



Michelle van Vliet, Universiteit Utrecht, thans TNO
Gertjan Zwolsman, Kiwa Water Research

Klimaatverandering en de waterkwaliteit van de Maas

Het is algemeen bekend dat klimaatverandering de afvoerpatronen van rivieren zal beïnvloeden. Voor een regenrivier als de Maas heeft dat vérstrekkende gevolgen. De verwachte toename van extreme afvoeren (droogte en hoogwater) leidt tot grote gevolgen voor het waterbeheer, bijvoorbeeld met betrekking tot veiligheid, scheepvaart en lozingen van koelwater. Effecten van klimaatverandering (extreme afvoeren) op de waterkwaliteit zijn tot op heden niet goed in kaart gebracht. In deze studie zijn de effecten van droogte en hoogwater op de waterkwaliteit van de Maas onderzocht, op basis van analyse van bestaande meetgegevens. De resultaten laten zien dat de waterkwaliteit op de grenslocatie Eijsden sterk verslechtert tijdens extreem lage afvoeren, door een combinatie van hoge watertemperaturen en stagnante condities van het rivierwater waardoor sterke algenbloei optreedt, minder verdunning van puntbronnen én toename van de uitwisseling tussen bodem en water (met name nutriënten).

In de laatste decennia zijn verschillende signalen van klimaatverandering waargenomen op het afvoerregime en extreme afvoeren van de Maas. Vijf van de zeven hoogste hoogwaterperiodes in de Maas over de afgelopen eeuw vonden plaats in de laatste 15 jaar¹⁾. Daarnaast werd de Maas getroffen door langdurige droogte en door hittegolven, zoals in 2003 en 2006. Dit leidt tot een groeiend vermoeden dat de intensiteit en frequentie van extreme afvoeren in de Maas aan het toenemen is als gevolg van een veranderend klimaat. Uitgaande van de geprojecteerde stijging van het aantal hittegolven en extreme weersituaties in Europa voor de komende eeuw²⁾ is inderdaad te verwachten dat hoogwater en langdurige droogte in de Maas vaker zullen gaan voorkomen. Voorgaande studies naar de effecten van klimaatverandering op de Maas hebben zich voornamelijk gericht op effecten op de waterkwaliteit, vaak met betrekking tot veiligheid en scheepvaart. Toename van extreme afvoeren, in combinatie met een temperatuurverhoging van het rivierwater, kan echter ook van grote invloed zijn op de waterkwaliteit. Gelet op de belangrijke ecologische en recreatieve functies die de Maas vervult en het feit dat meer dan zes miljoen inwoners van Nederland en België afhankelijk zijn van de Maas voor hun drinkwatervoorziening, is het van groot belang om meer inzicht te krijgen in de effecten van droogte en hoogwater op de waterkwaliteit van de Maas. Een verkennende studie

naar de effecten van droogte op de waterkwaliteit, gebaseerd op een analyse van de zomer van 2003, is reeds uitgevoerd³⁾.

Het doel van het hier gepresenteerde onderzoek is een overkoepelend beeld te schetsen van de effecten van extreme afvoeren (droogte en hoogwater) op de waterkwaliteit van de Maas. Het onderzoek maakt deel uit van het onderzoeksprogramma 'Risicoanalyse van klimaatverandering voor de drinkwaterproductie', dat Kiwa Water Research uitvoert in opdracht van de Nederlandse drinkwaterbedrijven. In dit artikel ligt de nadruk op de verandering van de waterkwaliteit door extreme afvoeren, waarbij slechts een selectie van de resultaten kan worden gepresenteerd. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar het achterliggende rapport⁴⁾.

