



Erik Querner, Alterra

Tristan Bergsma, Alterra, thans student Wageningen Universiteit

Henny van Lanen, Wageningen Universiteit

Cees Kwakernaak, Alterra

# Lagere Rijnafvoer bij veranderingen in klimaat en landgebruik

**Alterra onderzoekt samen met de Wageningen Universiteit de gevolgen van klimaat- en landgebruikverandering op lage afvoeren in de Rijn<sup>1)</sup>. Hiervoor maakten ze gebruik van het grond- en oppervlaktewatermodel SIMGRO. Uit het onderzoek komt naar voren dat extreme klimaatscenario's in 2050 zullen leiden tot aanzienlijk lagere afvoeren in de Rijn en bovendien een toename in de duur. Verder blijkt dat veranderingen in het landgebruik een veel kleiner effect hebben op lage afvoeren dan veranderingen in het klimaat. Hierdoor kunnen lagere afvoeren door klimaatverandering moeilijk opgevangen worden met alleen aanpassingen in het landgebruik.**

Afgelopen november bereikte de waterstand in de Rijn historisch lage waarden. Ook in mei stond de Rijn extreem laag. Juli en augustus waren daarentegen natter dan normaal.

In de droge zomer van 2003 werd duidelijk welke gevolgen lage afvoeren van Rijn en Maas hebben op de zoetwatervoorziening. Het is van groot belang voor de landbouw, de ecologie, de scheepvaart, winning voor drinkwater en het gebruik van water voor industrie en als koelwater. Nederland is in de zomer voor een groot deel aangewezen op water uit het Rijnstroomgebied. Als de afvoer van de Rijn bij Lobith minder bedraagt dan 1.400 kubieke meter per seconde in mei, aflopend naar 1.000 kubieke meter per seconde in september, is sprake van een watertekort in Nederland. Rijkswaterstaat moet dan in overleg met betrokkenen keuzes maken over de verdeling van het water.

Daarnaast komt het IPCC met nieuwe informatie over extreme weersomstandigheden in de komende decennia<sup>2)</sup>. Het risico op langdurige droogte neemt toe. Het is dus van belang om te weten of we in de toekomst vaker te maken zullen krijgen met extreem lage afvoeren. Hoe gevoelig is het afvoerpatroon van de Rijn voor een veranderend klimaat en kunnen we dat wellicht opvangen met veranderingen in het

landgebruik of andere maatregelen in het stroomgebied van de Rijn?

Om deze laagwaterproblemen in de Rijn te kunnen kwantificeren, is een modelstudie uitgevoerd naar ontwikkelingen in de laagwaterafvoer in het stroomgebied.

## Opzet en toetsing rekenmodel

Bij het modelleren van het afvoerpatroon van de Rijn wordt veelvuldig het HBV-model toegepast<sup>3)</sup>. Dit model heeft echter beperkingen voor het berekenen van lage afvoeren door het ontbreken van een ruimtelijk gedistribueerd grondwatersysteem. Juist bij lage afvoeren vormt de nalevering vanuit het grondwater een heel belangrijke component van de afvoer. In het onderzoek is er daarom voor gekozen om gebruik te maken van het computerprogramma SIMGRO. In het model wordt het grondwatersysteem wel gedistribueerd gemodelleerd, wat leidt tot een betere simulatie van lage afvoeren.

