rijkswaterstaat directie Limburg zijn echter geen meldingen van grootschalige vissterfte in juli 2006 bekend.

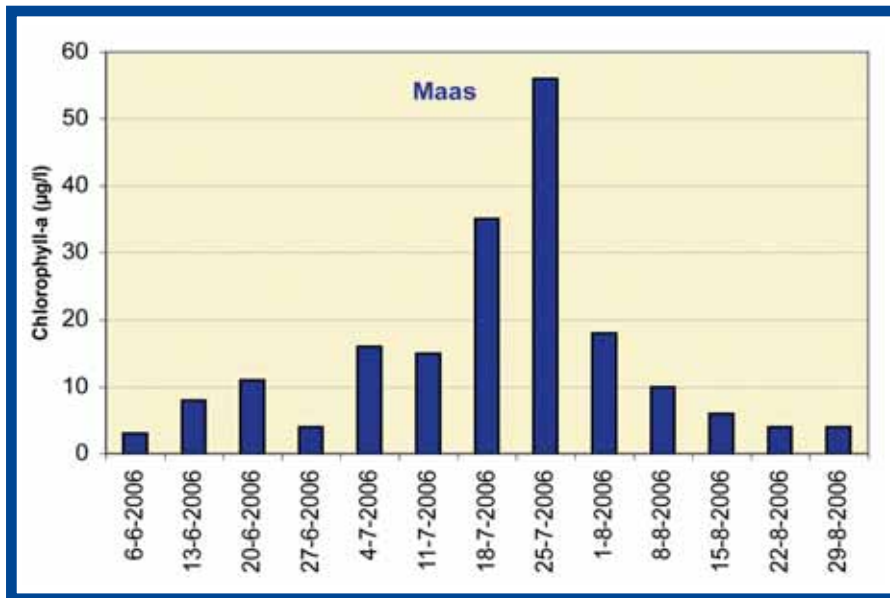
Implicaties voor het waterkwaliteitsbeleid

Uit deze studie blijkt dat de waterkwaliteit van de Rijn en de Maas aanzienlijk kan verslechteren tijdens een hittegolf en de lage afvoeren die daarmee gepaard gaan. Dit wordt enerzijds veroorzaakt door een verminderde verdunning van puntlozingen, anderzijds door een verhoging van de watertemperatuur en het gebrek aan doorstroming (in de Maas), waardoor algenbloei optreedt en 's nachts een ernstig zuurstoftekort kan ontstaan (zie afbeeldingen 5 en 6). De toename van de chlorideconcentratie in juli 2006 (zie afbeelding 2) is op zich geen groot probleem, omdat de gemeten concentraties in de Rijn en de Maas onder de drinkwaternorm van 150 mg/l liggen. Maar de toename van chloride illustreert ook en vooral dat het effect van puntbronnen op de waterkwaliteit sterker wordt bij lage afvoer, vanwege een afname van de verdunning.

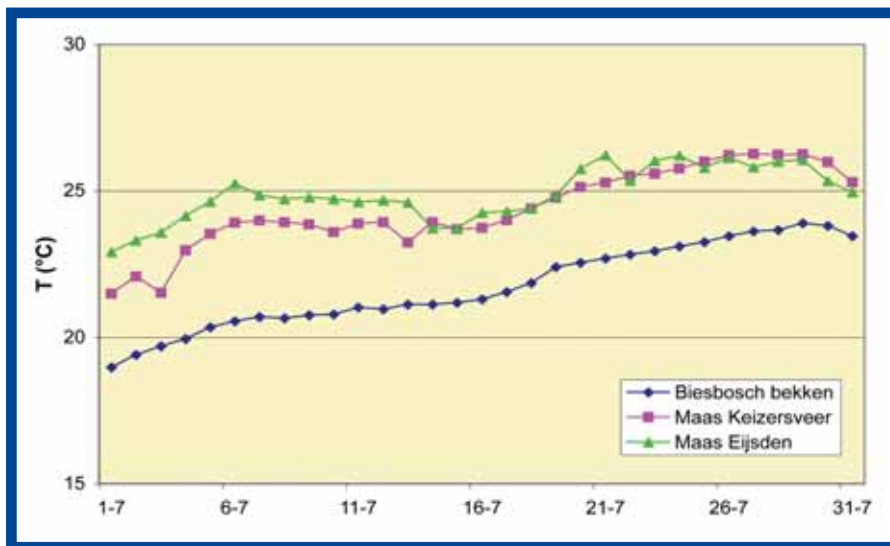
Zo is eveneens sprake van een sterke toename van de fluorideconcentratie in de Maas bij lage afvoeren⁴⁾ en is in het droge najaar van 2003 een abnormaal hoge hormoonverstorende activiteit gemeten in de Maas⁷⁾. Zowel fluoride (industrie bij Luik) als hormoonverstorende stoffen (rwzi's) zijn vooral afkomstig van puntbronnen. De hier geconstateerde afname van de

zijn de fluctuaties van het zuurstofgehalte en de pH nog veel extremer (zie afbeeldingen 5 en 6). Van 20 tot 29 juli schommelt de gemiddelde temperatuur van het Maaswater rond de 26°C. Op 24 juli wordt de hoogste

temperatuur bereikt: gemiddeld 26,2°C met een maximum van 27,9°C. Uit de ontwikkeling van het zuurstofgehalte en de pH kunnen twee perioden van algenbloei worden afgeleid, namelijk in de eerste week van juli (beperkt) en de



Afb. 7: Concentraties chlorophyll-a in de Maas (Eijsden) in de periode juni t/m augustus 2006.