Methoden van onderzoek

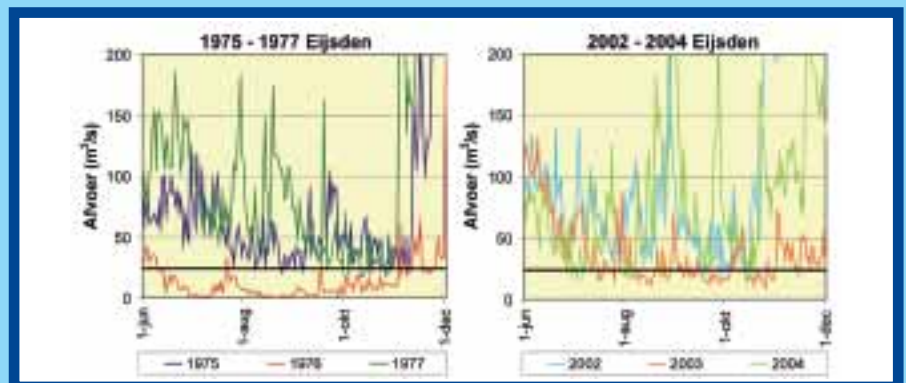
Om de effecten van extreme afvoeren op de waterkwaliteit en de drinkwaterfunctie van de Maas vast te stellen, is een uitgebreide data-analyse uitgevoerd. De waterkwaliteit van de Maas bij het meetstation van Eijsden (grens België-Nederland) is onderzocht tijdens twee langdurige droogteperiodes van juni-november 1976 en in 2003 en tijdens drie hoogwaterperiodes in december 1993, januari 1995 en januari 2003. Als referentieperiode voor de laagwaters is de periode van juni t/m november in het jaar voorafgaand en het jaar volgend op het droogtejaar

geselecteerd. Voor een aantal waterkwaliteitsparameters die sterk afhankelijk zijn van de watertemperatuur is echter alleen de zomerperiode (juni-augustus) van de droogtes en de referentieperiodes vergeleken. Voor hoogwater is een periode van twee maanden voorafgaand aan en volgend op de hoogwaterpiek gebruikt als referentie. Door het korte tijdsbestek tussen de referentieperiodes en de bestudeerde droogte en het hoogwater mag worden aangenomen dat andere veranderingen in het stroomgebied, die van invloed kunnen zijn op de waterkwaliteit (zoals veranderingen in landgebruik en emissiereductie), van ondergeschikt belang zijn. Naast Eijsden is de waterkwaliteit ook onderzocht bij Keizersveer (250 km stroomafwaarts van Eijsden) voor de droogte van 2003. Het doel hiervan was om effecten op de waterkwaliteit benedenstrooms vast te stellen. Uit eerder onderzoek was reeds bekend dat de kwaliteit van de Maas enigszins verbetert stroomafwaarts van Eijsden, door de instroom van diverse zijrivieren die over het algemeen minder belast zijn.

In totaal zijn 40 waterkwaliteitsparameters betrokken in de analyse. Deze kunnen worden onderverdeeld in de volgende groepen: algemene waterkwaliteitsparameters (o.a. watertemperatuur, zuurstof, chlorofyl-a, zwevend stof), macro-ionen (o.a. chloride, fluoride), nutriënten, zware metalen



Hoogwater in de Maas (foto: Hugo Jamin, Waterschap Roer en Overmaas).



Afb. 1: Afvoer van de Maas bij Eijsden voor de jaren 1975-1977 (a) en 2002-2004 (b). De getrokken zwarte lijn geeft de kritische afvoer van 24 kubieke meter per seconde aan.

(o.a. koper, zink, lood) en metalloïden (arsen, seleen), polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), bestrijdingsmiddelen en overige organische microverontreinigingen.

Voor iedere parameter is vastgesteld of tijdens droogte en hoogwater significante concentratieveranderingen plaatsvonden ten opzichte van de referentieperioden. Bovendien is getoetst of algemene normen voor de waterkwaliteit of functiegerichte normen (drinkwaterproductie) worden overschreden tijdens droogte en hoogwater. De normkaders waaraan is getoetst, zijn het Besluit Kwaliteitsdoelstellingen en Metingen Oppervlaktewater (BKMO), de grenswaarden van RIWA-Maas, milieukwaliteitseisen en normen voor prioritair stoffen uit de Kaderrichtlijn Water.

