

Hydrologie

grondslag voor water- en milieubeheer

Afscheidsrede

26 mei 1993

Prof.dr.ir. J.C. van Dam

Red. 1993

HYDROLOGIE

HYDROLOGIE

grondslag voor water- en afvalwater

Rede, uitgesproken op 10 oktober 1993
door

prof. dr. J. C. van den

ter gelegenheid van de 100ste
verjaardag van de oprichting van de
aan de Faculteit der Techniek
van de
Technische Universiteit Delft

Delftse Universiteit

Dam_
red_
1993

HYDROLOGIE

grondslag voor water- en milieubeheer

Rede, uitgesproken op 26 mei 1993
door

prof.dr.ir. J.C. van Dam

ter gelegenheid van zijn afscheid als
hoogleraar hydrologie/waterhuishouding
aan de Faculteit der Civiele Techniek
van de
Technische Universiteit Delft

Delftse Universitaire Pers

*Mevrouw en heren leden van het College van Bestuur,
Collegae hoogleraren en oud-hoogleraren van de TU Delft,
Collegae hoogleraren en oud-hoogleraren van andere Nederlandse en Belgische
universiteiten en instellingen voor Hoger Onderwijs,
Medewerkers, studenten en oud-studenten,
Familieleden, vrienden en bekenden,
Zeer gewaardeerde toehoorders,*

Inleiding

In deze afscheidsrede wil ik trachten zowel de ingewijden als de leken onder U aan te spreken over het onderwerp 'Hydrologie'. Sinds 1968 heb ik, als eerste ordinarius, de leerstoel hydrologie/waterhuishouding aan deze TU mogen bezetten. In de Faculteit der Civiele Techniek van deze Technische Universiteit - destijds nog de Afdeling der Weg- en Waterbouwkunde van de Technische Hogeschool - werden en worden de termen hydrologie en waterhuishouding als aanduiding voor deze leerstoel beurtelings of in combinatie gebezigd. Daaruit blijkt duidelijk de gerichtheid op toepassing in de waterhuishouding of, in hedendaags taalgebruik, voor water- en milieubeheer.

Alvorens dieper in te gaan op een tweetal onderwerpen uit dit zeer brede werkkterrein volgen eerst nog enkele kanttekeningen bij deze termen. Voor de definities ervan verwijs ik naar de Verklarende Hydrologische Woordenlijst van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO [1986]. Uit de definitie van hydrologie, de leer van de kringloop van het water, blijkt dat de hydrologie de terrestrische schakel is tussen de meteorologie en de oceanografie. Omdat een deel van de kringloop van het water zich ondergronds voltrekt is het domein van de geologie, als grondslag voor de geohydrologie, meer dan een aanverwant vak. Mede daardoor wordt de hydrologie, zowel nationaal als internationaal, ingedeeld bij de aardwetenschappen.

Hydrologie omvat meer dan alleen de, op zichzelf reeds gecompliceerde, kwantitatieve beschrijving van de kringloop van het water; zij omvat ook de waterkwaliteitsaspecten en zaken als sedimenttransport en voorts is ook de invloed van menselijk handelen hierin begrepen. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de internationale niet-gouvernementele organisatie op dit terrein International Association of Hydrological Sciences (IAHS), (meervoud!), heet. Raadpleegt men de recente 'Glossary of Hydrology' van Lo [1992] dan vindt men daarin onder 'hydrologic sciences' een opsomming van wel veertien disciplines die

ISBN 90-6275-857-6/CIP

Copyright 1993 by prof.dr.ir. J.C. van Dam

All rights reserved

No part of the material protected by this copyright notice may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage and retrieval system, without permission from the publisher: Delft University Press, Stevinweg 1, 2628 CN Delft, The Netherlands.

daartoe gerekend worden, waaronder uiteraard ook de hydrologie. De term hydrologie wordt door Lo nader ingedeeld in wel 125 deelgebieden, zoals 'geohydrology', 'urban hydrology', enz.

In de termen waterhuishouding, waterbeheersing, waterbeheer en integraal waterbeheer is de invloed van het menselijk handelen uitdrukkelijk inbegrepen; beheer teneinde te beheersen. De in korte tijd ingeburgerde term integraal waterbeheer is wel zeer veelomvattend; daartoe wordt ook gerekend de toedeling van water en de functies van water aan de vele en veelal tegenstrijdige belangen, na zorgvuldige afweging van vraag en aanbod, de belangen en de mogelijkheden. De mogelijkheden worden bepaald door de hydrologische gesteldheid, de technische ingrepen en de bestuurlijke maatregelen. De, door bestuurders te maken, afweging wordt voorbereid door onderzoek naar de effecten, hydrologische zowel als de daardoor bepaalde ecologische en economische effecten, van ingrepen en maatregelen. Dit type onderzoek, aangeduid als beleidsonderbouwend onderzoek, staat tegenwoordig sterk in de belangstelling van de overheidsinstanties. Uiteraard moet dit onderzoek steunen op proceskennis. Het is verheugend te constateren dat in de recente jaren internationaal sterk de nadruk wordt gelegd op onderzoek naar de hydrologische processen [Klemes en anderen, 1990]; terug naar de natuur of zo U wilt het fundamentalisme. De behoefte aan kennis van de processen is groot, in het bijzonder in het integraal waterbeheer.

Na deze inleiding zou ik eerst kort wat dieper willen ingaan op een tweetal onderwerpen uit de hydrologie. Dit zijn achtereenvolgens:

- de neerslag-afvoerrelaties en
- de ondergrondse verzilting.

