

# **Onzichtbaar Water**

**Door prof.dr. R.A. Feddes**

Hoogleraar Bodemnatuurkunde, Ecohydrologie en Grondwaterbeheer

## **WAGENINGEN UNIVERSITEIT**

Afscheidscollege, uitgesproken op 14 oktober 2004 in de Aula van Wageningen Universiteit. Prof. Feddes is verbonden aan de leerstoelgroep 'Bodemnatuurkunde, Ecohydrologie en Grondwaterbeheer', Sectie Waterhuishouding, Departement Omgevingswetenschappen.

Mijnheer de Rector, dames en heren,

## Beschikbaarheid van water op wereldschaal

Water is voor ons iets vanzelfsprekends, zoals de lucht die we inademen. Echter een voortdurende groeiende vraag naar water en de vervuiling daarvan, hebben water tot een schaars en kostbaar goed gemaakt.

Verreweg het grootste gedeelte van het water op aarde is zout: 97,4%. Slechts 2,6% is als zoet grondwater, oppervlaktewater en bodemvocht opgeslagen in het land. Deze hoeveelheid is echter maar in beperkte mate beschikbaar omdat 2/3 deel is vastgelegd in de vorm van ijs en sneeuw. Slechts 0,015% is 'gemakkelijk beschikbaar' voor mens, plant en dier: niet meer dan een vingerhoed uit een badkuip.

Met de term 'Onzichtbaar water' als titel van dit afscheidscollege bedoel ik het water dat beneden maaiveld voorkomt, dus het bodemvocht en het grondwater. Aangezien het grondwater uitwisseling heeft met het oppervlaktewater, zal ik ook wel eens een uitstapje maken naar het oppervlaktewater.

De zeer kleine beschikbare hoeveelheid water wordt gelukkig wel steeds vernieuwd: het water wordt namelijk door de zon in een dagelijkse kringloop gestuurd en zo valt er steeds weer de benodigde neerslag die zorgt voor aanvulling van grond- en oppervlaktewater. (Met deze hydrologische cyclus is trouwens in één dag meer energie gemoeid, dan door de hele mensheid verbruikt is gedurende haar hele historie!)

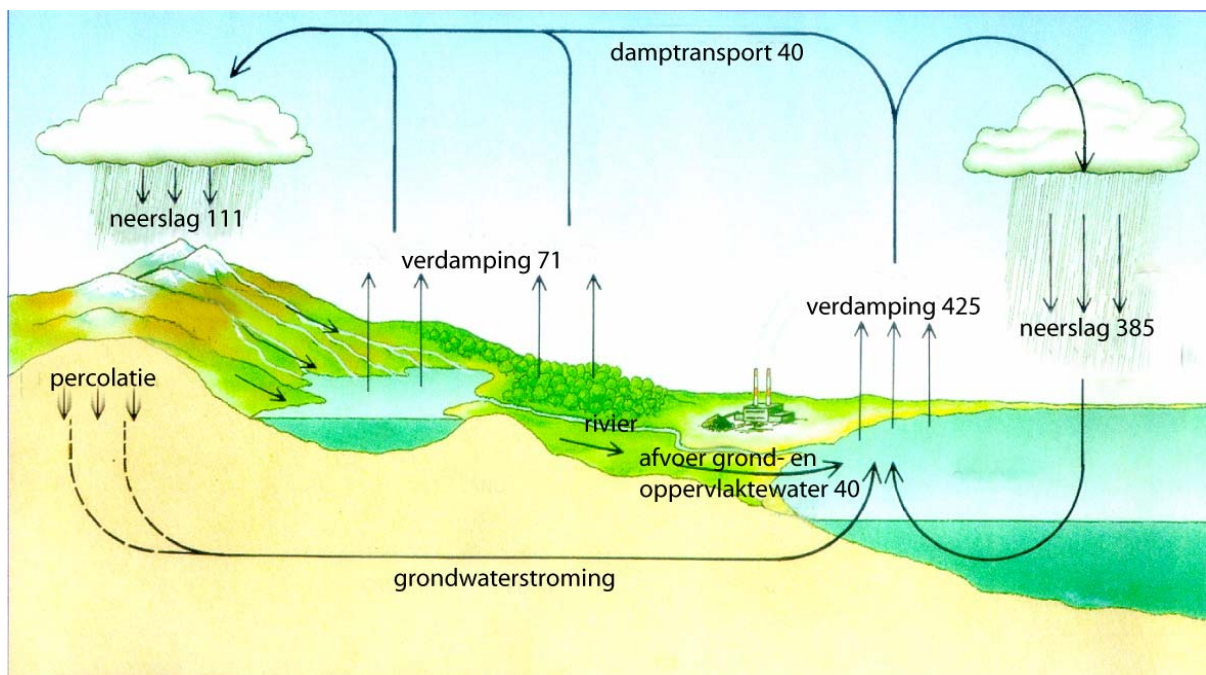


Fig 1. Jaarlijkse hydrologische cyclus (in 1 000 km<sup>3</sup>/jaar) op wereldschaal<sup>1</sup>.

De stralingsenergie van de zon zorgt er voor dat het water uit de oceanen verdampt. Het merendeel daarvan valt als neerslag terug in de oceanen, maar een ander deel wordt als damp naar het vasteland getransporteerd, waar het uiteindelijk als neerslag terechtkomt op het land (111 000 km<sup>3</sup>/jaar). Trekken we hiervan de verdamping van het land af (71 000 km<sup>3</sup>/jaar), dan bedraagt de gemiddelde jaarlijkse aanvulling van zoet grond- en oppervlaktewater ongeveer 40 000 km<sup>3</sup>. Daarvan is momenteel 14 000 km<sup>3</sup>/jaar technisch winbaar. We gebruiken daarvan tot nu toe nog maar de helft, maar de wereldbevolking zal, als de huidige voorspellingen

uitkomen, in afzienbare tijd verdubbelen. Wereldwijd gezien lijkt er dus nog wel enige ruimte te bestaan, maar regionaal gezien bestaan er grote verschillen!

Alle menselijk ingrijpen verandert de watercyclus. De invloed van klimaatverandering is daarbij nog onzeker. Wel zullen extremere weersomstandigheden optreden met als gevolg dat zowel overstromingen als droogtes zullen toenemen. Zo verdubbelden in Europa het aantal weer- en klimaatgerelateerde rampen in de 90-er jaren in vergelijking tot die in de 80-er jaren. Recente schattingen suggereren dat door klimaatsverandering de waterbeschikbaarheid met 20% zal afnemen.