Om voor Nederland de aanvoer vanuit Duitsland in beeld te krijgen, is alleen het gedeelte van het stroomgebied bovenstrooms van Lobith gemodelleerd. Het modelgebied beslaat circa 160.000 km<sup>2</sup> en is opgedeeld in 8.144 knooppunten met elk een eigen invloedsgebied. Gemiddeld beslaat zo'n gebied een oppervlak van ongeveer 25 km<sup>2</sup>. Voor het landgebruik is de

databank CORINE gebruikt, die gebaseerd is op satellietbeelden. Het bodemgebruik in het stroomgebied bestaat hoofdzakelijk uit akkerbouw (33 procent), grasland (21 procent), loofbos (20 procent), naaldbos (15 procent), bebouwd (4 procent) en overig (7 procent). Voor het grondwater is één watervoerend pakket gebruikt. De doorlatendheid van de ondergrond verschilt ruimtelijk en is gebaseerd op een hydrogeologische kaart van het stroomgebied van de Rijn<sup>4)</sup>. Voor de karstgebieden in Duitsland is zo goed als mogelijk rekening gehouden met de complexe grondwatersituatie door in het model de freatische bergingscoëfficiënt daarvan aan te passen. Voor het oppervlaktewater is gebruik gemaakt van een GIS-bestand<sup>5)</sup> dat is afgeleid van een digitaal terreinmodel. Daardoor is voor alle waterlopen ook het afwaterend oppervlak bekend. De grote zijrivieren (met een stroomgebied van meer dan 400 km<sup>2</sup>) zijn gebruikt om de afwateringsstructuur van het oppervlaktewater te definiëren. Het resultaat van deze schematisering zijn 630 deelgebieden waarvoor in elke afzonderlijk de dynamiek van het oppervlaktewater wordt berekend<sup>6)</sup>. Van 134 stations zijn de dagelijkse weergegevens (neerslag, potentiële verdamping en temperatuur) beschikbaar gesteld door de Internationale Commissie voor de Hydrologie van de Rijn. Voor grote delen van het stroomgebied is het belangrijk dat ook de winterse omstandigheden worden meegenomen.

Hiervoor is een eenvoudige sneeuwmodule toegevoegd die op basis van de temperatuursom bepaalt of neerslag valt in de vorm van regen of sneeuw en daarnaast de sneeuwsmelt berekent.

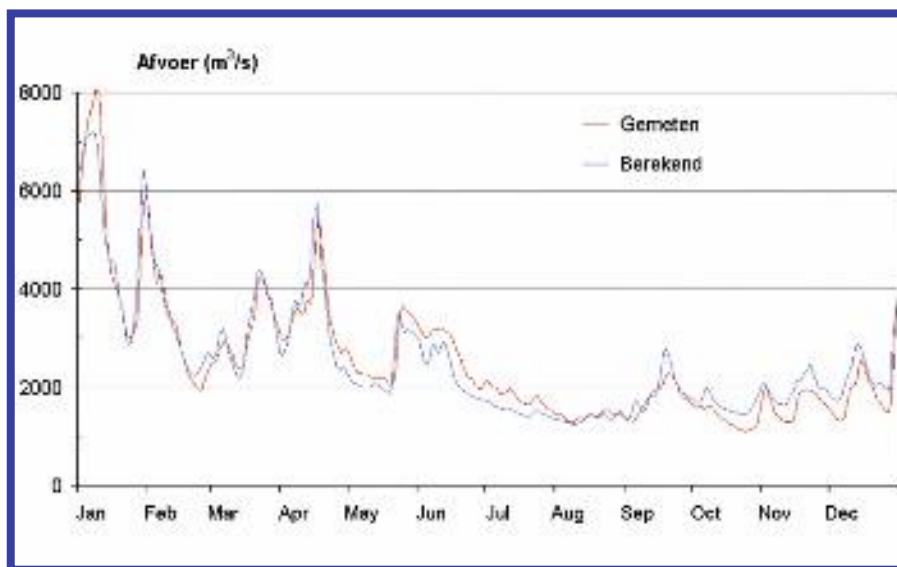
Bij het vergelijken van gemeten en berekende afvoeren bleek dat de verschillen hiertussen gering zijn. Afbeelding 1 geeft voor Lobith de gemeten en berekende afvoer voor het jaar 1994 weer; de gemeten afvoer wordt redelijk goed benaderd. Wel is sprake van een iets te snelle afname van de afvoer in het voorjaar en een iets te snelle toename in het najaar. Hier speelt vermoedelijk de grondwaterberging (karstgebieden) een rol. Verschillen tussen gemeten en berekende afvoeren worden in de hydrologie vaak uitgedrukt met behulp van de Nash-Sutcliffe-coëfficiënt. Op basis van berekeningen over de periode 1990 t/m 1995 bedraagt deze voor Lobith 0,89. Bij een waarde van 1 komt de gemeten afvoer precies overeen met de berekende afvoer met het model. Voor het merendeel van de 42 meetstations, die gebruikt zijn bij de toetsing van het model, waren de resultaten goed<sup>1)</sup>. Voor het Zwitserse gedeelte van het stroomgebied vielen deze echter wat tegen. Dit komt waarschijnlijk door het operationeel beheer van de (stuw)meren voor de opwekking van elektriciteit. Mogelijk is ook de complexe geologie van de Alpen en de buffering door sneeuw en gletsjers daar debet aan.