Waterkwaliteit bij droogte

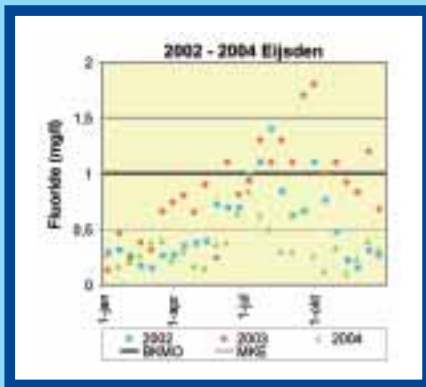
Tijdens de droogte van 1976 was de afvoer van de Maas extreem laag, vergeleken met de referentieperioden (afbeelding 1a). De gemiddelde afvoer bij Eijsden over juni t/m november 1976 bedroeg slechts 13 kubieke

meter per seconde en het aantal dagen dat de afvoer beneden de kritische waarde van 24 kubieke meter per seconde lag, was 151 (op een totale periode van zes maanden). Hoewel de droogte van 2003 met een gemiddelde afvoer bij Eijsden van 38 kubieke meter per seconde minder extreem was dan die van 1976 (afbeelding 1b), lag het aantal dagen met kritisch lage afvoeren toch vrij hoog (73 dagen). De gemiddelde afvoer van de referentieperioden bij Eijsden bedroeg 63 respectievelijk 158 kubieke meter per seconde en het aantal dagen met een kritische afvoer (beneden 24 kubieke meter per seconde) van de referentieperioden varieerde van vijf tot 13. Door de instroom van zijrivieren (zoals de Roer, Niers en Dieze) en toestrooming van grondwater is de afvoer bij Keizersveer hoger dan die bij Eijsden. De gemiddelde afvoer bij Keizersveer tijdens de droogte van 2003 (juni t/m november) bedroeg 76 kubieke meter per seconde, precies twee maal zo hoog als de afvoer bij Eijsden in dezelfde periode. Het aantal dagen met kritisch lage afvoeren was bij Keizersveer ook beduidend lager (14 dagen) dan bij Eijsden (73 dagen).

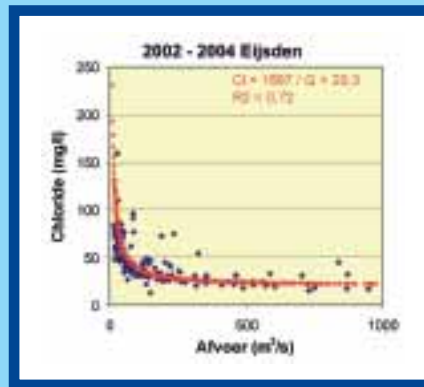
De effecten van droogte zijn dan ook minder extreem bij Keizersveer dan bij Eijsden, zoals hierna zal blijken.

Algemene waterkwaliteitsparameters

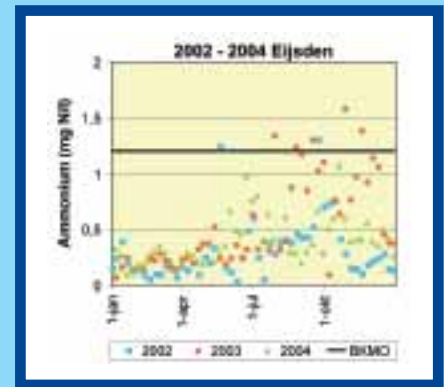
Tijdens de zomer van 2003 (juni t/m augustus) lag de gemiddelde temperatuur van het Maaswater te Eijsden twee graden hoger dan de gemiddelde watertemperatuur in de zomer van 2002 en 2004 (23,7°C versus 21,7°C respectievelijk 21,5°C). De norm van 25°C werd twaalf dagen overschreden in de zomer van 2003, ten opzichte van nul en twee dagen in 2002 en 2004. De maximumtemperatuur van het water bedroeg 26,9°C in 2003 ten opzichte van 24,1°C in 2002 en 25,6°C in 2004. Er was dus sprake van een sterke opwarming van het Maaswater tijdens de zomer van 2003, ten opzichte van de referentieperioden. Bij Keizersveer was de gemiddelde watertemperatuur in de zomer van 2003 (22,4°C) ook hoger dan die in 2002 en 2004 (20,8°C en 20,3°C), maar aanzienlijk lager dan bij Eijsden. Er is ook geen overschrijding van de 25°C-norm waargenomen bij Keizersveer in de zomer van 2003. Kennelijk koelt het



Afb. 2: Fluorideconcentratie in de Maas bij Eijsden in de periode 2002-2004. De getrokken lijnen zijn de normen volgens het BKMO (1 mg/l) en de milieukwaliteitsis (1,5 mg/l).



Afb. 3: Relatie tussen de chlorideconcentratie en de afvoer bij Eijsden in de periode 2002-2004.



