

LATEN WE DE (WATER)BALANS OPMAKEN

Door Prof. Dr. ir. P.A. Troch



WAGENINGEN UNIVERSITEIT

What Science Says to Truth

As is the mainland to the sea,
Thou art to me;
Thou standest stable, while against thy
feet
I beat, I beat!

Yet from thy cliffs so sheer, so tall,
Sands crumble and fall;
And golden grains of thee my tides
each day
Carry away.

William Watson (1858 – 1935)

Mijnheer de rector magnificus, dames en heren,

Ik heet u allen van harte welkom bij deze inaugurale rede ter gelegenheid van het aanvaarden van het ambt van hoogleraar in de hydrologie en het kwantitatief waterbeheer. Het onderwerp van mijn rede is de waterbalans, welke de basis vormt van de hydrologische wetenschap en het waterbeheer. Voor een polder, een stroomgebied of een heel land houden we via de waterbalans bij wat het verband is tussen aanvoer en afvoer van water, en hoeveel er in het gebied geborgen wordt (vergelijking 1).

$$P - E + U_k + U_l + Q + \Delta S = 0 \quad (1)$$

- P = neerslag
 E = verdamping
 U_k = kunstmatige aan-/afvoer
 U_l = laterale grondwateraanvoer/-afvoer
 Q = aanvoer/afvoer van oppervlaktewater
 ΔS = bergingsverandering

Dit doen we door zo goed en zo kwaad als het kan de verschillende balansposten te meten of te schatten. Dat laatste gebeurt aan de hand van min of meer complexe modellen, welke onze kennis en inzicht in de verschillende stromingsprocessen van de hydrologische cyclus uitdrukken. Via een nauwkeurige waterbalans krijgen we een goed inzicht in de waterhuishouding van een gebied en zijn we in staat een verantwoord waterbeheer te voeren. Zo leert de waterbalans ons of een gebied een wateroverschot of een watertekort kent, wat ons in staat stelt de kans van overstroming of droogte in te schatten.

Het opstellen van de waterbalans is geen eenvoudige zaak. De nauwkeurigheid ervan wordt bepaald door de kwaliteit van de metingen en de modelberekeningen, maar ook door de gebiedsgrootte en de tijdstap waarvoor we de balans opmaken. Alsof dit probleem nog niet complex genoeg is wordt er van de toekomstige waterbeheerder verwacht dat hij of zij in staat is de waterbalans op te maken onder een veranderend klimaat of wijzigend landgebruik, zodat schattingen omtrent waterbeschikbaarheid op lange termijn mogelijk worden. Dit is de uitdaging waar de hydrologische wetenschap zich voor geplaatst ziet. Ik hoop u tegen het eind van deze rede hiervan te hebben kunnen overtuigen.

Vooraleer ik kan beginnen u te overtuigen van dit laatste punt, moet ik er natuurlijk eerst voor zorgen dat u zich bewust bent dat we een probleem hebben indien we in het waterbeheer niet in staat zijn met mogelijke klimaatverandering rekening te houden. In de geschiedenis liggen meerdere voorbeelden die ik voor dit doel kan aanwenden. Ik heb gekozen voor het verhaal van de Tiahuanacu, een gesofisticeerd volk dat rond het jaar 1100 A.D. op mysterieuze wijze verdween.

Een leerrijk uitstapje naar een verdwenen cultuur

Het Tiahuanacu volk leefde van ongeveer 1500 B.C. tot 1100 A.D. hoog in het Andesgebergte in Zuid-Amerika. De hoofdstad van hun rijk was Tiahuanacu, ooit gelegen aan de oevers van het Titicaca-meer, op een hoogte van 3800 m boven de zeespiegel. Niet ver van de ruïnes van deze stad bevindt zich nu La Paz, hoofdstad van Bolivia. We kunnen zonder schroom stellen dat dit volk zijn tijd ver vooruit was.

Het maakte handig gebruik van het water van het Titicacameer om de akkers te bevoelen, waardoor een landbouwproductie ontstond die in staat was de hele stad van voedsel te voorzien. Er werden tempels gebouwd met materiaal dat via vloten van papyrus van mijlenver werd aangevoerd. De architectuur was strak en oogt bijzonder modern. Een van de bekendste bouwwerken van deze cultuur is de zonpoort of *la puerta del sol* (Foto 1). Mijnheer de Rector, is het toeval, of hebben de grafici bij het ontwerpen van ons logo zich echt laten inspireren door dit kunstwerk?

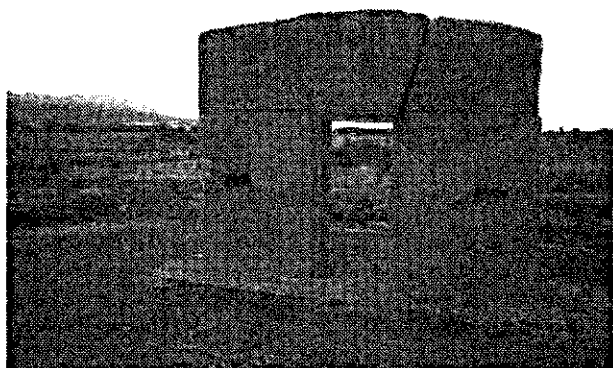


Foto 1: La puerta del sol te Tiahuanacu, Bolivia.

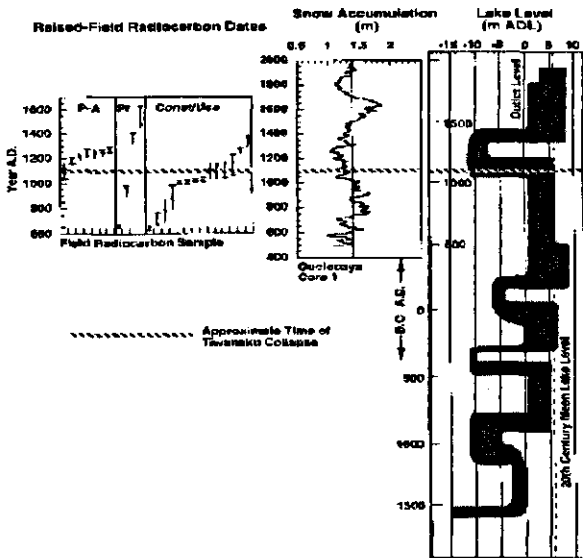
De Tiahuanacu staan ook bekend om hun voor die tijd vergevorderde kennis van de astronomie. Met behulp van

ingenieuze instrumenten werd de stand van de sterren en planeten gevolgd.