### Extreem lage afvoer

Om extreem lage afvoeren te definiëren, is een drempelwaarde bepaald. Hiervoor is de Q90 gehanteerd: 90 procent van de tijd is de afvoer groter dan de drempelwaarde. Deze drempelwaarde, op basis van de berekende afvoeren over de periode 1990 t/m 1995, kwam uit op 1.265 kubieke meter per seconde. Deze drempelwaarde ligt tussen de drempelwaarden die Rijkswaterstaat vaststelde voor het bepalen van het afvoertekort in de Rijn. Bij de modelberekeningen is bijgehouden hoe lang een extreem lage afvoer optreedt. Daarnaast wordt het afvoertekort berekend als het totale watertekort onder de drempelwaarde van 1.265 kubieke meter per seconde. Dit tekort geeft dus aan hoeveel water met maatregelen in het bovenliggend stroomgebied aangevuld moet worden om te voorkomen dat in de Rijn een extreem lage afvoer optreedt.

### Verandering in landgebruik

In het onderzoek zijn voor twee extreme scenario's voor grootschalige veranderingen



Afb. 1: Gemeten en berekende afvoer van de Rijn bij Lobith in 1994.

in het landgebruik de gevolgen op lage afvoeren berekend. Gekozen is voor extreme scenario's om zo de gevoeligheid hiervoor te onderzoeken. In het eerste scenario worden alle akkerbouwpercelen, die 33 procent van het stroomgebied boven Lobith beslaan, omgezet naar grasland. Het tweede scenario bestaat uit het omzetten van alle percelen akkerbouw naar bos.

Afbeelding 2 geeft voor de landgebruikscenario's de afvoer voor de zomer van 1992 weer. Voor het scenario 'akkerbouw naar bos' treedt een duidelijke verlaging van de afvoer op. Ten opzichte van de huidige situatie neemt de afvoer in juli en augustus met gemiddeld 83 kubieke meter per seconde af. Bij het scenario 'akkerbouw naar gras' is de verandering in afvoer gering. Bij akkerbouw is in het voorjaar de grond nog onbewerkt; zodoende is de verdamping lager dan voor gras. Dit effect zien we terug in de iets hogere afvoer. Daarentegen is gedurende de zomer bij een volledige ontwikkeling van de akkerbouwgewassen de verdamping hoger; zodoende neemt de afvoer iets af.

De tabel geeft voor deze scenario's de periode weer met een extreem lage afvoer (minder dan 1.265 kubieke meter per seconde) en het afvoertekort. Daarnaast zijn de procentuele veranderingen ten opzichte van de huidige situatie weergegeven. In de huidige situatie heeft de Rijn gedurende de zes rekenjaren (1990 tot en met 1995) gemiddeld 37 dagen per jaar een extreem lage afvoer. Dit neemt toe met zeven dagen (19 procent) wanneer alle akkerbouw

verandert in grasland en met 16 dagen (43 procent) als de akkers omgezet worden in bos. Verder zien we in de tabel voor beide scenario's ook duidelijk een toename in het afvoertekort. Bij het scenario 'akkerbouw naar gras' neemt het tekort toe met 13 procent. Bij het scenario 'akkerbouw naar bos' is de toename groter: 58 procent.