Afb. 4: Ammoniumconcentratie in de Maas bij Eijsden in de periode 2002-2004. De getrokken lijn is de BKMO-norm (1,2 mg/l).

Maaswater af tussen Eijsden en Keizersveer, wellicht door menging met (koudere) water van zijrivieren en afgifte van warmte aan de lucht gedurende de nacht.

In een sterk met organische stoffen belast watersysteem als de Maas wordt bij hogere watertemperaturen over het algemeen een afname van de zuurstofconcentratie waargenomen, door toename van de biologische afbraak (respiratie) en afname van de zuurstofoplosbaarheid. Dit is inderdaad waargenomen op de locatie Keizersveer in 2003, waar de zuurstofconcentraties tijdens de droogte van 2003 gemiddeld circa één milligram per liter lager waren dan in de referentieperioden van 2002 en 2004. Bij Eijsden was echter geen sprake van lagere zuurstofgehalten tijdens droogte (overdag), noch in 1976, noch in 2003. Bovendien werden bij Eijsden in 1976 incidenteel zeer hoge zuurstofgehalten gemeten (overdag), tot 16 mg/l, wat wijst op een grote mate van oververzadiging. Deze pieken in zuurstofconcentratie kwamen overeen met pieken in chlorofyl-a en duiden dus op algenbloei. Tijdens langdurige droogte zijn de condities voor algenbloei optimaal (bij Eijsden), door een combinatie van stagnant rivierwater, hoge watertemperaturen en hoge concentraties aan nutriënten. Overigens is de toename van zuurstof tijdens een algenbloei beperkt tot de dag. 's Nachts kan de zuurstofconcentratie aanzienlijk dalen door de omslag van fotosynthese naar respiratie⁵⁾.

Bij Keizersveer zijn geen piekconcentraties in zuurstof en chlorofyl-a waargenomen tijdens de zomer van 2003. Tevens valt op dat de concentraties chlorofyl-a zowel in 2003 als gedurende de referentieperioden beduidend lager (factor 10) waren ten opzichte van de concentratieniveaus bij Eijsden. De betere doorstroming van de rivier (hogere afvoer) en de lagere watertemperaturen ten opzichte van Eijsden zouden een mogelijke verklaring kunnen zijn voor het ontbreken van een zomer-algenbloei bij Keizersveer.

Macro-ionen

De macro-ionen vertoonden een aanzienlijke stijging in concentratie bij Eijsden

tijdens beide droogte. Dit is in afbeelding 2 weergegeven voor fluoride gedurende de droogte van 2003. De concentratietoename ten opzichte van de referentieperioden was significant voor chloride, fluoride en sulfaat. De fluorideconcentratie bij Eijsden tijdens de droogte van 2003 lag bijna een half jaar boven de norm uit het BKMO voor productie van drinkwater (bij de feitelijke inlaatpunten Roosteren en Heel kan dit anders zijn geweest). Ook voor natrium, kalium en magnesium werd een toename van de concentratie waargenomen tijdens de droogte van 2003 (geen data beschikbaar voor 1976). Uit een nadere analyse bleek dat de gemeten concentraties kunnen worden beschreven als functie van de belasting en de afvoer, volgens de vergelijking⁶⁾:

$$C = \frac{a}{Q} + b$$

waarin C = concentratie in oppervlaktewater (mg/l), Q = afvoer (m³/s), a = chemische belasting (g/s) en b = achtergrondconcentratie (mg/l).

Vanwege het korte tijdsbestek tussen de referentieperioden en de geselecteerde droogte kunnen a en b als constant worden beschouwd voor een gegeven tijdserie (bijvoorbeeld 2002-2004). Hierdoor worden veranderingen in de concentratie enkel bepaald door veranderingen in de afvoer. De toename van de concentratie bij lage afvoeren, zoals weergegeven voor chloride in afbeelding 3, is daarom direct het gevolg van verminderde verdunning van de chemische belasting. Vergelijkbare relaties zijn afgeleid voor fluoride, bromide, sulfaat, natrium, kalium en magnesium. Ook bij Keizersveer konden dergelijke relaties worden opgesteld. Concentratietoename in macro-ionen waren bij dit meetstation echter minder groot in vergelijking tot Eijsden, aangezien het effect van een verminderde verdunning (door afvoerdalingen) tijdens de droogte van 2003 minder sterk was.