Tegen het eind van de 10de eeuw A.D. beleefde de Tiahuanacu cultuur haar hoogtepunt, om nauwelijks 100 jaar later op te lossen in het tropische regenwoud van de Amazone. Wat is er gebeurd? Er is meer en meer wetenschappelijk bewijsmateriaal beschikbaar gekomen dat de kleine ijstijd van de middeleeuwen hiervoor verantwoordelijk is. Vanaf ongeveer het jaar 1000, bij het begin van het vorige millennium dus, werd het gevoelig kouder en droger op de hoogvlakte van de Andes. Hierdoor smolt het sneeuwpak van de Andes minder snel af tijdens de zomer, wat er voor zorgde dat de aanvoer van water naar het Titicaca-meer daalde. De waterbalans van het meer was verstoord. Het normale peil kon niet meer worden gehandhaafd, en er vond een spectaculaire regressie van de oevers plaats. Dit had verwoestende gevolgen voor de beschikbaarheid van water voor de landbouw in het droger wordende klimaat van de Andes hoogvlakte.

Recent paleoclimatologisch onderzoek toont aan dat het verdwijnen van de Tiahuanacu cultuur samenvalt met het terugtrekken van de oevers van het Titicaca meer (Figuur 1). Ook wij herinneren ons nog de klimaatverandering die hier verantwoordelijk voor is. In het boek "*Leefbaar laagland*" leren we over het waterbeheer in Nederland tussen 800 en 1250. Deze periode wordt gekenmerkt door enorm landverlies aan de zee. Dit landverlies heeft twee oorzaken: enerzijds het dalen van het landoppervlak ten gevolge van het in gebruik nemen en vervolgens inklinken van de veengronden, en anderzijds het feit dat het aantal stormvloed en overstromingen van de grote rivieren in aantal en intensiteit gevoelig toenamen tijdens deze periode. In de 11de eeuw

worden enorme overstromingen in het zuidwesten van Nederland waargenomen. Vanaf 1100 volgen de stormvloedden elkaar in ijftempo op. Hierdoor gaan gigantische hoeveelheden land verloren, waardoor de aaneengesloten kustlijn van Nederland verdwijnt en plaatsmaakt voor o.a. de Zuiderzee en de grote meren in Noord-Holland.



Figuur 1: Paleoclimatologisch onderzoek toont duidelijk aan dat het verdwijnen van de Tiahuanacu cultuur samenvalt met het terugtrekken van de oevers van het Titicacameer tijdens de kleine ijstijd (Binford et al., 1997).

Mijnheer de rector, dames en heren,

Sta me toe het verhaal van de Tiahuanacu te gebruiken om het wetenschappelijk en maatschappelijk belang van mijn

vakgebied te illustreren. Slecht waterbeheer of het verkeerd anticiperen op veranderende omstandigheden in klimaat en landgebruik kunnen catastrofale gevolgen hebben. Gepast reageren op resultaten van wetenschappelijk onderzoek naar klimaat en klimaatverandering is absoluut noodzakelijk om het wankel evenwicht van het waterbeheer in de laaglanden in stand te houden. Hiervoor is maatschappelijk draagvlak nodig. Dit draagvlak kan enkel ontstaan wanneer wij als wetenschappelijke instelling in staat zijn de gevolgen van een mogelijke klimaatverandering correct in te schatten. Dit beschouw ik als de grootste uitdaging waarvoor mijn leerstoelgroep de komende jaren geplaatst wordt.

Anders omgaan met water

Nederland wordt momenteel overspoeld door plannen, nota's, lezingen en symposia over wateroverlast, verdroging, waterberging, ruimte voor rivieren, water in de ruimtelijke ordening, enzovoort. Dit geeft aan dat het belang van water wordt onderkend, en dat de tijdgeest rijp is voor ander waterbeleid. Aan het eind van de 20^e eeuw werden allerlei strategische visies op weg naar de 21^e eeuw gepubliceerd. In ons vakgebied staat hiervoor het advies "*Waterbeleid voor de 21^e eeuw*" van de Commissie Waterbeheer 21^e eeuw centraal. Samengevat komt het advies hierop neer:

"Uitwerking van veiligheid en het voorkomen van wateroverlast vindt waar nodig en mogelijk plaats in een integrale werkwijze waarbij de aanpak van watertekorten, tegengaan van verdroging en verdere verbetering van de waterkwaliteit worden betrokken. Het waterbeleid wordt vanaf nu gebaseerd op de stroomgebiedsbenadering, conform de Europese Kaderrichtlijn Water".

Waar komt trouwens het besef vandaan dat het in de toekomst anders moet, dat we anders moeten omgaan met water? Volgens het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is het nu onomstotelijk bewezen dat het klimaat op aarde warmer wordt en dat de mens hiervoor verantwoordelijk is. Indien deze bevinding klopt heeft dit grote gevolgen voor het afvoerregime van de grote rivieren, met name de Rijn en de Maas. Maar wat zijn deze gevolgen? Zijn we in staat de verwachtingen omtrent klimaatverandering te vertalen in verwachtingen betreffende het voorkomen en beweging van water in stroomgebieden? Is de wetenschappelijke wereld klaar om op alle nieuwe vragen die dit toekomstige waterbeleid oproept de juiste antwoorden te geven?

In het kader van het Global Change Research Program van de Verenigde Staten werd vorig jaar in september een rapport gepubliceerd welke de mogelijke gevolgen van klimaatverandering en klimaatvariabiliteit op de waterhuishouding behandelt (*Gleick, 2000*). In dit rapport wordt ook ingegaan op de vraag hoe we ons kunnen voorbereiden op een eventuele klimaatverandering. De onderzoekers die aan dit rapport hebben meegewerkt gingen uit van de volgende drie stellingen:

1. Er is meer en meer wetenschappelijk bewijs dat de mens het klimaat beïnvloedt. Gevolgen voor de waterhuishouding lijken onvermijdelijk maar blijven moeilijk te begroten.
2. Vele onzekerheden blijven bestaan, mede ten gevolge van het feit dat klimaat-modellen onvoldoende in staat zijn de hydrologische cyclus te reproduceren.
3. Terzelfdertijd geldt dat niet alles onzeker is. Er is de

laatste jaren belangrijke vooruitgang geboekt in onze kennis omtrent kwetsbaarheid en gevoeligheid van watersystemen en waterbeheer.

Wat dit rapport mijns inziens bijzonder bruikbaar en interessant maakt is het feit dat alle vaststellingen en conclusies voorzien worden van een maat van onzekerheid: hoe zeker of onzeker zijn we over een bepaalde bewering? Deze tabellen geven weer hoe onzekerheid gemeten en gerapporteerd wordt.