### Klimaatverandering

Om de gevolgen van klimaatverandering op lage afvoeren te berekenen, is gebruik gemaakt van de KNMI-klimaatscenario's. Deze geven veranderingen in temperatuur, neerslag, wind en zeeniveau weer voor 2050 ten opzichte van 1990. Het KNMI onderscheidt vier scenario's: G, G+, W en W+. De twee G-scenario's gaan uit van een wereldwijde temperatuurstijging van één graad en de twee W-scenario's van twee graden. De plus in G+ en W+ geeft een verandering weer in de luchtstromen boven West-Europa: een meer westelijke wind in de winter en een meer oostelijke wind in de zomer. Hierdoor zullen de winters milder en natter worden en de zomers droger en warmer. Zodoende zijn de veranderingen in de neerslag en verdamping in de scenario's W+ en G+ groter dan in de scenario's W en G. Gekozen is voor W+ en G+ om inzichtelijk te krijgen wat de invloed is van mogelijke extreme klimaatverandering op de afvoer van de Rijn. Bij deze scenario's zal tijdens de zomer minder neerslag vallen (-10 procent bij G+ en -19 procent bij W+) en meer verdamping optreden (+8 procent bij G+ en +15 procent bij W+).

**Aantal dagen met extreem lage afvoer (minder dan 1.265 kubieke meter per seconde) en het afvoertekort bij Lobith voor het landgebruik en de klimaatscenario's, gemiddeld op jaarbasis voor de periode 1990 tot en met 1995.**

	huidige situatie	landgebruik		klimaatscenario	
		akkerbouw naar gras	akkerbouw naar bos	G+	W+
dagen extreem lage afvoer	37	44	53	74	109
% toename t.o.v. huidige situatie		19%	43%	100%	194%
afvoertekort (miljoen m <sup>3</sup> )	363	409	572	1020	1835
% toename t.o.v. huidige situatie		13%	58%	181%	406%

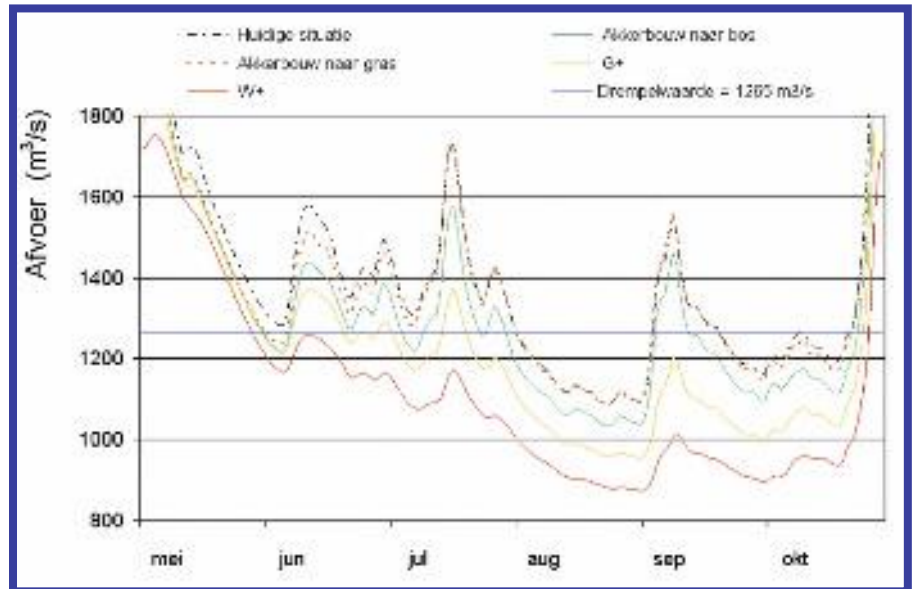
Afbeelding 2 geeft voor de scenario's G+ en W+ de verandering weer in afvoer voor 1992, een gemiddeld weerjaar. Er is een duidelijke verlaging van de afvoer te zien en een toename in de duur van extreem lage afvoeren. Dit geldt voor beide klimaatscenario's, maar het scenario W+ toont duidelijk de grootste verlaging in de afvoer. Eind augustus bedraagt in de huidige situatie de afvoer ongeveer 1.110 kubieke meter per seconde en voor het scenario W+ ongeveer 880 kubieke meter. Afgelopen mei bedroeg de laagste afvoer ongeveer 950 kubieke meter per seconde, vanwege een extreem droog voorjaar. Maar ook eind november was de afvoer laag: circa 790 kubieke meter per seconde, ook weer na een lange droge periode. Je kunt dus stellen dat we dit jaar een situatie hebben gehad die al heel veel lijkt op het W+-scenario.