## Hoe gaan we met het beschikbare water om?

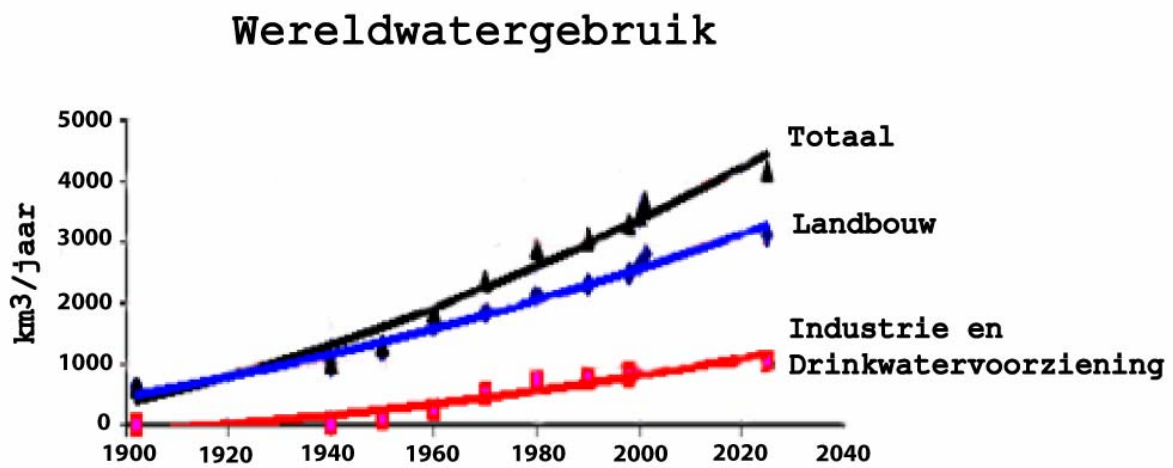


Fig 2. Schatting wereldwaterverbruik van de afgelopen eeuw tot 1998 en de voorspelling er van tot 2025<sup>2</sup>.

*Irrigatielandbouw.* Uit Fig. 2 wordt duidelijk dat we er niet zo goed mee omgaan. Zo is (irrigatie)landbouw verreweg de grootste verbruiker: 70%, de industrie neemt 20% en de drinkwatervoorziening 10%. Over de periode 1900-1998 is de wereldbevolking met een factor 3 toegenomen terwijl het waterverbruik van de landbouw met een factor 6 à 7 is toegenomen! De efficiency van het watergebruik in de landbouw bedraagt echter door lekverliezen in irrigatieleidingen, verspilling van het water e.d. helaas zo'n 50%. Nu is dit getal enigszins overtrokken, want lekverliezen op de ene plaats kunnen bijvoorbeeld weer zorgen voor aanvulling van het grondwater ergens anders, of benut worden voor bomen of andere ecosystemen. Toch is het wel duidelijk dat onder het motto 'more crop per transpired drop' verbetering van de efficiëntie van het watergebruik in de landbouw de sleutel is tot de oplossing van de heersende water crisis. Zo blijkt in bijvoorbeeld de *néerslagafhankelijke landbouw* aanvullende irrigatie in korte droge perioden, gecombineerd met waterbesparende technieken op het veld, de opbrengst van het gewas per eenheid verdampt water wèl drastisch te verhogen.

Nu is uit oogpunt van waterverbruik *plantaardige* droge stof productie een weinig efficiënt proces: minder dan 1% van het verdampte water wordt gebruikt om droge stof te produceren, de overige 99% wordt benut om het temperatuurevenwicht van de plant te bewaren, wat wil zeggen door middel van verdamping koel te houden. Daarbij heeft het ene gewas meer water

nodig dan het andere. Zo zie je dat in een land als Egypte veel irrigatiewater wordt gebruikt voor laagwaardige gewassen als katoen. Met de hoeveelheid water die nodig is voor de productie van 1 ha katoen kun je echter 5 ha van een voedingsgewas als gierst of sorghum verbouwen. Overigens is de vorm waarin het eindproduct wordt geleverd sterk bepalend voor de hoeveelheid water die wordt gebruikt: zo is voor een graangewas per kg graan gemiddeld 1,5 m<sup>3</sup> water nodig. Voer je dat graan echter aan een dier op om vlees te produceren, dan is een 10-voudige hoeveelheid water daarvoor nodig: 15 m<sup>3</sup> water /kg vlees. Op basis van de hoeveelheid z.g. 'virtueel water' die populair gezegd 'opgeslagen' is in een product als graan of vlees is overigens een hele beschouwing ontstaan<sup>3</sup>. Landen met een watertekort zullen in het algemeen er naar streven die producten in te voeren waarvoor veel water nodig is. Omgekeerd zullen landen met een wateroverschot deze producten gaan uitvoeren. Daarbij is het interessant de wereldwijde handelsstromen in dit 'virtuele water' in termen van efficiëntie te analyseren. Daarbij valt op dat Nederland dat een jaarlijks neerslagoverschot heeft, netto gezien toch water invoert via de graan- en vleesproducten die de haven van Rotterdam binnenkomen.

Het desastreuze effect dat een te veel aan irrigatie uit oppervlaktewater kan hebben op de afvoer van grote rivieren is weergegeven in Fig. 3.



Fig 3. Het 'verdriet van China' zit zonder tranen.

De Gele Rivier in China is vanwege haar verwoestende overstromingen altijd 'het verdriet van China' genoemd. Maar nu vloeien er geen tranen meer: de afgelopen jaren stond de rivier benedenstrooms droog vanwege de vele irrigatie stroomopwaarts. Datzelfde geldt ook voor de Nijl, Ganges en Colorado rivier.

In mijn leerstoelgroep wordt, om de irrigatie beter te kunnen reguleren, nu onder leiding van dr. De Rooij, al enige jaren gewerkt aan een meetinstrument, i.e. een tensiometer, dat aangeeft wanneer men bij droogte het beste kan irrigeren. Met de tensiometer kun je de bindingskracht van de grond op het water meten. Naarmate een grond droger wordt, neemt deze bindingskracht toe. De klassieke, met water gevulde tensiometer, wordt al vrij snel leeggezogen, dwz als de grond nog redelijk vochtig is. De bindingskracht is dan nog zo gering dat plantenwortels die met hun zuigkracht gemakkelijk kunnen overwinnen. Plantenwortels kunnen echter, voordat ze geen water uit de bodem meer kunnen opnemen, het water aan de bodem onttrekken met een zuigkracht die 16 keer zo groot is. Daarom is een nieuwe z.g. *osmotische tensiometer* in ontwikkeling, die in plaats van met water, met een polymeeroplossing is gevuld. De osmotische krachten van deze oplossing compenseren de zuigkracht voor een bodem waardoor de tensiometer gewoon zijn werk blijft doen, ook als de wortels geen water meer kunnen onttrekken. Met deze osmotische tensiometer kan men in de toekomst het optimale tijdstip van irrigatie nauwkeuriger bepalen en daarmee water besparen.

*Grondwateronttrekking.* Een ander probleem is dat met vaak *diep gelegen fossiele* grondwatervoorraden zoals in Noord-Afrika en Saoedië Arabië, die in de loop van duizenden jaren opgebouwd zijn door de schaarse regen die er gevallen is, onverstandig wordt omgesprongen. Deze voorraden bevatten water van uitstekende drinkwaterkwaliteit. Men pompt echter het water op om daarmee tarwe te irrigeren. Die voorraad is binnen afzienbare tijd op, en wat gaat men dan doen? Met dure oliedollars zeewater omzetten in zoet drinkwater? Je zou zeggen dat men daar toch veel efficiënter voedsel van elders kan importeren.

Hetzelfde is het geval met Libië. Daar pompt men over een oppervlakte van 70 x 90 km grondwater van honderden meters diepte op en pompt dat door naar de kuststreek voor landbouwkundig en drinkwatergebruik, maar ook om de fontein in Tripoli te laten spuiten. De grondwaterspiegel is daardoor in 50 jaar met 250 m gedaald!