Tabel 1: Meten en Rapporteren van Onzekerheid (Kwantitatieve Schaal)

IPCC Betrouwbaarheidsterm	Kans of Betrouwbaarheidsinterval
Zeer Hoge Betrouwbaarheid	1.00 tot 0.95
Hoge Betrouwbaarheid	0.95 tot 0.67
Gemiddelde Betrouwbaarheid	0.67 tot 0.33
Lage Betrouwbaarheid	0.33 tot 0.05
Zeer Lage Betrouwbaarheid	0.05 tot 0.00

Tabel 2: Meten en Rapporteren van Onzekerheid (USGCRP, 2000)

Gewoon Taalgebruik	Kans of Betrouwbaarheidsinterval
Zeer Waarschijnlijk	> 90%
Waarschijnlijk	67 tot 90%
Mogelijk	34 tot 66%
Onwaarschijnlijk	10 tot 33%
Zeer Onwaarschijnlijk	< 10%

Zo wordt in het rapport met "zeer hoge betrouwbaarheid" gesteld dat de gemiddelde temperatuur op aarde zal blijven toenemen tenzij er op wereldschaal substantiële veranderingen in het energieverbruik en het landgebruik plaatsvinden. Ook wordt met "zeer hoge betrouwbaarheid" vastgesteld dat de temperatuur toeneemt in bergachtige streken met een seizoensgebonden sneeuwdek. Dit heeft tot gevolg dat de verhouding regen/sneeuw toeneemt en dat de lengte van het sneeuwseizoen afneemt. Het is "mogelijk" dat daardoor de kans op overstromingen eerder in het jaar toeneemt en het is "mogelijk" dat de rivierafvoer kleiner wordt in de zomer. Opvallend dat een bijna vaststaand feit (minder sneeuw in de Alpen ten gevolge van klimaatverandering) niet leidt tot een even zekere conclusie met betrekking tot de waterhuishouding (nl. meer overstromingen en lagere zomerafvoeren van de Rijn). Dit betekent dat onze kennis omtrent de interactie tussen het klimaat en het functioneren van stroomgebieden onvoldoende is. Werk aan de winkel dus.

Een tussenbalans

Als we de tussenbalans opmaken van al het voorgaande is het duidelijk dat er toenemende noodzaak bestaat aan een sterk water en klimaat onderzoeksprogramma, gestuurd vanuit de stroomgebiedsbenadering. De hoge mate van onzekerheid omtrent de gevolgen van een mogelijke klimaatverandering voor de nationale en internationale waterhuishouding moet zo veel mogelijk gereduceerd worden. Het is echter duidelijk dat een zekere mate van onzekerheid steeds aanwezig zal zijn. Daar zullen we moeten leren mee om te gaan. Dit vereist specifiek onderzoek, waarbij de kop-

peling tussen beta en gamma wetenschappen centraal staat. In dit verband werd door de kenniseenheid Groene Ruimte van de WUR een interessant initiatief genomen, nl. het Delta-programma. Jammer alleen dat het thema Integraal Waterbeheer, dat oorspronkelijk als een van de speerpunten binnen dit Delta-programma naar voor werd geschoven, er in extremis werd uitgehaald en verschoven naar het Wageningen Water Impuls (WWI) programma. Op zich een goede zaak, maar de incentive om beta-wetenschappers en gamma-wetenschappers bijeen te brengen viel daardoor ten dele weg, en het gevaar bestaat dat ieder opnieuw in zijn eigen niche kruipt. Ik blijf echter optimistisch over de goede afloop, mede gezien het waterdebat dat het WWI op 31 mei a.s. organiseert.

Aangezien in een variërend klimaat het verleden ons onvoldoende informatie verschaft over de toekomst, zullen nieuwe ontwerpstrategieën ontwikkeld moeten worden. Als ingenieur hebben we geleerd het verleden te extrapoleren om bijvoorbeeld een maatgevende afvoer te berekenen voor verschillende herhalingstijden. Dit zal niet langer toereikend zijn, en is het waarschijnlijk nooit geweest. Het ergste wat ons kan overkomen is het creëren van een vals gevoel van veiligheid. Nieuwe onderwijs- en onderzoeksprogramma's dringen zich op om de waterbeheerder van morgen voor te bereiden op zijn taak. Samenwerking tussen de waterbeheerders en de leidinggevende wetenschappelijke instellingen is absoluut noodzakelijk om de huidige stand van kennis omtrent klimaatverandering en zijn gevolgen voor de waterhuishouding te laten doordringen in het dagelijks waterbeheer. Dit is onder andere de taak waar mijn leerstoelgroep voor staat, en die verantwoordelijkheid nemen we op.

Wageningen Universiteit en water

Vooraleer de toekomstplannen te ontvouwen lijkt het me zinvol even terug te blikken en een kort overzicht te presenteren van het hydrologisch onderzoek en onderwijs van de afgelopen 40 jaar aan Wageningen Universiteit. Wageningen en water, een associatie die vooral in het buitenland spontaan opborrelt. Ooit vertrouwde mijn goede vriend en collega-hydroloog Marc Parlange me toe dat elke zichzelf respecterende leerstoel hydrologie in de Verenigde Staten een Wageningse hydroloog in dienst heeft.

In 1958 werd de afdeling Hydraulica aan de toenmalige Landbouwhogeschool Wageningen opgericht. Onder leiding van toen nog lector ir. Kraijenhoff van de Leur startte het hydraulisch onderzoek ter ondersteuning van de landbouwwetenschappen. Later, in 1968, veranderde de naam van de afdeling in Laboratorium voor Hydraulica en Afvoerhydrologie, en werd Kraijenhoff van de Leur hoogleraar in deze discipline. Professor Kraijenhoff van de Leur was één van de eerste hoogleraren in de afvoerhydrologie in Nederland. Hij maakte alle beloftes waar door een vooraanstaande internationale rol te spelen in de ontwikkeling van de neerslag-afvoer theorie, waaraan hij samen met eminente hydrologen als Jim Dooge werkte. Het werk in het hydraulica laboratorium concentreerde zich op het bestuderen van stromingsverschijnselen rond kunstwerken en het ijken van meetstuwen. Dankzij de jarenlange inzet van mensen zoals ing. Anton Dommerholt, ing. Wubbo Boiten en ir. Jan Verhagen behield het hydraulica lab een unieke plaats in het toch drukke Nederlandse onderzoeklandschap in de hydraulica. Het is

vandaag het enige kleine goed uitgeruste operationele hydraulica lab voor onderwijs en onderzoek in Nederland, en daar zijn we trots op. Hopelijk kunnen we deze voor het onderwijs en onderzoek belangrijke faciliteit behouden.