Voor de scenario's G+ en W+ is een duidelijke toename berekend van het gemiddeld aantal dagen dat de Rijn een extreem lage afvoer heeft (zie tabel). Bij het scenario G+ zien we een toename van gemiddeld 37 naar 74 dagen per jaar, een verdubbeling. Bij het W+-scenario zien we een nog grotere toename tot 109 dagen (toename 194 procent). Dit betekent dat bij het W+-scenario de afvoer gedurende 109 dagen gemiddeld per jaar extreem laag is. Dit is meer dan drie maanden per jaar. Dat levert grote problemen op voor de zoetwatervoorziening, de scheepvaart en het koelwater voor energiecentrales.

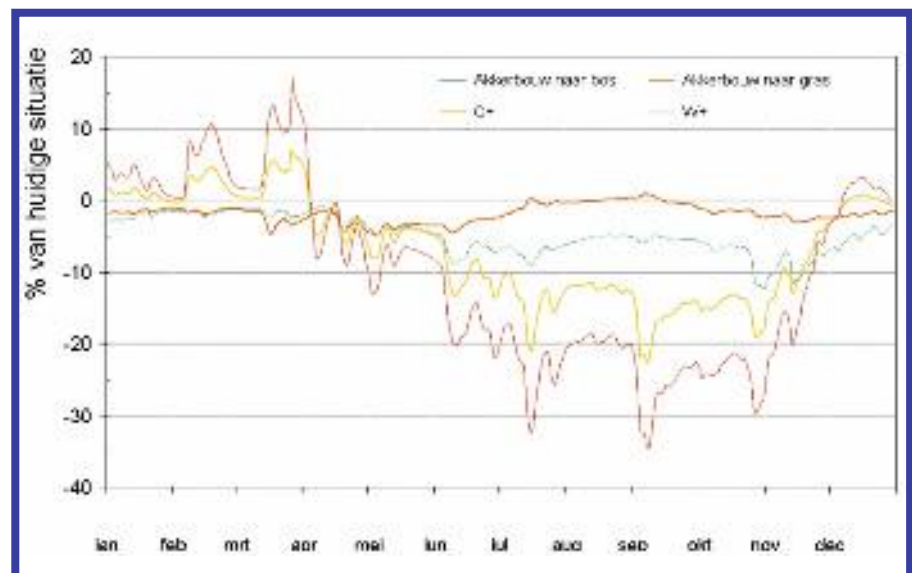
Verder geeft de tabel ook het afvoertekort voor de klimaatscenario's. G+ leidt tot een toename van het afvoertekort van 363 miljoen kubieke meter tot een totaal van 1.020 miljoen kubieke meter: een toename van 181 procent. Bij W+ wordt het gemiddeld afvoertekort 1.835 miljoen kubieke meter: een toename van 406 procent. Dit wil dus zeggen dat uitgaande van het scenario W+ gemiddeld 1.835 miljoen kubieke meter water op jaarbasis nodig is om het tekort op te heffen. Dit komt neer op een waterschijf van elf millimeter over het gehele Rijnstroomgebied bovenstrooms van Lobith.