Te véél grondwateronttrekking in relatie tot de jaarlijkse aanvulling door neerslag, resulteert in fors dalende grondwaterspiegels. In Noord-China is de grondwaterstand met 10-tallen meters gedaald vanwege onttrekking vooral ten behoeve van de industrie. Onder steden als Peking is door overmatig watergebruik de grondwaterspiegel al 100 m gezakt met als gevolg bodemdaling. Datzelfde geldt voor Bangkok, Djakarta en Mexico Stad.

Water wordt nu vrij algemeen beschouwd als een publiek sociaal-economisch goed, waarvoor een bepaalde prijs moet worden betaald. Voor irrigatiewater is het niet belangrijk dat de prijs de kosten volledig dekt, maar dat het zo efficiënt mogelijk wordt gebruikt. Daarbij lijkt langzamerhand een consensus te gaan ontstaan dat de rechten van toedeling door een regering aan watergebruikers het beste via tijdelijke contracten kunnen worden vastgelegd, die tevens verhandelbaar dienen te zijn<sup>4</sup>. Boeren en andere watergebruikers kunnen dan aangemoedigd worden met elkaar of met andere partijen te handelen. Een eerste resultaat zal dan zijn dat het watergebruik verschuift naar gewassen met een hoger toegevoegde waarde.

*World Water Assessment Program.* In het licht van de groeiende watertekorten op de wereld hebben 23 instellingen van de Verenigde Naties daarom in 2000 het initiatief genomen tot oprichting van het World Water Assessment Program dat een set van sociaal-economische indicatoren zal opzetten om het watergebruik beter te karakteriseren. In combinatie met de hydrologische gegevens kan zo het gebruik van het water tegen de beschikbaarheid ervan worden afgezet. Aangezien meer dan 1 miljard mensen geen toegang hebben tot drinkwater van goede kwaliteit en meer dan 2,4 miljard mensen zonder voldoende hygiënische verzorging zitten, wil men zich met dit programma in het bijzonder gaan richten op een beter

gebruik en beheer van de grondwatervoorraden. Daarbij speelt het International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC), een belangrijke ondersteunende rol. Dit Centrum is vooral tot stand gekomen op initiatief van de voormalige secretaris van de Nederlandse vertegenwoordiging in het International Hydrological Program (IHP) van UNESCO en het Hydrological Water Resources Program (HWP) van de World Meteorological Organisation (WMO), ir. Zuidema. Dit centrum is nu gehuisvest bij het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen (NITG-TNO) en wordt voorlopig gefinancierd door het interministeriële programma 'Partners voor Water'.

In het vervolg wil ik wat dieper ingaan op de mogelijke onderzoeks aanpak van enige concrete waterproblemen in buiten- en binnenland. Echter voordat ik dat doe is het misschien goed enige achtergrond te geven van de door mij gevolgde loopbaan, want die bepaalde mede mijn visie op onderzoek en onderwijs.

#### *Achtergrond loopbaan*

Tijdens mijn afstuderen deed ik als student-assistent onder leiding van dr. Jans Wesseling bij het toenmalige Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW) onderzoek naar drainageomhullingsmaterialen. Daarna verrichtte ik als medewerker van het ICW een promotieonderzoek op het grondwaterstandenproefveld in het Geestmerambacht bij Alkmaar. In de prettige werksfeer op het ICW, toendertijd geleid door prof. Van den Berg, ontstonden waardevolle contacten met gerenommeerde wetenschappelijke collega's op het gebied van de waterhuishouding. Na afronding van mijn proefschrift volgde een sabbatical year waarin gewerkt werd aan de numerieke modellering van de stroming van water in de bodem. Daarna opnieuw het ICW en later het Staring Centrum, onder de stimulerende leiding van ir. Oosterbaan, waar onderzoek werd gedaan in de agrohydrologie en het waterbeheer.

In 1990 ben ik dan aan Wageningen Universiteit gekomen als hoogleraar in een combinatie van enerzijds de fundamentele bodemnatuurkunde en anderzijds de meer toepassingsgerichte agrohydrologie. Daardoor ontstond voortdurend een natuurlijke wisselwerking tussen onderzoek en praktijk waar ik me zeer wel bij heb gevoeld, en die mede richting heeft gegeven aan het onderwijs en onderzoek van medewerkers en promovendi.

Keren we nu terug naar de waterproblemen en de aanpak daarvan. Voor een goed begrip laat ik nogmaals de hydrologische cyclus zien, maar nu op regionale schaal.

### **De hydrologische cyclus op regionale schaal**



Fig. 4. Hydrologische cyclus op regionale schaal.

Neerslag valt op de grond en het water dringt vervolgens de bodem in, waarvan de poriën gevuld zijn met water en lucht. Daar stroomt het water onder verschillen in druk- en zwaartekrachtspotentiaal verticaal naar beneden door de onverzadigde zone. Wanneer het water de bovenkant van de verzadigde zone, dit wil zeggen de grondwaterspiegel bereikt, wordt het grondwater aangevuld. Het grondwater stroomt vervolgens door watervoerende lagen in min of meer horizontale richting traag (in de orde van enige meters/jaar) naar lager gelegen plaatsen en komt, uiteindelijk weer zichtbaar, tot afvoer in sloten, rivieren en meren.

### **Modellering water- en stoffenbalans van het onverzadigde-verzadigde systeem.**

Vroeger hebben we de ondergrondse stromingsprocessen nog wel eens geprobeerd visueel te inspecteren (Fig 5). Je kunt dan wel zien waar de grondwaterspiegel zich bevindt en wat optrekkend vocht daarboven, maar daar houdt het dan ook wel mee op.



Fig 5 'Visuele' inspectie van de waterhuishouding in de ondergrond.

Het onzichtbare bodemvocht in de onverzadigde zone vervult echter een sleutelrol in de uitwisselingsprocessen met zowel de atmosfeer als de ondergrond, redenen waarom we ons



sterk geconcentreerd hebben op de fysisch-mathematische beschrijving, modellering en meting er van.

Nu zijn de stromingsprocessen in de onverzadigde zone van nature sterk niet-lineair (dit wil zeggen dat er geen vaste evenredigheid heerst tussen water in- en uitvoer) waardoor deze processen alleen via numerieke modellen op de computer kunnen worden nagebootst. Daarnaast is er nog de complicatie dat per bodemtype de stromingseigenschappen sterk verschillen, waardoor je gedwongen bent bij bestudering van andere bodemsoorten deze eigenschappen steeds weer afzonderlijk vast te stellen. Wanneer de bodem begroeid is met een landbouwgewas of een natuurlijke vegetatie, is het belangrijk ook de wateronttrekking door het wortelsysteem mee te modelleren in afhankelijkheid van worteldiepte en worteldichtheid. Op deze manier kun je de verschillende termen van de bodemwaterbalans vaststellen: de infiltratie, de verdamping van zowel de bodem als vegetatie, de verandering in de vochtberging en de percolatie naar de ondergrond.

Met het water kunnen verder opgeloste stoffen zoals zouten, nutriënten en pesticiden worden verplaatst. Door het waterstromingsmodel te koppelen met een stoffentransportmodel kan naast de waterbalans een stoffenbalans worden opgesteld. Zo is in de afgelopen jaren in eendrachtige samenwerking tussen onderzoekers van de Universiteit en het vroegere Staring Centrum /nu Alterra het agro-ecohydrologische model SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant) ontwikkeld (Fig 6), dat het simultane transport van water, warmte en stoffen op veldschaal beschrijft in nauwe interactie met een generiek gewasgroeimodel ontleend aan de school De Wit.