Naast het experimentele werk in het hydraulica laboratorium werd er van bij het begin ook aandacht besteed aan het verzamelen van gegevens in stroomgebieden. Reeds in 1960 werden in samenwerking met de Commissie ter "bestudering van de waterbehoefte van de Gelderse landbouwgronden" hydrologische metingen uitgevoerd in het proefgebied Leerinkbeek. Het onderzoek in de Leerinkbeek liep in 1967 ten einde. In overleg met Rijkswaterstaat, de provincie Gelderland en het Waterschap van de Berkel werd besloten het onderzoek voort te zetten in de Hupselse Beek (*Warmerdam, 1992*). Het is mede dankzij inspanningen van ir. Piet Warmerdam en Jacques Kole dat het proefgebied verschillende keren model stond bij Unesco, zowel voor het bevorderen van hydrologisch onderzoek in proefgebieden, als bij de oprichting van het Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins (ERB).

Roel Dijkma en dr. Henny van Lanen bestuderen sedert 1991 het hydrogeologische systeem van het stroomgebied van de Noor in zuid-Limburg, vlak bij de Belgische grens (*van Lanen et al., 1995*). Gedurende 10 jaar worden gegevens over neerslag, stijghoogte van het grondwater, en de afvoer van het oppervlaktewater op een groot aantal locaties verzameld. Daarnaast wordt de chemische samenstelling van het grond- en oppervlaktewater maandelijks gemeten. Het proefondervindelijke hydrologische onderzoek in de Noor en de Hupselse Beek resulteerde in een groot aantal wetenschappelijke publicaties. Bovendien werden de twee proefgebieden speeltuinen voor de student met

belangstelling voor de hydrologie. Meerdere generaties Wageningse hydrologen leerden de stiel niet alleen van achter een computer, maar ook met beide voeten in de verzadigde brongebieden. De confrontatie tussen tekstboek-kennis en de met het eigen oog waargenomen afvoerprocessen werkte vaak ontzuenderend, en in alle gevallen verhelderend.

Medewerkers van de leerstoelgroep waren ook in het buitenland actief betrokken bij veldwerk. Onder leiding van ir. Han Stricker werd deelgenomen aan grootschalige klimaatexperimenten in Spanje (EFEDA) en Afrika (Hapex-Sahel). Ook was er een actieve betrokkenheid bij Europees onderzoek naar het gebruik van weerradar in de hydrologie. Onder het inspirerend leiderschap van Han kwamen jonge mensen tot bloei en verwierven zich op het internationale hydrologische podium een grote reputatie door postdocs aan MIT en Princeton University in de wacht te slepen.

Op het theoretische vlak vallen de inspanningen van drs. Paul Torfs op het gebied van de stochastische hydrologie op. Hij was een van de eersten die neurale netwerken toepaste in het hydrologisch onderzoek, met name voor het verbeteren van de voorspellingsmodellen van hoogwater van de Rijn te Lobith. Zijn huidige werk in verband met disaggregatie van tijdreeksen is baanbrekend.

Met de komst van Prof. Janos Bogardi, hoogleraar in de hydraulica en algemene hydrologie vanaf 1990, en Prof. Jan Leentvaar, hoogleraar integraal waterbeheer vanaf 1994, werd de kennis inzake technisch en integraal waterbeheer versterkt. Het vak Integraal Waterbeheer wordt, mede dank

zij de inspanningen van drs.ir. Annemiek Verhallen, door de studenten als erg leerrijk en interessant ervaren, en blijft een geliefd afstudeervak.

Er is in al die tijd veel bereikt. Het voorbije onderzoek wordt sterk gekenmerkt door intensieve samenwerking met collega's zowel binnen als buiten Wageningen. Mede dankzij de inspanningen van ir. Ewa Wietsma werden meerdere samenwerkingsverbanden tussen deze leerstoelgroep en universiteiten in Oost-Europese landen opgezet, o.a. met de landbouwuniversiteit van Warschau. Ik hoop deze traditie in de toekomst voort te zetten en zelfs uit te bouwen. De leerstoelgroep Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer is daarom goed voorbereid en wil de uitdaging aangaan bij te dragen aan de verdere ontwikkeling van de wetenschappelijke kennis en instrumentarium voor het waterbeheer in de 21^e eeuw.

Toekomstig onderzoek

Het afgelopen jaar hebben we ons dan ook als groep gebogen over de vraag hoe we op de meest efficiënte wijze kunnen bijdragen tot de vooruitgang van het nationale en internationale hydrologische onderzoek. Vertrekpunt hierbij is de missie van Wageningen Universiteit en Research Centrum: een bijdrage leveren aan het garanderen van voldoende, gezond en veilig voedsel in een leefbare wereld. Met het oog op het leefbaar houden van onze wereld spelen we als groep een centrale rol bij het behoud en/of herstel van een gezonde duurzame groene en blauwe ruimte voor mens, plant en dier. Deze bezinning resulteerde uiteindelijk in de formulering van de volgende speerpunten:

1. Ontwikkeling van nieuwe stroomgebiedmodellen (met toepassingen van remote sensing en data assimilatie);
2. Studie van overstromingen en droogte (met inbegrip van hydrogeologisch onderzoek);
3. Modellerings van stoffentransport op stroomgebiedsschaal;
4. Integraal waterbeheer.

In wat volgt wil ik een aantal kansrijke onderzoeksthema's bespreken die de verdere uitbouw van deze onderzoekspunten moet mogelijk maken.

Effecten van klimaatverandering op de waterbalans van de Maas

In 1995 begon de tweede fase van het Nederlands onderzoeksprogramma omtrent globale luchtverontreiniging en klimaatverandering (NRP-II). Dit strategisch lange-termijn onderzoeksprogramma heeft als doel de wetenschappelijke onderbouw te leveren voor de ontwikkeling van een nationaal en internationaal beleid inzake klimaatverandering. In 1999 startte aan onze leerstoel het onderzoeksproject "Effecten van klimaatverandering op de waterhuishouding van de Maas", in samenwerking met nationale en internationale wetenschappelijke instellingen, zoals het Belgische KMI, Alterra, WL/Delft Hydraulics en RIZA. Zowel extreem lage als extreem hoge afvoeren zijn natuurlijke fenomenen. Dit impliceert dat zowel het gebruik van de Maasafvoeren voor drinkwatervoorziening, scheepvaart, en recreatie, als het gebruik van de overstromingsvlakte van de Maas voor woningbouw en landbouw zekere risico's inhouden. De te testen hypothese die ten grondslag ligt van dit onderzoek is dat dit risico groter wordt wanneer het kli-