### Vergelijking effecten

In afbeelding 3 zijn de veranderingen in de afvoer bij Lobith afgebeeld ten opzichte van de huidige afvoer voor de scenario's landgebruik en klimaat. Op deze manier wordt zichtbaar hoe extreme veranderingen in klimaat en landgebruik zullen doorwerken op de berekende afvoer voor de huidige situatie. In de zomer zien we dat alle scenario's leiden tot een afname in de afvoer, met uitzondering van het scenario waarin akkerbouw omgezet worden naar gras, waar voor een korte periode iets meer afvoer optreedt. Verder zien we bij het scenario 'akkerbouw naar bos' in de zomer een afname in de afvoer van vijf tot tien procent. Bij het scenario G+ neemt de afvoer sterker af: tien tot 15 procent in de zomer; bij het scenario W+ met 20 tot 30 procent. Er is dus een groot verschil tussen de scenario's met betrekking tot landgebruik en klimaat; de klimaatverandering heeft veel grotere gevolgen voor lage afvoeren dan verande-



Afb. 2: Afvoer bij Lobith bij verschillende vormen van landgebruik en verschillende klimaatscenario's voor de zomer van 1992. (Een afvoertekort treedt op als de afvoer lager is dan de drempelwaarde van 1.265 kubieke meter per seconde).



Afb. 3: De procentuele verandering in de afvoer bij Lobith met betrekking tot de verschillende vormen van landgebruik en klimaatscenario's in 1992.

ringen in het landgebruik. Dit leidt ertoe dat de gevolgen van mogelijke veranderingen in het klimaat voor de laagwaterafvoer en de daarvan afhankelijke functies in Nederland moeilijk, zo niet onmogelijk, opgevangen kunnen worden met alleen veranderingen in het landgebruik in het Rijnstroomgebied. Hiervoor zijn andere maatregelen nodig, zoals het vasthouden van water in de grotere (stuw)meren.

Om het afvoertekort in de zomer te beperken, is het mogelijk om water vast te houden in tijden met veel afvoer. Om het afvoertekort voor het scenario W+ op te heffen, is voor het gehele Rijnstroomgebied een gemiddelde grondwaterstandsverhoging van 11 cm nodig, uitgaande van een gemiddelde bergingscoëfficiënt voor het grondwater van 0,1. Om dit afvoertekort te compenseren door gebruik te maken van wateropslag in het Bodenmeer, is het nodig om het peil van dat meer met ongeveer 3,4 meter te verhogen. Zo'n peilverhoging is onrealistisch.

Als alle grotere (stuw)meren in het stroomgebied (met een wateroppervlak van meer dan vijf km<sup>2</sup>) ingezet worden om water vast te houden, is nog een peilverhoging van 1,3 meter nodig. Zo'n oplossing is realistischer, eventueel in combinatie met andere oplossingen, zoals waterconservering en kunstmatige grondwateraanvulling.

### Discussie

De gehanteerde klimaatscenario's geven een mogelijk toekomstbeeld aan. Het is onzeker of zo'n projectie ook werkelijkheid wordt voor Nederland. Bovendien moet verder onderzocht worden wat het effect is van het toepassen van de KNMI-scenario's voor het gehele stroomgebied. Ook wordt er nu al rekening mee gehouden dat de klimaatscenario's voor Nederland nog niet extreem genoeg zijn; de Deltacommissie hanteerde extremere scenario's<sup>7)</sup>. Dit jaar was misschien al een voorproefje van wat Nederland nog aan extreme situaties te wachten staat.