### **Fout! Objecten kunnen niet worden gemaakt door veldcodes te bewerken.**

Fig 6. Schematisatie van het model voor de beweging van water, warmte en stoffen in de onverzadigde-verzadigde zone: SWAP<sup>7</sup>.

In vergelijking met andere modellen, heeft het 1-dimensionale SWAP speciale voorzieningen voor het behandelen van bodemheterogeniteit, interacties met zowel grond- als oppervlaktewater, als mede een uitgebreide set van randvoorwaarden ten behoeve van de verschillende soorten gebruikers<sup>7</sup>. Het model heeft een zeer gebruikersvriendelijke grafische interface, wordt goed onderhouden en is voor iedereen vrij beschikbaar. We geven er regelmatig internationale cursussen over, en het model wordt in vele landen gebruikt als onderwijs- en onderzoeksinstrument.

Recente ontwikkelingen hebben het SWAP-model ook geschikt gemaakt voor meer regionale toepassingen. De horizontale opschaling/schematisatie gebeurt dan door afzonderlijke gebieden te identificeren die bodemkundig en hydrologisch dezelfde eigenschappen hebben. Zo hebben Kroes e.a.<sup>8</sup> het model, na validatie op afzonderlijke stroomgebieden, op de schaal van Nederland toegepast om de belasting van stikstof en fosfaat van verschillende soorten landgebruik op het grond- en oppervlaktewater te onderzoeken. Daarbij werden simulaties met tijdstappen van 10 dagen voor een periode van meer dan 30 jaar gedaan. Op basis van simulatie experimenten met oplopende gebiedsgrootte bleek dat de uitkomsten geldig waren voor gebieden van 25 km<sup>2</sup> en groter.

Een andere toepassing van het SWAP-model, waar je het misschien niet direct zo zou verwachten, is bij regionale weersmodellen. Voor Europa slagen deze modellen met een grid schaal van 20 x 20 km er nog niet in om droogtes of overstromingen op seizoenschaal goed te voorspellen. Dat komt o.a. omdat deze modellen het bodemvocht niet correct berekenen. De bedoeling is nu om, samen met onderzoekers van het KNMI, de huidige eenvoudige bodem-vegetatie-atmosfeer schema's in de weersmodellen te toetsen aan uitkomsten van het SWAP-model en zo te komen tot een betere parameterisatie van deze schema's.

## **Remote sensing en waterproductiviteit van gewassen in irrigatiegebieden**

Dan wil ik nu aandacht schenken aan een onderzoeksproject uit India naar de efficiëntie van het watergebruik. In landen als India en Pakistan was tot voor kort het irrigatiewater vooral afkomstig uit de publieke irrigatiekanalen. Op het ogenblik is de irrigatie, in gebieden waar de bevolkingsdichtheid groot is, echter al voor 60% afkomstig uit grondwater, via pompen die door de boeren zelf worden geslagen. Dit verbetert het inkomen van de boer fors doordat dan meer food en cash crops kunnen worden geteeld. Echter wanneer te veel water wordt gegeven en/of het grondwater verzout is, kunnen er problemen optreden.

Als uitvloeisel van het 2<sup>e</sup> World Water Forum dat in den Haag in 2000 werd gehouden, heeft het Ministerie van Landbouw en Visserij in het kader van 'Partners in Water for Food' het project 'Water productiviteit van geïrrigeerde gewassen in het Sirsa district in India' gehonoreerd waaraan medewerkers van Haryana Agricultural University, het International Water Management Institute (IWMI) in Colombo, het Bureau Water Watch en Wageningen UR deelnamen. Projectleider was dr. van Dam en het onderzoek was er op gericht om door combinatie van geografische informatiesystemen, remote sensing, SWAP-modellering, en veldmetingen de water productiviteit van veld- tot regionale schaal te analyseren en zonodig te verbeteren. Een vernieuwend aspect daarbij was dat met hulp van remote sensing satellietbeelden niet alleen de op het veld staande gewassen werden geclassificeerd, maar ook dat via temperatuurbeelden de werkelijke verdamping en droge stof opbrengst van deze gewassen kon worden vastgesteld, door middel van een algoritme dat door dr. Bastiaansen in zijn proefschrift in 1995 was ontwikkeld. Dit is een principiële grote stap voorwaarts, omdat deze methodiek je in staat stelt, om onafhankelijk van te verzamelen data in het veld, vast te stellen hoeveel water waar wordt onttrokken. Vervolgens kon de waterproductiviteit van de verschillende regio's in het irrigatiedistrict met elkaar worden vergeleken in termen van de financiële opbrengst /ha (Fig. 7).

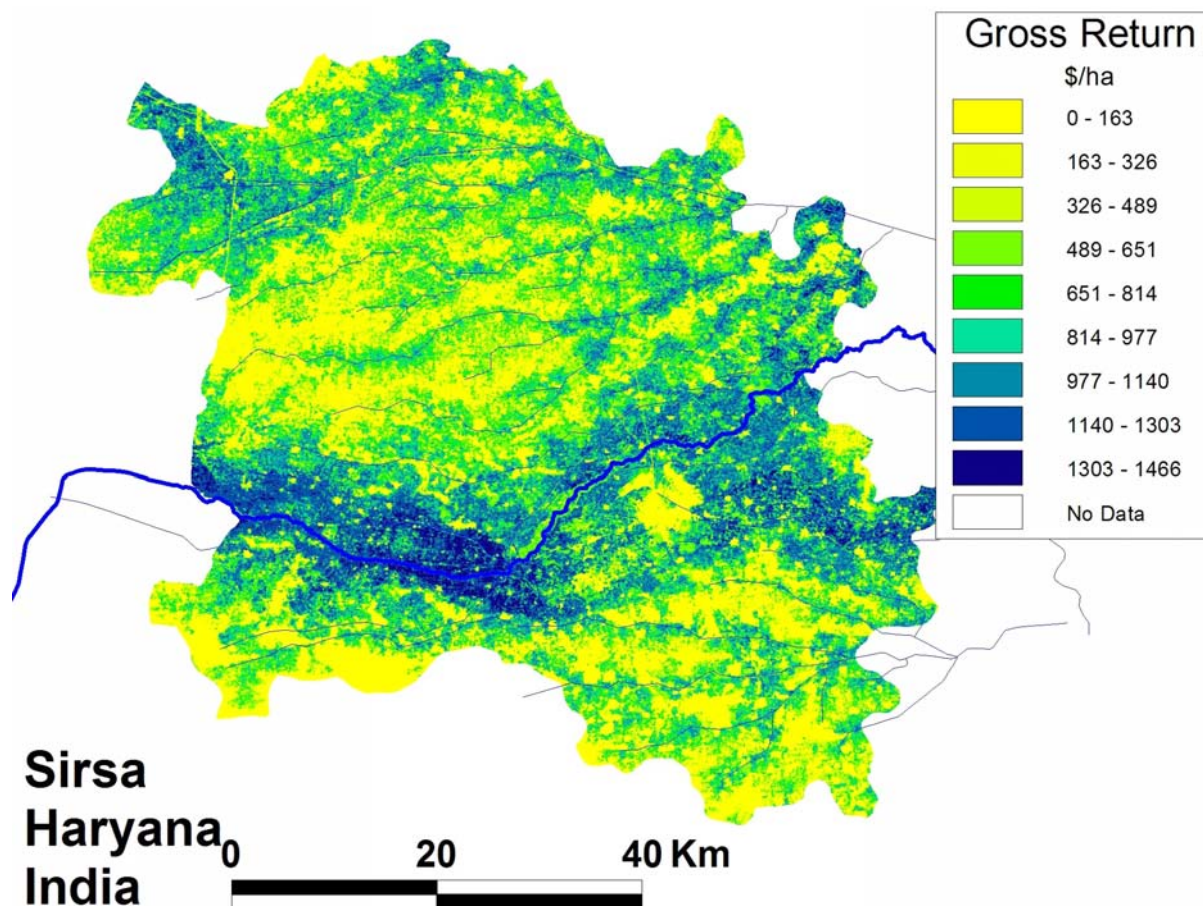


Fig. 7. De bruto waterproductiviteit (\$/ha) van de verschillende gebieden in het Sirsa irrigatiedistrict in India<sup>9</sup>.