maat in de Maas verandert zoals wordt voorspeld door de klimaatmodellen. De afgelopen eeuw wordt gekenmerkt door een duidelijke opwaartse trend in de gemiddelde temperatuur op aarde. Verwacht wordt, zoals reeds eerder aangegeven, dat deze trend zich voortzet indien er geen structurele veranderingen komen in de CO₂ productie en het landgebruik. Het ligt dan ook voor de hand dat een van de centrale onderzoeksvragen is of het afvoerregime van de Maas de laatste eeuw significant gewijzigd is. De natuurlijke variabiliteit van de afvoer van de Maas is groot, mede door het feit dat deze rivier als een typische regenrivier geclassificeerd kan worden. Analyse van de afvoer zoals waargenomen tussen 1911 en 1998 te Monsin, nabij Luik, suggereert dat er een lichte opwaartse trend is in de maximale dagafvoer in de winter, en een lichte neerwaartse trend in de gemiddelde en minimale dagafvoer in de zomer. Dit gedrag kan echter niet op eenvoudige wijze verklaard worden door een wijziging in het gemiddelde neerslagregime in het Maasbekken. Voorzichtigheid blijft dus geboden wanneer we uitspraken willen doen omtrent toekomstige trends. Teneinde op wetenschappelijk verantwoorde manier het effect van een voorspelde klimaatverandering voor de komende eeuw op de waterhuishouding van de Maas na te gaan werden verschillende neerslag-afvoer modellen gebruikt. Wanneer deze neerslag-afvoer modellen gekoppeld worden aan verschillende klimaatscenario's voor de komende eeuw, afkomstig van verschillende klimaatmodellen, is het duidelijk dat de onzekerheid op de effecten voor de waterhuishouding sterk afhangen van de onzekerheid op de klimaatscenario's, en minder afhangen van het gebruikte neerslag-afvoer model. De twee klimaatscenario's gebruikt in deze studie wijzen wel in dezelfde richting, nl. een toename van de gemiddelde afvoer aan het eind van de winter, en

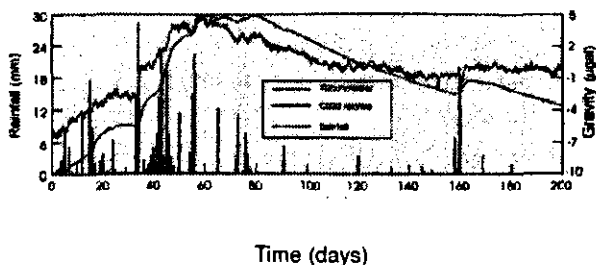
een afname van de gemiddelde afvoer bij het begin van de herfst. Wel dient opgemerkt dat de veranderingen in de gemiddelde afvoer klein zijn in vergelijking met de natuurlijke variabiliteit van het afvoerregime van de Maas. Andere aspecten die in deze studie onderzocht werden zijn het effect van landgebruiksverandering in het stroomgebied op het afvoerregime, en de gevolgen van zowel klimaatverandering als landgebruiksverandering op de waterkwaliteit. We hopen dit onderzoek in de nabije toekomst te kunnen voortzetten, waarbij gebruik gemaakt kan worden van meer geavanceerde data mining en modeltechnieken. Het nauwkeurig begroten van de waterbalans van een groot stroomgebied zou een forse stap in de goede richting betekenen voor dit type onderzoek. Vandaar dat onze leerstoelgroep zich hierop wil concentreren, zoals het volgende onderzoeksproject aantoont.

Graviteitsmetingen en de waterbalans

Het wordt waarschijnlijk op korte tot middellange termijn mogelijk de bergings-verandering in stroomgebieden rechtstreeks te meten aan de hand van in-situ en satellietwaarnemingen van het tijdsafhankelijk zwaartekrachtsveld van de Aarde. De te testen hypothese is dat het tijdsafhankelijke zwaartekrachtsveld voldoende nauwkeurig gemeten kan worden zodat de invloed van de berging van water aan het maaiveld en in de grond op de zwaartekracht waarneembaar wordt. Er zijn momenteel twee manieren waarop de tijdfluctuaties in het zwaartekrachtsveld gemeten worden: in-situ via zeer gevoelige supergeleidende graviteitsmeters, en via satellieten. De eerste meettechniek geeft een lokaal signaal, met een invloedsstraal van enkele honderden meters, en met een tijdsresolutie van seconden. De tweede

meettechniek levert een regionaal beeld, met een invloedsstraal van enkele honderden kilometers, en met een waarnemingsfrequentie van twee weken.

Figuur 2 geeft het verband tussen de hoeveelheid neerslag, de waargenomen variatie van de grondwaterstand in een peilbuis en de variatie van het lokale zwaartekrachtsveld (μgal), zoals geregistreerd tijdens een periode van 200 dagen te Boulder, Colorado (*Crossley et al., 1999*).



Figuur 2: Verband tussen neerslag, grondwaterpeil en zwaartekracht te Boulder, CO.

Hieruit blijkt dat zowel de grondwaterstand als de zwaartekracht reageren op de neerslag, maar met verschillende reactietijden. Het grondwatersignaal ijlt na op het zwaartekrachtssignaal. Dit toont aan dat via de meting van de zwaartekracht informatie over de totale waterberging in de grond, dus zowel de onverzadigde als de verzadigde zone, verkregen wordt. Deze zeer nauwkeurige metingen van de veranderingen in het zwaartekrachtsveld zijn mogelijke door gebruik te maken van zogenaamde supergeleidende graviteitsmetingen (Foto 2).

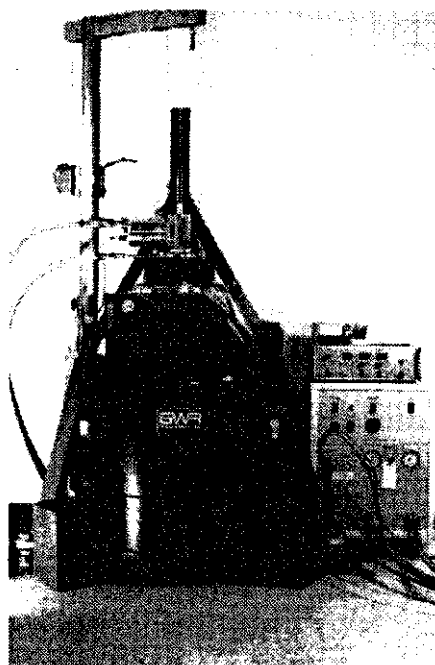


Foto 2: Supergeleidende graviteitsmeter

De te bereiken nauwkeurigheid in de zwaartekrachtmeting bedraagt $0.1 \mu\text{Gal}$ ($1 \text{ Gal} = 9,807 \text{ m/s}^2$: de eenheid gebruikt voor het noteren van de zwaartekrachtversnelling). Enkele eenvoudige berekeningen leren ons dat 1 cm water overeenkomt met $0.3 \mu\text{Gal}$, dus de in-situ meting van de zwaartekracht via supergeleidende graviteitsmetingen laat ons toe bergingsverandering in de grootte-orde van 3 mm water te berekenen. De invloedzone van deze meting bedraagt enkele honderden meters, afhankelijk van de diepte van het apparaat tot de grondwaterspiegel.