Nutriënten

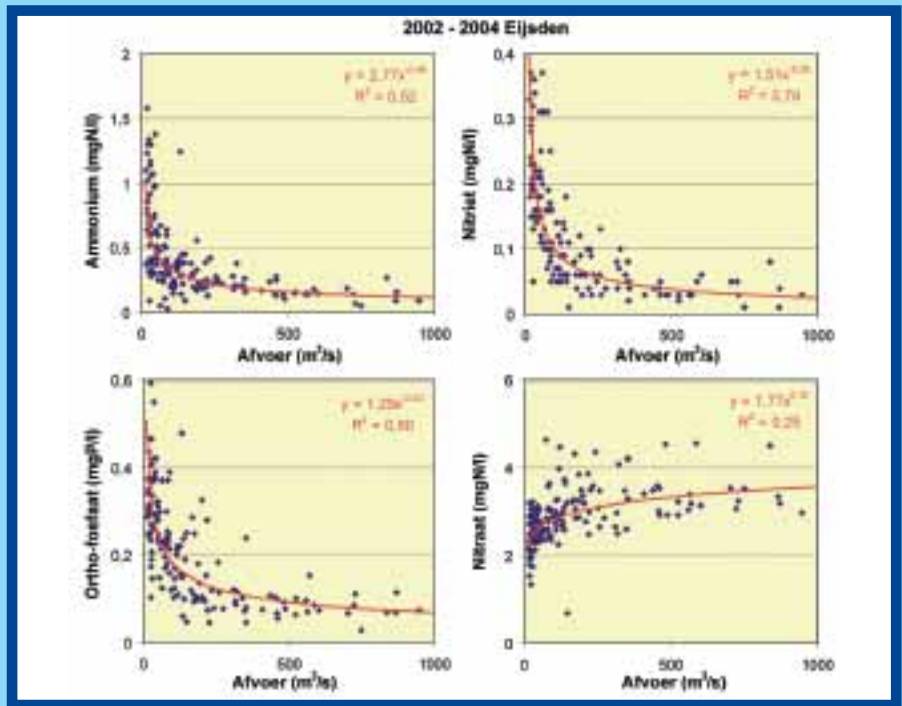
De concentraties ammonium, nitriet en orthofosfaat bij Eijsden waren aanzienlijk

verhoogd tijdens de droogte van 1976 en 2003. Voor ammonium (afbeelding 4) was deze toename in concentratie significant voor beide droogte. Bovendien bleken ammonium, nitriet en orthofosfaat, net als voor de macro-ionen is geconstateerd, sterk gerelateerd te zijn aan de afvoer (afbeelding 5). Hieruit kan worden afgeleid dat deze concentratiestijgingen voornamelijk het gevolg zijn van een verminderde verdunning. Daarnaast zal een verhoogde ammonium- en fosfaatafgifte door de waterbodembodem onder stagnante condities waarschijnlijk ook hebben bijgedragen aan de stijging van ammonium en fosfaat in de Maas, zoals ook in andere rivieren is waargenomen⁷⁾. Voor nitraat werd echter een tegenovergesteld gedrag gevonden, namelijk een afnemende concentratie tijdens beide droogte. Dit kan mogelijk verklaard worden door een verminderde aanvoer van nitraat (minder uitspoeling van landbouwpercelen)^{7),8)} en een toename van de denitrificatie bij hogere watertemperaturen⁹⁾. Bij Keizersveer werden vergelijkbare effecten op de waterkwaliteit met betrekking tot nutriënten waargenomen als bij Eijsden, maar de verslechtering van de waterkwaliteit was hier minder groot (in overeenstemming met het verschil in afvoer en watertemperatuur).