Het blijkt dat de waterproductiviteit aanzienlijk verschilt voor de verschillende gebieden van het Sirsa district, en dat er nog al wat ruimte is voor verbetering van de waterproductiviteit. Vervolgens werden een aantal scenario's doorgerekend om na te gaan wat de effecten zouden zijn op de waterproductiviteit wanneer veranderingen zouden worden aangebracht in de grondwaterstand, in het zoutgehalte van het irrigatiewater, en in het regionale klimaat. In dit geval werd aanbevolen dat drainagesystemen moesten worden aangelegd in natte gebieden met zout grondwater, alsmede dat er voor gewaakt dient te worden dat de grondwaterstand niet boven de 2m -maaiveld uitkomt. Op deze manier kun je een heel irrigatiedistrict in detail analyseren en aanbevelingen voor verbeteringen doen.

### **Naar een flexibeler peilbeheer van het IJsselmeer**

Je zou zeggen dat de zo juist genoemde combinatie van remote sensing en waterbalansmodellering ook in Nederland zou kunnen worden toegepast. We hebben immers de kennis en de infrastructuur om de resultaten aan metingen te testen en voorspellingen te doen.

In ons land met een jaarlijks neerslagoverschot van 300 mm/jaar treden ook regelmatig watertekorten op. Zo was de zomer van 1976 extreem droog, de aardappeloogst mislukte, de schippers konden niet meer op de Maas varen, en industrieën geen proceswater meer innemen. De schade bedroeg toen 3 miljard gulden, vele malen groter dan de schade veroorzaakt door de wateroverlast in najaar 1998. Die droogte was aanleiding om, voor de

eerste keer dat dit voor heel Nederland systematisch gebeurde, een beleidsanalyse voor de nationale waterhuishouding van Nederland uit te voeren<sup>5</sup>. Het resultaat van deze onder vakgenoten bekende PAWN-studie, verscheen in 1985 en leidde o.a. tot de bouw van de 3 stuwen in de Nederrijn en Lek. Zo gaat nu in tijden van droogte de stuw bij Driel naar beneden en wordt water via de IJssel naar het IJsselmeer gestuurd. Ook is een gemaal aan het Amsterdam-Rijnkanaal gebouwd, om met zoet water uit dit kanaal de opdringing van de zoute tong vanuit de Rijn in de Hollandse IJssel tegen te gaan.

U herinnert zich ook nog wel de droge zomer van vorig jaar. Om de gevolgen van de droogte in Rijnland te bestrijden heeft men eerst *brak* water ingelaten bij Gouda vanuit de Hollandsche IJssel (Fig 8). Dit om daling van de grondwaterstand en paalrot tegen te gaan. Na de nodige protesten is men er uiteindelijk toe overgegaan om *zoet* water uit het IJsselmeergebied (IJsselmeer, Markermeer en Randmeren) naar Rijnland te pompen om daar het oppervlaktewater op peil te houden.

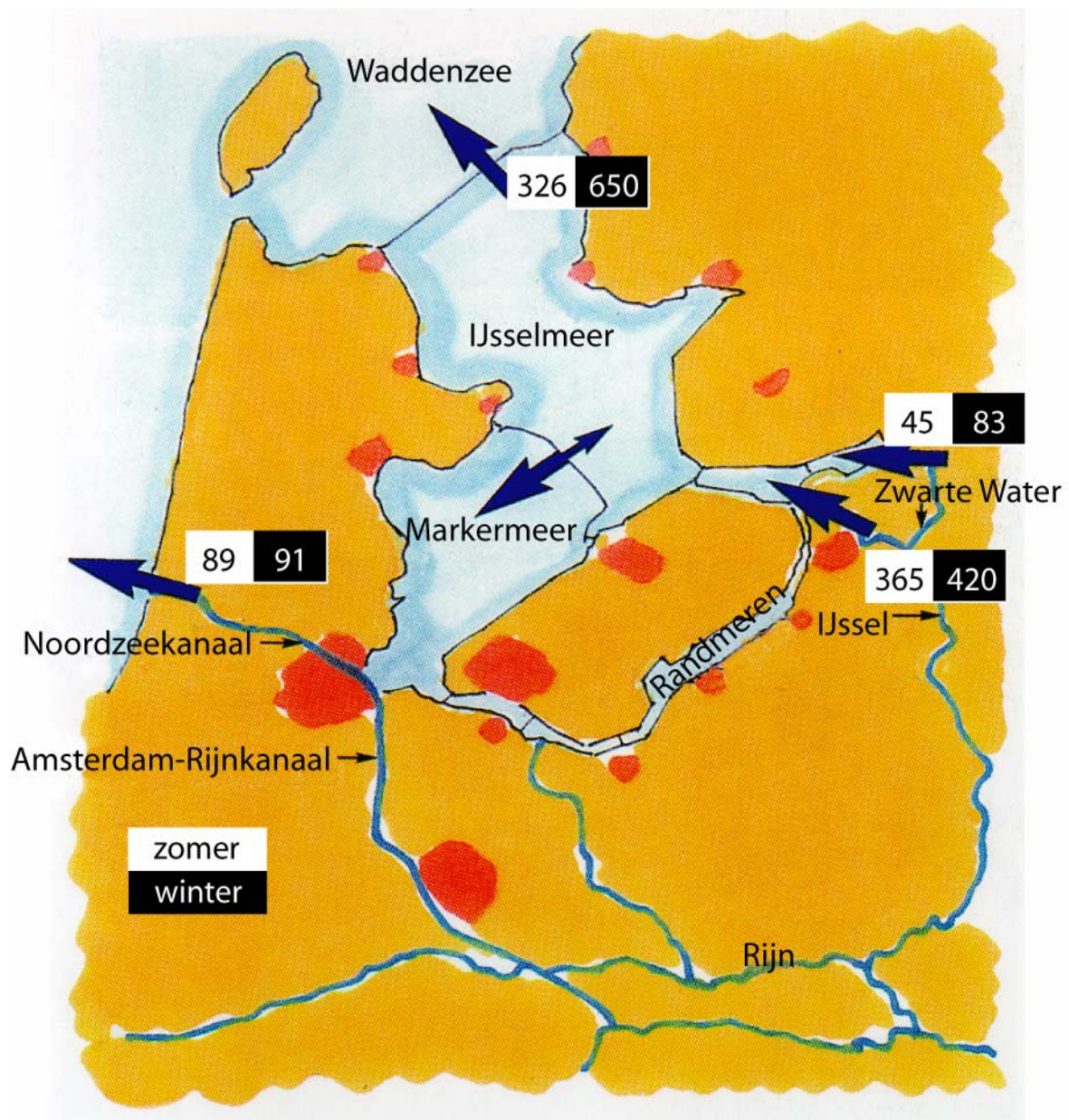


Fig 8. Belangrijkste gemiddelde water aan- en afvoeren ( $m^3/s$ ) in het Natte Hart<sup>10</sup>. Bij elke pijl staan steeds twee getallen: het eerste is de afvoer in de zomer (wit blokje), het tweede de

afvoer in de winter (zwart blokje). De IJssel voert verreweg het meeste water aan. Het grootste deel van N-Holland en Friesland watert zoveel mogelijk af op de Waddenzee, maar onder bijzondere omstandigheden ook op het IJsselmeer en Markermeer.