Is dit niet een zeer dure en onnauwkeurige regenmeter, hoor ik u denken. Ja, maar er is meer. Als alles volgens planning verloopt gaat eind dit jaar de Gravity Recovery and Climate Experiment missie, genaamd GRACE, van start. GRACE is een NASA onderzoeksprogramma dat voor het eerst in de geschiedenis de fluctuaties van het Aardse zwaartekrachtsveld in kaart zal brengen met een bemonsteringsperiode van 2 weken. Elke twee weken zullen de GRACE satellieten kaarten van de hele Aarde produceren met nauwkeurige informatie over het zwaartekrachtsveld. Rodell en Famiglietti publiceerden in 1999 (*Rodell and Famiglietti, 1999*) een artikel in *Water Resources Research* waarin de haalbaarheid van het bepalen van de bergingsverandering in stroomgebieden via gesimuleerde GRACE metingen onderzocht werd. De waterbalans van 20 stroomgebieden, verspreid over de verschillende continenten werd berekend via hydrologische modellen, en de waarneembaarheid van de bergingsverandering via GRACE werd nagegaan. Een van de conclusies van dit onderzoek is dat met een nauwkeurigheid van ongeveer 10 mm, de totale bergingsverandering in middelgrote tot grote stroomgebieden mogelijk is.

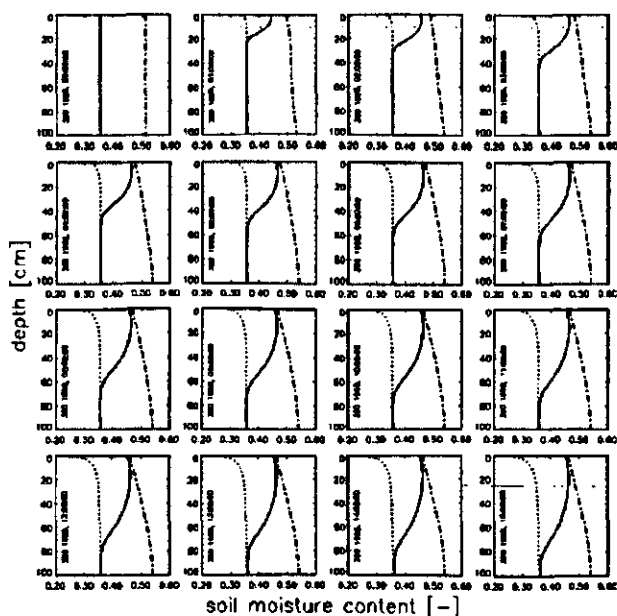
Een onderzoeksprogramma waarin voorgesteld wordt gebruik te maken van beide meettechnieken, in combinatie met stroomgebiedmodellen, werd dit jaar door WIMEK geselecteerd als vernieuwend wetenschappelijk onderzoek en gefinancierd onder het programma Strategische Middelen 2000. Dit onderzoek moet ons in staat stellen ons inzicht in en het kwantificeren van de waterbalanscomponenten op stroomgebiedschaal te verbeteren. Dit zijn vrij spectaculaire toekomstperspectieven. Voor het eerst in de hydrologische geschiedenis lijkt het mogelijk de sluitpost in

de waterbalans, namelijk de bergingsverandering, rechtstreeks te meten voor het volledige stroomgebied. Hierdoor kunnen onze hydrologische modellen getoetst en vervolgens verbeterd worden. De verwachting is dat het meten van de regionale verdamping daardoor mogelijk wordt.

Data assimilatie en de waterbalans

We zijn nu aanbeland bij een derde onderzoeksthema dat tot de speerpunten van deze leerstoelgroep behoort: het opstellen en verbeteren van ruimtelijk verdeelde stroomgebiedmodellen, waarbij gebruik gemaakt wordt van remote sensing en data assimilatie-technieken. Het afgelopen decennium is heel wat voortgang geboekt in het toepassen van remote sensing technieken in de hydrologie. Ikzelf, zowel als de leerstoelgroep van collega Prof. Feddes, hebben hiertoe hun steentje bijgedragen. Allerlei stroomgebiedinformatie, noodzakelijk om het inzicht in de werking ervan te verbeteren, kan met vrij grote nauwkeurigheid uit satellietbeelden afgeleid worden. Voorbeelden hiervan zijn informatie omtrent het landgebruik en de vegetatie, de vochtverdeling in de toplaag van de bodem, en de energieflexen aan het landoppervlak. De ruimtelijke informatiestroom neemt meer en meer toe. Niettegenstaande dit feit zijn we er in de hydrologie nog niet in geslaagd om veel met die informatie te doen. Absoluut noodzakelijk is de terugkoppeling van deze ruimtelijke hydrologische gegevens naar onze ruimtelijk verdeelde hydrologische modellen. Hierbij moet rekening gehouden worden met de frequentie van bemonstering en de inherente fouten op de metingen. De wiskundige techniek die ons hierbij kan helpen noemt data assimilatie. Data assimilatie wordt door collega Dennis McLaughlin van MIT (*McLaughlin, 1995*) gedefinieerd als

het fysisch consistent schatten van ruimtelijk verdeelde veranderlijken van de omgeving. Met fysisch consistent wordt hier bedoeld dat de basiswetten van behoud van massa, momentum, en energie, niet worden overtreden. Wiskundig kunnen we data assimilatie beschouwen als toestandsreconstructie. Daar dit voor de meesten van ons vrij abstracte begrippen zijn, illustreer ik de werking van data assimilatie aan de hand van een voorbeeld



Figuur 3: Data assimilatie maakt het mogelijk uit informatie over het vochtgehalte van de top-5 cm van de bodem om het gehele bodemvochtprofiel te reconstrueren (Hoeben en Troch, 2000).