## Conclusies

Dit jaar heeft de Rijn enkele records van lage waterstanden en afvoeren gebroken. Door extreem lage afvoeren zakte de waterstand zo ver dat schepen veel minder lading konden vervoeren. Dit leidde tot economische schade. Ingrijpende maatregelen in het Rijnstroomgebied zijn nodig om de laagwaterafvoer in de Rijn op niveau te houden.

Als gevolg van klimaatverandering moeten we ernstig rekening houden met nog lagere afvoeren in de Rijn. Daarnaast blijkt dat veranderingen in het landgebruik relatief geringe verschillen in afvoer geven. Om problemen van langdurig lage waterstanden in de Rijn in de toekomst te voorkomen, zijn creatieve oplossingen in het Rijnstroomgebied nodig. Er moet meer ruimte komen om water tijdelijk te bergen en vast te houden in bodem en ondergrond in tijden van overschot, zodat het beschikbaar

kan komen in tijden van droogte, om de negatieve effecten van extreem droge zomers te beperken.

## LITERATUUR

- 1) Bergsma T., E. Querner en H. van Lanen (2010). Studying the Rhine basin with SIMGRO; Impact of climate and land use changes on discharge and hydrological droughts. Alterra. Rapport 2082.
- 2) IPCC (2011). Summary for policymakers. In: Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of working group I and working group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- 3) Te Linde A. (2011). Rhine at risk?: Impact of climate change on low-probability floods in the Rhine basin and the effectiveness of flood management measures. Proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam.
- 4) CHR/KHR (1978). Das Rheingebiet, Hydrologische Monographie / Le bassin du Rhin, Monographie Hydrologique.
- 5) Vogt J., P. Soille, A. de Jager, E. Rimaviciute, W. Mehl, P. Haastrup en M. Paracchini (2007). Developing a pan-European data base of drainage networks and catchment boundaries from a 100 meter DEM. Proceedings 10th AGILE International Conference on Geographic Information Science, Aalborg, Denmark.
- 6) Querner E. (2010). Een SIMGRO-model voor het Rijnstroomgebied: hoe ver kun je komen met beperkte data en tijd. Stromingen nr. 4, pag. 57-71.
- 7) Klein Tank A. en G. Lenderink (red.) (2009). Klimaatverandering in Nederland, aanvullingen op de KNMI'06-scenario's. KNMI.

advertentie

Zoek jij je uitdaging in het water?  
Duik in het diepe en kom werken bij ons waterschap;  
waterautoriteit en partner in samenwerking!



Heb jij  
**water**  
in zicht?

Voor de sector Waterbeleid zijn wij op zoek naar een:

## HYDROBIOLOGISCH ANALIST <sup>V</sup>/<sub>M</sub>

VOOR 36 UUR PER WEEK, LOCATIE ZWOLLE

### Functie-inhoud:

In deze functie ben je verantwoordelijk voor het determineren van aquatische macrofauna en verrichten van vegetatie-inventarisaties. Je ondersteunt bij het bemonsteren van oppervlaktewater voor ecologisch onderzoek, verwerkt gegevens in een ecologische database en zorg je voor kwaliteitsborging.

### Functie-eis:

Wij gaan ervan uit dat je minimaal beschikt over een MBO werk- en denkniveau. Dit blijkt bij voorkeur uit een afgeronde opleiding richting biologie, aangevuld met een opleiding richting determinatie-methoden.

### Salarisindicatie:

Wij bieden je een maximum salaris van € 2.735,- (schaal 7) bruto per maand op basis van een 36-urige werkweek.

### Informatie:

Kijk voor meer informatie op [www.wgs.nl/vacature](http://www.wgs.nl/vacature)



Acquisitie n.a.v. deze advertentie wordt niet op prijs gesteld.

Postbus 60, 8000 AB Zwolle  
Tel. (038) 455 72 00, [www.wgs.nl](http://www.wgs.nl)