In de geest van het rapport Waterbeleid 21<sup>e</sup> eeuw van 'eerst vasthouden, en opvangen en daarna pas afvoeren', wordt steeds meer gezocht naar mogelijkheden om water te bergen in gebieden met te verwachten tekorten. Naast reservering van extra ruimte voor waterberging in de regio's, kan mijns inziens aanvullend het IJsselmeergebied hierin een belangrijke functie vervullen. Het voordeel van deze al bestaande berging is dat er geen extra ruimte hoeft te worden onttrokken aan andere bestemmingen. Het IJsselmeergebied met een oppervlakte van 2000 km<sup>2</sup> is bij uitstek ons belangrijkste zoetwaterreservoir met grote potenties voor zowel bestrijding van watertekorten in droge perioden als berging van water in natte perioden. Zo wordt vanuit dit reservoir water ingelaten ten behoeve van de drink- en oppervlaktewatervoorziening van Friesland, Drenthe, Groningen, Noordoostpolder en Noord-Holland.

Gemiddeld wordt echter in de zomer onder vrij verval ook nog 326 m<sup>3</sup>/s gespuid op de Waddenzee, een hoeveelheid die je graag zou willen benutten in tijden van extreme droogtes. Slechts toen de Rijnaanvoer bij Lobith in 2003 daalde tot 1100 m<sup>3</sup>/s is men er toe overgegaan om het spuien op de Waddenzee stop te zetten. Achteraf gezien te laat: men had beter meer kunnen opslaan.

Het streefpeil van het IJsselmeer is in de zomer 20 cm onder NAP, in de winter 40 cm onder NAP, waarbij (afhankelijk van de hoogte van de zeespiegel, stormen, aanvoer vanuit de Rijn en vanuit de regio) de werkelijke peilen in een gemiddeld jaar tussen 40 cm en 0 cm onder NAP schommelen. Dit houdt in dat met deze speelruimte van 40 cm in principe een forse berging is te realiseren. Daarbij berust het operationele peilbeheer nu bij personen die informatie van diverse instanties zelf moeten betrekken, en daarna deze op een zo goed mogelijke en verantwoorde wijze in het peilbeheer moeten zien te integreren.

Indien men nu de regionale waterbehoeften samen met een lange termijn weersverwachting zou kennen, zou men sneller kunnen anticiperen, en daarmee een flexibeler peilbeheer kunnen realiseren dan tot nu toe het geval is.

Om tot een uitgekiend peilbeheer te komen kunnen de waterschappen gebruik maken (en een aantal doet dat al) van reeds bestaande geavanceerde computermodellen voor de beschrijving van aan- en afvoeren van het oppervlaktewater, balansen van grondwater en onverzadigde zone die optreden onder de verschillende soorten landgebruik. Samen met informatie over neerslag op basis van regenmeters en regenradar, en meetgegevens over o.a. waterpeilen, aan- en afvoeren en grondwaterstanden, kunnen vervolgens regionale waterbalansen worden opgesteld. De berekende hoeveelheden bodemvocht en werkelijke verdamping kunnen dan worden berekend en regelmatig worden getoetst aan de werkelijk tekorten zoals die kunnen worden bepaald met thermisch infrarode NOAA-satellietbeelden.

Blijft over de weersvoorspelling op lange termijn: dat is cruciaal voor een flexibel te voeren waterbeheer. De weersverwachting wordt voor Nederland voor 10 dagen vooruit opgesteld door het European Centre for Medium Weather Forecasts (ECWMF) in Engeland. Daarbij kan een kleine verstoring in de uitgangstoestand van de berekeningen aanzienlijke gevolgen hebben voor het weer in de komende dagen. De operationele weersverwachting wordt daarom 50 keer herhaald met een licht verstoorde begintoestand om de onzekerheden daarin te simuleren. Daarmee kan het verloop van de verdamping en het bodemvocht 10 dagen vooruit worden voorspeld met de boven genoemde simulatiemodellen. Vervolgens kunnen de probleemgebieden worden geïnventariseerd en kan er speciale aandacht worden gegeven aan het conserveren van water en het inlaten van gebiedsvreemd water.

Door de som van alle regionale waterbehoeften te confronteren met op bijvoorbeeld een seizoenstermijn te verwachten weer, kan met een flexibel peilbeheer het IJsselmeer beter de functie van zoetwaterberging vervullen. Met deze zoetwaterbuffer kan, zo nodig met aanpassingen van de infrastructuur, de regionale waterverdeling voor de korte termijn worden beïnvloed: zowel in droge als in natte tijden. Dan kan ook het effect van het extra te bouwen gemaal in de Afsluitdijk dat de totale afvoercapaciteit zal verdubbelen (!) en in 2008 klaar zal zijn, worden meegenomen.

### **Vasthouden, bergen en afvoeren**

De hoeveelheid rivierwater die bij Lobith de Rijn binnenkomt waartegen we, zoals vastgelegd in de wet op de Waterkering, nog net beveiligd zijn, i.e. de maatgevende afvoer, bedraagt 16 000 m<sup>3</sup>/s, (voor de Maas 3 800 m<sup>3</sup>/s). Dit komt overeen met een overschrijdingsrisico van eens in de 1250 jaar. (Ter vergelijking: in de winter 1995 bedroeg deze afvoer slechts 12 000 m<sup>3</sup>/s, waarna men de dijken acuut heeft verhoogd tot een hoogte overeenkomend met een maatgevende afvoer van 15 000 m<sup>3</sup>/s).

De hevige neerslag die in augustus 2002 de dijkdoorbraken in het Elbe stroomgebied veroorzaakte is een orde van 20% groter dan zich in 1995 in het Rijnstroomgebied heeft voorgedaan. Door het KNMI is doorgerekend wat er gebeurd zou zijn als deze neerslaghoeveelheid op het stroomgebied van de Rijn en Maas zou zijn gevallen. Dit viel mee, het resulteerde in een Rijnafvoer iets lager dan tijdens de winter van 1995, waarschijnlijk doordat het wateropnemend vermogen van de grond in de zomer veel groter was dan in de winter. Hieruit wordt duidelijk dat hoogwaterpieken sterk afhangen van allerlei factoren zoals de regenintensiteit, -hoeveelheid en -duur, terreinhelling, landgebruik en bodemtype.

Om deze hoogwaterpieken beter op te kunnen vangen worden nu, door de commissie Luteijn, in het rivierengebied noodoverloopgebieden als de Ooijpolder, Rijnstrangen en het oostelijke deel van de Beersche Overlaat) voorgesteld om die gecontroleerd te laten overstromen dwz als alle andere waterstandsverlagende maatregelen hebben gefaald (Fig 9, Scenario 1).