Veronderstel dat we in staat zijn uit satellietbeelden een vrij nauwkeurige schatting van het bodemvocht in de eerste 5 cm van de wortelzone te maken. Op zich levert deze informatie niet veel op voor de hydroloog of agronoom. Interessanter zou zijn indien we het totale bodemvocht in de wortelzone zouden kennen, zodat we een idee krijgen omtrent de resterende berging of de watervoorziening voor gewassen en natuurlijke vegetatie. Hoe kunnen we die informatie afleiden uit de meting van het bodemvocht van de toplaag? De hydrologische wetenschap leert ons hoe water zich verplaatst in een onverzadigde bodem. Deze kennis drukken we uit via de vergelijking van Richards. Koppelen we nu de meting van het vochtgehalte in de toplaag van de bodem aan deze Richards vergelijking, dan zijn we vervolgens in staat de informatie te verwerken over de hele wortelzone (Figuur 3). De nauwkeurigheid waarmee we dit kunnen realiseren hangt af van de nauwkeurigheid van onze meting en van de nauwkeurigheid waarmee ons model de werkelijkheid beschrijft. Onderzoek dat ik samen met de Universiteit Gent heb uitgevoerd leert ons dat, indien we de model- en meetfouten realistisch inschatten, het bodemvocht in de wortelzone tot 5% nauwkeurig kan berekend worden. Dit biedt opnieuw spectaculaire perspectieven voor het verder verfijnen van de waterbalans van een stroomgebied.

Sedert april 2000 coördineer ik een Europees 5de kaderproject genaamd DAUFIN, wat staat voor Data Assimilation within a Unifying Modeling Framework for Improved Water Resources Management. Eén van de doelstellingen van dit onderzoek is het implementeren van data assimilatie technieken in ruimtelijk verdeelde stroomgebiedmodellen, teneinde optimaal gebruik te maken van

remote sensing, in-situ, en simulatiegegevens, en daardoor de voorspellingen van overstromingen, droogte, en in het algemeen de waterbalans van stroomgebieden te verbeteren. Dit project loopt tot september dit jaar en is een samenwerkingsverband tussen 7 onderzoeksinstituten, waaronder de Technische Universiteit Delft, en 2 eindgebruikers. Aansluitend op dit onderzoeksproject zijn we op dit moment volop met de voorbereiding van een internationale workshop, getiteld "Catchment-scale hydrological modeling and data assimilation" bezig. De workshop gaat door van 3 tot 5 september 2001 in het conferentiecentrum De Wageningse Berg, aan de oevers van de Nederrijn. We kunnen ons verheugen op een bijzonder boeiende bijeenkomst met meer dan 60 bijdragen vanuit verschillende hoeken van de wereld, waaronder Australië, de Verenigde Staten en Japan. Wageningen zal weer eens in het middelpunt van de belangstelling van de internationale hydrologische gemeenschap staan, en zo hoort het ook.

Slimmere modellen voor de waterbalans

Tijdens de uitvoering van dit Europese onderzoeksproject werd het duidelijk dat de huidige generatie van hydrologische modellen niet zomaar via data assimilatie aan de ruimtelijke gegevens ontleent aan satellietbeelden te koppelen zijn. Problemen die opduiken zijn ofwel het gebrek aan fysische proceskennis ingebouwd in de conceptuele modellen, ofwel complexe numerieke problemen met fysisch-gebaseerde modellen. Gaandeweg werd het duidelijk dat er behoefte is aan slimmere modellen. Deze slimmere, of moet ik zeggen sluwe modellen, trachten een tussenweg te vinden tussen fysische complexiteit en numerieke complexiteit. Voldoende proceskennis moet in deze nieuwe vorm van

ruimtelijk verdeelde modellen ingebouwd worden, zonder daardoor deze modellen numeriek onnodig complex te maken. Op dit moment zijn er twee stromingen in het hydrologische onderzoek aanwezig die dit proberen te bewerkstelligen. Het doet me plezier u mee te delen dat twee onderzoeksgroepen uit Nederland, namelijk de groep Hydrologie en Ecologie van de Technische Universiteit Delft en de leerstoelgroep Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer in Wageningen hier een centrale rol in spelen.

De werkwijze die door de TU Delft gevolgd wordt is gebaseerd op het zogenaamde Representative Elementary Watershed of REW concept. De achterliggende gedachte van het REW concept is dat vanaf een bepaalde grootte van een deelstroomgebied de inherente heterogeniteit in de stromingsprocessen niet meer in al zijn detail gekend hoeft te zijn, maar dat het volstaat de gemiddelde hydrologische toestand binnen zo'n deelstroomgebied te kennen om nauwkeurige voorspellingen te maken. De kracht van het REW concept is dat schaalearde effecten van processen en de gekozen ruimtelijke discretisatie geen rol van betekenis spelen voor de modelberekeningen. Het nadeel is echter dat de modelparameters niet op eenvoudige wijze uit de afvoermetingen in het stroomgebied te bepalen zijn.

De werkwijze waar wij voor gekozen hebben is het stroomgebied op te splitsen in zogenaamde representatieve hellingen. In principe kunnen in een landschap 9 representatieve hellingen onderscheiden worden. Deze 9 hellingen bepalen we door drie mogelijk planvormen, nl. convergerend, divergerend, en uniform, te combineren met drie mogelijke lengteprofielen, nl. concaaf, convex en lineair. De stromingsprocessen langs deze 9 hellingstypes kunnen vervol-

gens beschreven worden door rekening te houden met de totale berging in de bodem en aan het maaiveld. Hierdoor reduceren we de drie-dimensionale stromingsprocessen tot een een-dimensionale beschrijving van de verandering van de berging. Door de ogenblikkelijke berging te vergelijken met de maximale berging, welke een functie is van de planvorm en het lengteprofiel, zijn we in staat de verzadigingsgraad en de daarbij horende oppervlakte-afvoer processen te beschrijven. Dit alles leidt tot een eenvoudige modellering van het stroomgebied, waarbij maximaal gebruik gemaakt wordt van de beschikbare informatie, en waarbij de bijhorende parameters af te leiden zijn uit afvoermetingen. In sommige gevallen zijn zelfs analytische oplossingen voor de wiskundige vergelijkingen te vinden, waardoor een zeer efficiënte berekeningswijze mogelijk wordt. Dit onderzoek staat nog in zijn kinderschoenen, maar de eerste resultaten zijn bemoedigend. In de nabije toekomst zullen de Technische Universiteit Delft en Wageningen Universiteit in het kader van een Delft Cluster project hieraan verder samenwerken.

Mijnheer de rector magnificus, dames en heren,

Welke les kunnen we nu, aan het begin van een nieuw millennium, trekken uit het trieste lot van de Tiahuanacu? In onze laaglanden zijn we enorm afhankelijk van het water en het klimaat. De gemiddelde jaartemperatuur is wereldwijd de afgelopen eeuw toegenomen. Alles wijst erop dat we opnieuw getuige zijn van een klimaatverandering, welke enorme gevolgen kan en zal hebben op de waterhuishouding van Nederland. We doen er dus best aan het fundamentele wetenschappelijk onderzoek opnieuw centrum van onze universitaire cultuur te maken en voldoende middelen ter

beschikking te stellen voor nieuwsgierigheidsgedreven onderzoek, hierbij niet toegevend aan de verlokkingen van het contractonderzoek. Pas dan kan een maatschappij zich wapenen tegen mogelijke veranderingen in het klimaat. Indien dat niet gebeurt, kan het ons net als de Tiahuanacu vergaan.