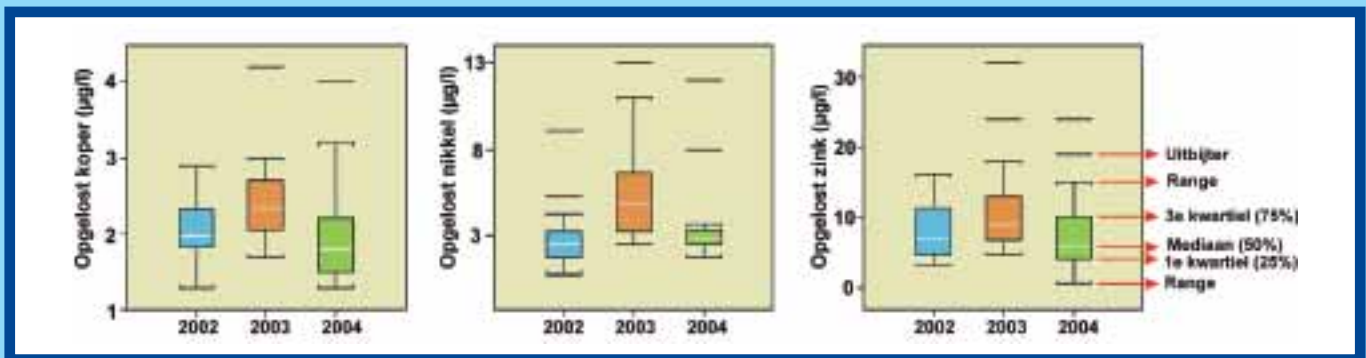
Zware metalen en PAK's

De (totaal)concentraties aan zware metalen en PAK's in de Maas hangen nauw samen met de dynamiek van het zwevend stof. De concentratie zwevend stof bij Eijsden tijdens de droogte van 2003 was lager dan die van de referentieperioden (mediaan 4 mg/l in 2003 versus 7 mg/l in 2002 en 6 mg/l in 2004) en dat vertaalde zich in een afname van de concentraties aan (totaal) zware metalen en PAK's. Als naar opgeloste metalen wordt gekeken, blijken de concentraties tijdens de droogte in 2003 voor sommige metalen wel hoger te liggen dan in de referentieperioden, al zijn de verschillen meestal niet significant (afbeelding 6). Dit is mogelijk een effect van verminderde verdunning van lozingen tijdens laagwater.

Bij Keizersveer werd geen verandering in de totaalconcentraties aan zware metalen en PAK's gevonden tijdens de droogte van



Afb. 5: Relatie tussen concentratie en afvoer bij Eijsden voor ammonium, nitriet, orthofosfaat en nitraat in de periode 2002-2004.



Afb. 6: Boxplots van de concentratie van opgelost koper, nikkel en zink in de Maas bij Eijsden in 2002-2004 (juni tot november).

2003. Dit is in overeenstemming met het (constante) gedrag van zwevend stof bij dit meetstation over de periode 2002-2004.

Waterkwaliteit bij hoogwater

Zware metalen en PAK's

Tijdens het hoogwater van 1993, 1995 en 2003 werden aanzienlijke stijgingen in de concentratie zwevend stof in de Maas waargenomen als gevolg van versterkte erosie en opwerveling van verontreinigd bodemslib¹⁰⁾. Voor het hoogwater van januari 1995 is dit weergegeven in afbeelding 7a. De toename in de concentratie van zwevend stof leidde tot een navenante toename van de (totaal)concentratie van zware metalen en PAK's. Daarnaast zal een verhoogde af- en uitspoeling van het bovenste ondiepe grondwater ook een bijdrage hebben geleverd aan de concentratiestijging van zware metalen in het Maaswater¹¹⁾. Voor lood (afbeelding 7b) en fluorantheen werd de BKMO-norm voor bereiding van drinkwater enige tijd overschreden tijdens het hoogwater van 1995 bij Eijsden (bij de innamepunten is dit niet getoetst).

Chloride en nutriënten

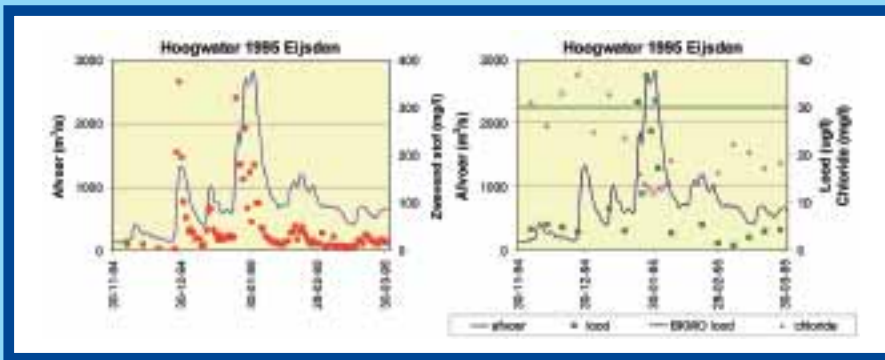
De concentraties aan chloride (afbeelding 7b), ammonium (afbeelding 8a), nitriet en ortho-fosfaat lieten een duidelijke afname zien tijdens het hoogwater. Dit is het gevolg van toenemende verdunning van de chemische belasting. Voor nitraat werd echter geen duidelijke afname van de concentratie waargenomen (afbeelding 8b). Dit is in overeenstemming met het gedrag bij droogte en kan worden verklaard door de tegengestelde effecten van een toenemende verdunning enerzijds en toename in aanvoer van nitraat door versterkte uitspoeling/afstroming van landbouwpercelen tijdens het hoogwater anderzijds. Concentraties van totaal fosfaat vertoonden een duidelijke stijging tijdens het hoogwater als gevolg van een toename in de concentratie zwevend stof.