Scenario 1: Noodoverloop is gecontroleerd overstroom



Scenario 2: Compartimenteren is het verder opdelen van dikringgebieden met tussendijken, eventueel in het hele rivierengebied



Scenario 3: Extra ruimte voor de rivier

#### Legenda scenario 3

1. Retentiegebied
2. Verlaging 'kribben'
3. Verlaging uiterwaarden
4. Verdiepen rivier
5. Dijkteruglegging (kleinschalig)
6. Dijkteruglegging (grootschalig)

Fig 9. De 3 scenario's die worden toegepast om wateroverlast tegen te gaan<sup>11</sup>.

Het gaat daarbij alleen om de hoogste top, de 'hoogwatergolf' die op ons afkomt in de rivieren uit Duitsland of België, op te vangen. Daarnaast wordt een 2<sup>e</sup> scenario bekeken van compartimentering, wat inhoudt dat grote dikringgebieden (i.e. polders direct achter de rivierdijk) worden opgedeeld door binnendijken. Als de rivierdijk ergens overstroomt, stroomt het water naar alle delen van het dikringgebied, totdat het wordt tegengehouden door een binnendijk of door een andere natuurlijke barrière. Een 3<sup>e</sup> scenario is het aanleggen van retentiebekkens, die gericht zijn op het vergroten van de bergingscapaciteit langs de rivieren, en onder normale omstandigheden droog staan. Deze zijn bedoeld om, in samenhang met de verlaging van kribben, het afgraven van uiterwaarden, het verdiepen van de rivier, de aanleg van nevengeulen en dijkverlegging er voor te zorgen dat we niet hoeven terug te vallen op dijkverhoging om de veiligheid te garanderen. Het kabinet beslist in 2006 over wat er uiteindelijk aan rampenstrategie gaat gebeuren.

In het Wageningse houden we ons in dit kader vooral bezig met wat er binnen de Groene Ruimte aan ruimtelijke maatregelen moeten worden getroffen om piekafvoeren te reduceren. Op basis van de strategie van de Cie waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw van het niet afwentelen van wateroverlast dient men dan in de eerste plaats de neerslag die in een deelstroomgebied valt, zo lang mogelijk vast te houden met behulp van inrichtings- en beheersmaatregelen. Dit

adagium geldt overigens ook voor droge omstandigheden. Wanneer vasthouden niet langer meer mogelijk is moet het water geborgen worden in daarvoor bestemde waterbergingsgebieden, dit wil zeggen in of naast het hoofdafwateringssysteem. Pas als dat gedaan is mag het overtollige water worden afgevoerd. Dit is echter een in de tijd gesuggereerde volgorde die in de praktijk niet altijd blijkt te werken.

Eind vorig jaar heeft de Studiekring voor Land-en Watergebruik in samenwerking met de Nederlandse Hydrologische Vereniging onder trekkerschap van dr. J. van Bakel een studiedag georganiseerd over de problematiek en definities van het 'vasthouden van het water in de bodem', en de mogelijkheid om zowel wateroverlast voor de landbouw als verdroging van de natuur te kunnen bestrijden<sup>12</sup>.

Nu is vasthouden van water bovenstrooms bedoeld om mogelijke wateroverlast benedenstrooms te verminderen. Dat kan gebeuren door verhoging van de ontwateringsbasis, bijvoorbeeld via het tegelijkertijd ondieper en breder maken van de watergangen. Daardoor zou je het in te stellen peil in de watergangen/sloten kunnen laten sturen door het variërende grondwaterpeil. Zo kan bij een hoge grondwaterstand een laag slootpeil worden ingesteld en bij een lage grondwaterstand een hoog slootpeil. Dat lijkt in principe mooi, maar berekeningen door een student gedaan met het model SWAP tonen aan dat het gevolg hiervan is dat zowel de gemiddelde laagste grondwaterstand stijgt als de gemiddelde hoogste grondwaterstand. En dat laatste wil men in verband met te natte situaties nu juist vermijden.

Daarnaast is er het probleem dat dit soort effecten afhankelijk zijn van de schaal waarop je ze bestudeert. Zo bevordert drainage de piekafvoer op de ene plaats terwijl op andere plaatsen afvoeren worden gereduceerd. Dit komt doordat verschillen in bodemtype, de helling van de bodem en het soort landgebruik optreden. Je hebt dus te maken met sterk niet-lineaire stromingen in combinatie met schaaleffecten.

De conclusie is ook hier dat je concrete gevallen steeds met het model, dat het meest geëigend is voor de betreffende schaal, zou moeten doorrekenen in combinatie met de beschikbare metingen.

Duidelijk is dat 'te vroeg' en 'te lang' vasthouden niet goed is, wat meestal in de praktijk pas achteraf kan worden vastgesteld. Echter door bij het doorrekenen met de modellen meer gebruik te maken van lange termijn weersverwachtingen kan veel inzicht worden verkregen in het toekomstig te verwachten gedrag van het stroomgebied, zowel naar plaats als tijd, waardoor het technisch bijsturen van 'vasthouden' naar 'afvoeren' plaats kan vinden. Dit bijsturen van het gebiedsgerichte waterbeheer kan alleen maar werken wanneer er binnen het stroomgebied een goede samenwerking bestaat tussen de gebruikers van het land, de waterbeheerders en de wetenschappers.

## **Woorden van dank**

Dames en heren, in de loop van dit college heb ik al enige personen en instellingen genoemd die bijgedragen hebben aan mijn pre-universitaire ontwikkeling. Ik zie daarnaast met plezier terug op de afgelopen 15 jaren aan Wageningen Universiteit.

Het College van Bestuur dank ik voor het in mij gestelde vertrouwen, de vrijheid die ze me hebben gegeven om wetenschap te bedrijven en onderwijs te geven.

De sprekers op de afscheidsbijeenkomst die voorafging aan dit afscheidscollege hebben me in het zonnetje gezet.

I especially thank Dr. Andrasz Szöllösi-Nagy, Secretary of UNESCO's International Hydrological Program (IHP), for his kind words. As 'Water' is now a major priority for UNESCO and the World Water Assessment Program is in full swing, IHP provides the scientific knowledge, technical training and policy advice required to manage this precious resource efficiently, fairly and environmentally. As IHP is an Intergovernmental Program,



you are of course, as you state regularly, only 'our humble servant'. But we all know that behind the successes obtained so far, you are the main driving force, which we all appreciate very much.

Prof. Cees van den Akker, je hebt de achtergronden van het hydrologisch onderzoek en het onderwijs over de laatste jaren in Nederland geschetst. We hebben samen de werkwijze van de Commissie Hydrologisch Onderzoek (CHO-TNO) nog meegemaakt, die met secretaris Colenbrander en medewerker Hooghart stimuleerde dat universiteiten en Groot Technologische Instituten (GTIs) nieuwe wetenschappelijke inzichten gezamenlijk uitwerkten en de resultaten er van publiceerden, dit alles met gesloten beurzen. Na de opheffing er van was het ieder voor zich, en dat was jammer. Gelukkig hebben we in de plaats er van het Nederlands Hydrologisch Platform (NHP) opgericht zodat we onderling informatie konden uitwisselen en initiatieven ontwikkelen. Mede daardoor zijn onze jonge hydrologische hooggeleerden in staat gesteld in opdracht van de KNAW een z.g. Hydrologische Verkenning uit te voeren.