Mijnheer de Rector Magnificus, leden van het College van Bestuur, leden van de Benoemingsadviescommissie

Ik dank U voor het vertrouwen dat u in mij gesteld hebt bij deze eervolle benoeming. Het moet me van het hart, en ik hoop dat u me dit niet kwalijk neemt, dat het me bijzonder deugd doet hier als Vlaming in deze prestigieuze aula te staan. De grootste uitdaging waar ik voor sta is niet ten onder te gaan aan het bureaucratische geweld, zodat ik me nog voldoende kan concentreren op het onderzoek en de opleiding van jonge mensen.

Hooggeleerde De Troch, beste François,
Het spreekwoord zegt: "Men herkent de meester aan zijn leerling". Van u heb ik de beginselen van de hydraulica en de hydrologie geleerd. Ik stel het bijzonder op prijs dat u hier vandaag aanwezig bent, en hoop na afloop van dit gebeuren samen met u nog een stevige pint te gaan pakken.

Hooggeleerde Kraijenhoff van de Leur
Ik weet dat het in uw dagen goed vertoeven was aan de vakgroep, niet alleen omdat het spook van de bezuinigingen toen nog niet rondwaarde. Uw leiderschap en bezieling zijn de dag van vandaag nog tastbaar aanwezig als je de kantoren en laboratoria van de Nieuwlanden betreedt. Ik hoop een waardig opvolger van u te mogen worden.

Hooggeleerde Feddes, beste Reinder,

Onze leerstoelgroepen vormen samen de sectie waterhuishouding. De medewerkers werken op vele fronten intensief samen, wat de kwaliteit van ons werk zeer ten goede komt. Sinds mijn komst naar Wageningen werden we betrokken bij allerlei reorganisaties, en nu staan we op het punt de divisies binnen de Kenniseenheid Groene Ruimte vaste vorm te geven. Ik spreek hierbij nogmaals mijn uitdrukkelijke wens uit onze sectie samen te houden, zodat de goede verstandhouding en samenwerking niet verloren gaat. Ik weet dat ik ook in uw naam dit verlangen uitspreek.

Dames en heren leden van de sectie waterhuishouding,
Mensen vragen me vaak of ik het me nog niet beklag naar Wageningen verhuisd te zijn. Mijn antwoord hierop is altijd hetzelfde: door deel uit te maken van de sectie waterhuishouding ben ik lid van een van de meest gereputeerde universitaire onderwijs- en onderzoeksgroepen in de hydrologie van de wereld, en dat is nogal wat. Jullie vriendschap, geduld en collegialiteit vanaf het eerste uur zal ik voor altijd blijven onthouden. In het bijzonder de hulp die ik van Henny en Annemarie mocht ontvangen, wordt ten zeerste gewaardeerd.

Dames en heren studenten,

Tijdens deze rede heb ik slechts enkele toekomstige onderzoeksprojecten besproken. Velen onder u kennen me echter in de eerste plaats als de docent hydraulica, en velen onder u hebben reeds de weg naar mijn kamer gevonden om te praten over mogelijke afstudeeronderwerpen in deze discipline. Ik hoop dat u dit zult blijven doen, zodat we het hydraulica onderzoek opnieuw een plaats kunnen geven in het Groene Ruimte onderzoek. Wageningen is hiervoor een

uitstekende plek, omdat hier alle basiskennis, noodzakelijk om de rivier opnieuw de ruimte te geven die ze nodig heeft, van nature uit aanwezig is.

Tot slot, aan Monica, Natalie en Valerie, bedankt voor de liefde, warmte en steun die ik van jullie mocht ontvangen.

Mijnheer de Rector, dames en heren,
Ik heb gezegd.

Referenties

Binford, M.W., A.L. Kolata, M. Brenner, J.W. Janusek, M.T. Seddon, and M.B. Abbott. Climate variability and the rise and fall of an Andean civilization, *Quaternary Research*, 47, 235-248, 1997.

Commissie Waterbeheer 21^e Eeuw. *Waterbeleid voor de 21^e Eeuw*, 118 p., 2000.

Crossley, D., J. Hinderer, G. Casula, O. Francis, H.-T. Hsu, Y. Imanishi, G. Jentzsch, J. Kaarianen, J. Merriam, B. Meurers, J. Neumeyer, B. Richter, K. Shibuya, T. Sato, and T. van Dam. Network of superconducting gravimeters benefits a number of disciplines, *EOS, Trans. AGU*, 80(11), 125-126, 1999.

Buisman, J. *Duizend jaar weer, wind en water in de lage landen*, Deel 1: tot 1300, KNMI, Uitgeverij van Wijnen, Franeker, 656 p., 1995.

Gleick, P.H. (editor). *Water: The potential consequences of*

climate variability and change for the water resources of the United States, USGS, 2000.

Hoeben, R. and P.A. Troch. Assimilation of active microwave observation data for soil moisture profile estimation, *Water Resources Research*, 36(10), 2805-2819, 2000.

Lanen, van H.A.J., B. van de Weerd, R. Dijkema, H.J. van Dam and G. Bier. *Hydrogeologie van het stroomgebied van de Noor en de effecten van grondwateronttrekkingen aan de westrand van het Plateau van Margraten*, Rapport 57, Vakgroep Waterhuishouding, Landbouwniversiteit Wageningen, 1995.

Rodell, M. and J.S. Famiglietti. Detectability of variations in continental water storage from satellite observations of the time dependent gravity field, *Water Resources Research*, 35(9), 2705-2724, 1999.

Van de Ven, G.P. (editor). *Leefbaar laagland – Geschiedenis van de waterbeheersing en landaanwinning in Nederland*, ICID, Uitgeverij Matrijs, 1994.

Verhoest, N., P.A. Troch, C. Paniconi and F.P. De Troch. Mapping basin scale variable source areas from multitemporal remotely sensed observations of soil moisture behaviour, *Water Resources Research*, 34(12), 3235-3244, 1998.

Warmerdam, P. Hydrologisch onderzoek in de proefgebieden van Gelderland, *HYDRO-LOGISCH; Wetenschap en toepassingen*, CHO-TNO, Rapporten en Nota's, 29, 3-31, 1992.

De Wit, M., P. Warmerdam, P. Torfs, R. Uijlenhoet, E. Roulin, A. Cheymol, W. van Deursen, P. van Walsum, J. Kwadijk, M. Ververs, H. Buiteveld. *Effect of Climate Change on the Hydrology of the River Meuse*, Sub-department Water Resources, Wageningen University, in press, 2001.