Implicaties voor de drinkwaterproductie

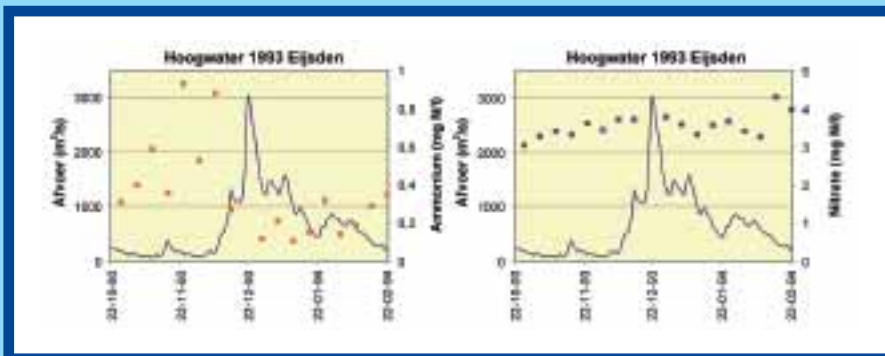
In deze studie is aangetoond dat extreme afvoeren (droogte en hoogwater) leiden tot een tijdelijke verslechtering van de waterkwaliteit van de Maas. De tijdschaal van het

hoogwater is relatief beperkt (weken), maar de effecten van droogte manifesteren zich op langere tijdschalen (maanden). Effecten van droogte zijn vooral waarneembaar bij de locatie Eijsden, door een combinatie van langdurig lage afvoeren en hoge watertemperaturen. Bij Keizersveer zijn de effecten van droogte geringer als gevolg van de toestroom van diverse zijrivieren. Bij een hoogwater neemt de concentratie zwevend stof in de rivier sterk toe, evenals de concentratie van stoffen die zich aan slib hechten, zoals zware metalen en PAK's.

Vanuit het oogpunt van de drinkwatervoorziening zijn vooral de droogtes relevant, omdat deze veel langer aanhouden dan het hoogwater, en door de geconstateerde bedreiging van de waterkwaliteit voor diverse parameters (toename watertemperatuur, algen, fluoride en ammonium). Waar verder rekening mee moet worden gehouden, is een stijging van de concentraties aan organische microverontreinigingen tijdens droogte, zowel bekende als 'onbekende' stoffen, door een afname van de verdunning van



Afb. 7: Waterkwaliteit van de Maas (Eijsden) tijdens het hoogwater van januari 1995: afvoer en zwevend stof (a), afvoer, chloride en totaal lood (b). De getrokken lijn is de norm voor lood (30 µg/l) volgens het BKMO.



Afb. 8: Waterkwaliteit van de Maas (Eijsden) tijdens het hoogwater van december 1993: afvoer en ammonium (a), afvoer en nitraat (b).

communale en industriële effluenten^{12),13)}. Deze stoffen kunnen een directe bedreiging vormen voor de drinkwaterproductie. Zo werd de inname van Maaswater in de (na)zomer van 2003 twee maanden gestaakt door een onbekende stof (werknaam M431) die in te hoge concentraties voorkwam in het inlaatwater¹⁴⁾. Hoewel het hier om een toegelaten lozing ging, werd het effect van de lozing versterkt door de lage afvoeren van de Maas op dat moment.