Over het KNAW gesproken, daar heb ik me in enige commissies prima thuis gevoeld: daar gaat het nog steeds in de eerste plaats over de wetenschappelijke inhoud zonder dat direct het financiële aspect de discussies domineert. We worden daar trouwens door secretaris ir. Alice de Gier, samen met Linda Groen, uitstekend bij de les gehouden, zodat ook op tijd resultaten worden geboekt.

Prof. Pavel Kabat, je bent me lang geleden opgevolgd als Agrohydroloog bij het Staring Centrum, en daarna heb je in snel tempo een grote vlucht gemaakt in allerlei functies, culminerend in je professoraat in de Klimaatshydrologie en je wetenschappelijk directeurschap van het landelijke BSIK-programma. Pavel, dank voor de langjarige wetenschappelijk samenwerking en je vriendelijke woorden.

Dr. Ger de Rooij, je hebt me namens de medewerkers toegesproken, op de van jouw bekende gedegen wijze. Ik heb het genoeg gehad te werken in een omgeving met getalenteerde en enthousiaste medewerkers, en dan gaat het meeste eigenlijk vanzelf.

Prof Peter Troch, ik prijs me gelukkig dat je enige jaren geleden de Sectie Waterhuishouding bent komen versterken. Onze medewerkers werken nauw samen in het onderwijs en onderzoek, tot aller tevredenheid. Toen ik je vroeg om het voorzitterschap van de Sectie over te nemen, zei je direct ja. De integratie van onze Sectie binnen de Kenniseenheid Groene Ruimte kostte je de nodige energie en tijd, waarvoor ik je zeer erkentelijk ben.

Prof. Toon Leijnse, je bent als hoogleraar Grondwaterkwaliteit door de directies van resp RIVM en NITG-TNO voor 1 dag/week aan ons uitgeleend gedurende twee perioden van 5 jaar. Door je vriendelijke, open opstelling lopen studenten en promovendi gemakkelijk bij je binnen, en je voelt je bij ons echt thuis. Zeer bedankt voor je wetenschappelijk inbreng!

Piet Warmerdam, je verzorgde, naast je reguliere werk, op geheel eigen wijze sinds jaar en dag het veel tijd vergende personele en financiële beheer van de Sectie. Dat is met de continu aan de gang zijnde reorganisaties geen gemakkelijke job. Daarom stelde ik des te meer onze regelmatige discussies over de maatgevende afvoer van de Rijn op prijs.

Verder dank ik alle medewerkers van de Sectie voor hun bereidheid nieuwe ontwikkelingen in ons onderwijs en onderzoek steeds maar weer in te passen: daar worden veel overuren voor gemaakt.

Annemarie Hofs en Henny van Werven, jullie losten als secretariaat in harmonieuze samenwerking vele zaken geruisloos op, waarvoor ik jullie zeer dankbaar ben.

Dames en heren studenten: Met het onderwijs in de studierichting 'Bodem, Water en Atmosfeer' hebben we met de daarin betrokken leerstoelgroepen een goede nationale en internationale reputatie opgebouwd, en vindt praktisch iedere afgestudeerde snel een baan. Een belangrijk uitgangspunt van deze studierichting is dat de basisleggende kennis op het gebied van de bodemkunde, de hydrologie en de meteorologie al vroeg in deze studierichting

aan de orde komt. Helaas worden op het ogenblik plannen ontwikkeld om, ten koste van het meer disciplinair gerichte onderwijs, in de BSc-opleiding steeds meer multi-disciplinair onderwijs te geven. Dit om de studierichting breed toegankelijk te maken. Daardoor dreigt echter de disciplinair benodigde kennis steeds meer naar de MSc-fase te worden doorgeschoven. We moeten er daarom voor oppassen dat onze afgestudeerden niet als 'Jacks of all trades but masters of none' gaan worden gezien. Je kunt pas goed interdisciplinair werken als je je vak beheerst en niet andersom.

Ik was zeer verrast dat zoveel collega's organisatorisch en wetenschappelijk hebben willen bijdragen aan het 3-daagse wetenschappelijke afscheidssymposium over 'Unsaturated Zone Modeling' dat vorige week heeft plaatsgevonden, en op basis waarvan met hulp van Frontis een mooi boek in druk is verschenen. En dat geldt ook voor het organisatiecomité dat gezorgd heeft voor het afscheidsprogramma voorafgaande aan deze academische plechtigheid.

Lieve Foky: jij brengt de balans in mijn leven. Doordat we beiden als medewerkers lange tijd verbonden zijn geweest aan de Universiteit, is het wel en wee daarvan dikwijls onderwerp van gesprek geweest. Ik neem aan dat dit steeds meer naar de achtergrond verdwijnt, aangezien kleindochter Esther haar rechten opeist, zoals we hier al zien.

Dames en heren, ik heb gezegd.

## Referenties

1. Rivièrè, J.W.M la, 1989. Threats to the World's Water Scientific American. Sept.: 48-55.
2. Duursma, E.K. 2002. Rainfall, river flow and temperature profile trends: consequences for water resources. Heineken N.V. Amsterdam: pp 32. ISBN 90-9016054.
3. Hoekstra, A.Y. 2003. Virtual water trade between nations: A global mechanism affecting regional water systems, Global Change News Letter, IGBP, June Issue No. 54.
4. The Economist, 2003. Priceless: a survey of water. July 19<sup>th</sup>: 3-16.
5. Pulles, J.W. 1985. Beleidsanalyse van de waterhuishouding van Nederland/PAWN. Rijkswaterstaat: pp 431. ISBN 90-12-051843.
6. Ministerie van Verkeer en Waterstaat 2000. Anders omgaan met water: Waterbeleid in de 21<sup>e</sup> eeuw, pp 70. Als PDF-file beschikbaar op <http://www.wateractueel.nl>.
7. Dam, J.C. van, J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk and C.A. van Diepen, 1997. Theory of SWAP version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment. Report 71, Sub-department Water Resources, Wageningen University, Technical document 45, pp 165, Alterra Green World Research, Wageningen.
8. Kroes, J.G., P.J.T. van Bakel, J. Huygen, T. Kroon, H.Th.L. Massop and R. Pastoors, 2002. Regional validation of a nation wide application of a comprehensive 1D-hydrological model. Proceedings of the 5th international symposium on spatial accuracy assessment in natural resources and environmental sciences, Melbourne, Australia, July 10-12 2002: 83-93, ISBN 07340 22123.
9. Dam J.C. van, and R.S. Malik, 2003. Water productivity of irrigated crops in Sirsa district India: Integration of remote sensing, crop and soil models and geographical information systems. WATPRO final report, pp 173. ISBN 90-6464-864-6.
10. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000. Waterhuishouding in het Natte Hart: WIN-strategie als leidraad voor toekomstig waterkwantiteitsbeheer van het Natte Hart, Eindnota. ISBN 90-369-1252-0.
11. Ministerie van Verkeer en Waterstaat en Ministerie van Binnenlandse zaken en Koninkrijksrelaties, 2003. Rampenbeheersingsstrategie overstromingen Rijn en Maas: reactie op het advies van de Commissie Noodoverloopgebieden, pp 32. Als PDF-file beschikbaar op <http://www.rijnemaas.nl>
12. Bakel P.J.T. van, 2004. Werkt vasthouden? H2O-14, pp 3 (in druk).