Afb. 8: Ontwikkeling van de watertemperatuur in het (derde) spaarbekken van de Biesbosch en in de Maas (Eijsden en Keizersveer) in juli 2006.

verdunding bij lage afvoeren heeft dus belangrijke implicaties voor de Wvo-vergunningverlening, in het bijzonder voor de immissietoets die wordt uitgevoerd om de effecten van een lozing op de waterkwaliteit in te schatten⁸⁾. Om het watersysteem bij lage afvoeren afdoende te beschermen is het evident dat de laagwaterafvoer maatgevend moet zijn bij deze toets en niet de gemiddelde afvoer zoals thans het geval is. Wanneer het beleid onvoldoende rekening houdt met lage afvoeren, worden chemische waterkwaliteitsdoelen mogelijk niet gehaald in perioden van langdurige droogte. Daar komt bij dat ook realisatie van de ecologische doelstellingen gevaar kan lopen door de extreem hoge watertemperaturen van het oppervlaktewater bij een hittegolf en de, daarmee gepaard gaande, algenbloei en lage zuurstofconcentraties in de nacht. Nog afgezien van de overige ecologische consequenties van een verhoogde watertemperatuur^{2),5)}.

Naast de ecologische risico's heeft de hoge watertemperatuur gevolgen voor de

gebruiksfuncties van het water. Een hoge watertemperatuur vormt een risico voor drinkwaterbedrijven die oppervlaktewater innemen en direct (zonder bodempassage) verwerken tot drinkwater (Evides en PWN). Beide bedrijven beschikken weliswaar over een spaarbekken, waardoor fluctuaties in de temperatuur worden afgezwakt, maar de temperatuur in het bekken kan tijdens een hittegolf gevaarlijk dicht bij de 25°C-grens komen. In juli 2006 ging het in het Biesbosch-bekken net goed, zoals afbeelding 8 laat zien.

De wettelijk toegestane maximale temperatuur van het drinkwater (aan de tap) is 25°C. Een hoge temperatuur van het oppervlaktewater leidt, bij directe inname, tot een hoge temperatuur van het water in het leidingnet. Het toestaan van koelwaterlozingen tot een maximale watertemperatuur van 28°C betekent voor de drinkwatersector een toename van de kans op overschrijdingen van de watertemperatuur aan de tap en een groter risico op microbiële infecties (bijvoorbeeld *Legionella*).

De resultaten van deze studie zijn eveneens van belang voor de implementatie van de Kaderrichtlijn Water. Artikel 4.6 van de KRW stelt onder meer dat een tijdelijke achteruitgang van de toestand van waterlichamen niet strijdig is met de richtlijn, als deze achteruitgang het resultaat is van natuurlijke omstandigheden die uitzonderlijk zijn of niet redelijkerwijze waren te voorzien. De KRW doelt hierbij met name op extreme overstromingen of langdurige droogteperioden. Het lijkt echter moeilijk vol te houden, dat de effecten van droogte op de waterkwaliteit niet redelijkerwijze zijn te voorzien. Deze effecten zijn inmiddels genoegzaam bekend^{2),3),4),5)}, terwijl eveneens breed wordt erkend dat de kans op (extreme) droogte waarschijnlijk toeneemt door klimaatverandering.

Het lijkt dan ook verstandig dat het Nederlandse waterkwaliteitsbeleid een meer pro-actieve houding aanneemt met betrekking tot de effecten van droogte en hittegolven op de waterkwaliteit dan thans het geval is. In concreto betekent dit aanscherping van de immissietoets in de Wvo-vergunningverlening (laagwaterafvoer moet maatgevend zijn) en het terugdraaien van de versoepeling van de emissie-eisen voor koelwater, waartoe de minister van Verkeer en Waterstaat in 2006 heeft besloten. In de internationale riviercommissies (IRC, IMC) zal Nederland meer aandacht moeten vragen voor de opwarming van de Rijn en de Maas en de consequenties die dat heeft voor de waterkwaliteitsdoelen en de gebruiksfuncties in Nederland tijdens perioden van droogte. Om de toenemende gevolgen van droogte en hittegolven op de waterkwaliteit en de drinkwatervoorziening op te kunnen vangen, zijn deze maatregelen onontbeerlijk.

LITERATUUR

- 1) KNMI (2006). Persbericht 4 augustus.
- 2) Loeve R., T. Claassen en P. Droogers (2006). Klimaatverandering en waterkwaliteit. H₂O nr. 22, pag. 19-22.
- 3) Van Bokhoven A. en G. Zwolsman (2007). Klimaatverandering en de waterkwaliteit van de Rijn. H₂O nr. 9, pag. 34-37.
- 4) Van Vliet M. en G. Zwolsman (2007). Klimaatverandering en de waterkwaliteit van de Maas. H₂O nr. 9, pag. 29-33.
- 5) Mooij W., S. Hülsmann, L. de Senerpont Domis, B. Nolet, P. Bodelier, P. Boers, L. Dionisio Pires, H. Gons, B. Ibelings, R. Noordhuis, R. Portielje, K. Wolfstein en E. Lammens (2005). The impact of climate change on lakes in the Netherlands: a review. Aquatic Ecology 39, pag. 381-400.
- 6) Kohsiek L. (2007). Nattere winters, hogere dijken? Presentatie tijdens CSO-jubileumsymposium 'Klimaatverandering en waterbeheer' in Zeist op 3 oktober.
- 7) Puijker L., J. van Genderen en T. van den Hoven (2004). Oestrogene effecten in drinkwater en oppervlaktewater uit de Maas. Rapport KWR 04.045. Kiwa Water Research.
- 8) Commissie Integraal Waterbeheer (2000). Emissie-immissie; prioritering van bronnen en de immissietoets.