Algemeen wordt aangenomen dat klimaatverandering zal leiden tot een toename van hydrologische extremen, zowel in intensiteit als in frequentie. Dat betekent dat de waterkwaliteit steeds meer in negatieve zin beïnvloed zal worden door klimaatverandering, zowel chemisch als ecologisch. Om deze effecten tegen te gaan zijn adaptieve maatregelen noodzakelijk. Een voorbeeld hiervan is een Wvo-lozingsvergunning die is afgestemd op de meest kritische hydrologische condities van de Maas. Heel concreet betekent dit dat de immissietoets¹⁵⁾, waarmee de effecten van een lozing op de waterkwaliteit worden beoordeeld, beter kan worden uitgevoerd bij een realistisch laagwaterdebit dan bij een gemiddelde afvoer (zoals thans het geval is). De afvoer van de Maas kan immers langdurig onder de jaargemiddelde afvoer liggen, met name tijdens droogte. Aanscherping van de immissietoets is niet alleen van belang voor een gezond ecosysteem, maar komt ook de gebruiksfuncties van de Maas ten goede, waaronder de drinkwaterfunctie.

LITERATUUR

- 1) Tu M., M. Hall, P. Laet en M. de Wit (2005). Extreme floods in the Meuse river over the past century: aggravated by land-use changes? *Physics and Chemistry of the Earth* 30, pag. 267-276.
- 2) EEA (2004). Impacts of Europe's changing climate: an indicator-based assessment. Rapport 2. European Environment Agency.
- 3) Doomen A., J. Zwolsman, J-P. van der Hoek en M. Kortleve (2006). Waterkwaliteit van de Rijn en de Maas bij lage afvoeren: een verkenning na de droge zomer van 2003. *H₂O* nr. 13, pag. 46-49.
- 4) Van Vliet M. (2006). Effects of droughts and floods on the water quality and drinking water function of the river Meuse: a preview of climate change? Rapport BTO 2006.073(s). Kiwa Water Research.
- 5) Zwolsman J. (2007). Klimaatverandering en waterkwaliteit - implicaties voor de KRW? (In voorbereiding).
- 6) Van der Weijden C. en J. Middelburg (1989). Hydrogeochemistry of the river Rhine: long term and seasonal variability, elemental budgets and pollution. *Water Research* 23, pag. 1247-1266.
- 7) Mulholland P., G. Best, C. Coutant, G. Hornsberger, J. Meyer, P. Robinson, J. Stenberg, R. Turner, F. Vera-Herrera en R. Wetzel (1997). Effects of climate change on freshwater ecosystems of the South-Eastern United States and the Gulf Coast of Mexico. *Hydrological Processes* nr. 11, pag. 949-970.
- 8) Murdoch P., J. Baron en T. Miller (2000). Potential effects of climate change on surface-water quality in North America. *Journal of the American Water Resources Association* 36, pag. 347-366.
- 9) Admiraal W. en J. van der Vlugt (1988). High rates of denitrification in a storage reservoir fed with water of the river Rhine. *Archiv für Hydrobiologie* 113, pag. 593-605.
- 10) Zwolsman J., E. Wijma, A. Doomen en H. Middelkoop (2005). Modelling van de dynamiek van zwevend stof in de Maas. *H₂O* nr. 12, pag. 38-40.
- 11) Rozemeijer J., H. Broers en A. Geerts (2007). Grondwater in Noord-Brabant zorgt voor overschrijding MTR-waarden oppervlaktewater. *H₂O* nr. 4, pag. 40-43.
- 12) Berbee R., D. Kalf, P. van Duijn en M. Beek (2004). Vergeten stoffen in rwzi-effluenten in het Maasstroomgebied. Rapport 2004.018, RIZA.
- 13) Berbee R. en D. Kalf (2006). Risicovolle lozingen op de Maas. Onderzoek naar het voorkomen effect van geloosde risicovolle stoffen (waaronder KRW-stoffen) op de Maas door rioolwaterzuiveringen en industriële afvalwaterzuiveringen in het beheersgebied van RWS-Limburg. Rapport 2006.014. RWS-RIZA.
- 14) Juhasz-Holterman M. (red.) (2004). Verontreiniging Maas met Mw431; evaluatie en gevolg. Rapport Waterleiding Maatschappij Limburg.
- 15) CIW (2000). Emissie-immissie; prioritering van bronnen en de immissietoets. Commissie Integraal Waterbeheer.