Uiteraard is dit slechts een selectie uit het zeer veel omvattende werkterrein van de hydroloog. Deze selectie is in hoge mate bepaald door eigen betrokkenheid - in onderwijs en onderzoek [onder anderen: van Dam, 1976; van Dam en Sikkema, 1982; Sikkema en van Dam, 1982; van Dam 1992] - en door onderzoek waarvoor ik in de afgelopen 25 jaren als afstudeerhoogleraar en als promotor mocht optreden en in de komende vijf jaar nog als promotor hoop op te treden. In mijn verdere betoog zult U de voltooide proefschriften als leidraad onderkennen.

Daarna wil ik nog ingaan op de actuele uitdagingen voor de hydrologen en vervolgens enkele ontboezemingen geven over de verwerving en overdracht van hydrologische en waterhuishoudkundige kennis in en door de Nederlandse universitaire wereld en de TU Delft in het bijzonder.

Neerslag-afvoerrelaties

Het eerste onderwerp, de neerslag-afvoerrelaties, stond reeds lang in de belangstelling op het moment van mijn ambtsaanvaarding en ook heden is dat nog zo. Naar mijn stellige verwachting zal deze belangstelling en de daaruitvoortkomende kennisopbouw nog tot in lengte van jaren doorgaan gezien de grote praktische betekenis ervan enerzijds en de groeiende beschikbaarheid en ontwikkeling van moderne hulpmiddelen anderzijds. Na de intree van de computer zijn het nu vooral de Geografische Informatie Systemen (GIS), waar veel van verwacht wordt. Het maatschappelijk belang ervan is evident. Door het onregelmatige voorkomen, of uitblijven, van neerslag hebben we afwisselend te kampen met hoge afvoeren en de (kans op) overstroming of lage afvoeren, met watertekorten in droge perioden. In de media zien we frequent indrukwekkende beelden daarvan. Verlies aan mensenlevens door verdrinking of verhongering alsmede materiële schade zijn het gevolg. Hoewel wij het optreden of uitblijven van neerslag wel nooit zullen kunnen beheersen kunnen we ons toch, in zekere mate, beschermen tegen de gevolgen ervan door de aanleg van civieltechnische werken, zoals dijken en stuwwerken, en door het tijdig afgeven van waarschuwingen. Voor de dimensionering en de exploitatie van die werken en voor het afgeven van zulke waarschuwingen zijn neerslag-afvoerrelaties onontbeerlijk. Er bestaat een breed scala van zulke relaties. De mate van bruikbaarheid ervan wordt bepaald door de te beantwoorden vragen enerzijds en de aard en omvang van de beschikbare gegevens anderzijds. De beschikbare gegevens kunnen zowel tijdreeksen van neerslag, verdamping, rivierafvoeren en grondwaterstanden zijn als fysisch-geografische gebiedsparameters. Beiden hebben hun mogelijkheden en beperkingen.

Het kunnen beschikken over langdurige tijdreeksen is niet altijd zo mooi als het lijkt. Maar al te vaak hebben zich gedurende de periode van waarneming, abrupte of geleidelijke, veranderingen in het hydrologisch regime voltrokken. Deze kunnen van natuurlijke aard zijn, zoals klimaatverandering, of het gevolg zijn van menselijk ingrijpen, zoals ontbossing, intensievere drainage of verstedelijking. Zolang er geen sprake is van verandering in het hydrologisch regime lenen zulke tijdreeksen zich uitstekend voor de bepaling van de parameters in de zogenaamde conceptuele modellen voor de relatie neerslag-afvoer. Daarvan bestaan er vele. De zogenaamde Nash cascade (figuur 1) is wellicht het meest bekende en sprekende voorbeeld hiervan.

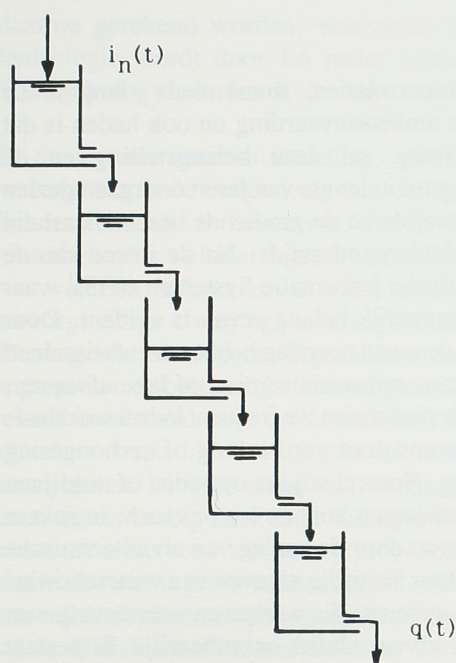


Fig.1. Nash cascade als voorbeeld van een conceptueel model

Van de Ven [1989] heeft zich, in zijn proefschrift, onder meer begeven in conceptuele modellen en mathematisch geformuleerde varianten daarvan voor enkele stedelijke stroomgebieden in vlak gebied. Hij onderzocht enkele verliesmodellen en enkele transformatiemodellen en kwam op grond daarvan tot interessante conclusies en aanbevelingen voor het ontwerp van riolen.

De parameters in conceptuele modellen hebben meestal geen directe fysische betekenis en soms wonderbare dimensies. Het vinden van relaties tussen zulke parameters of kenmerkende grootheden van afvoergolven en fysisch-geografische gebiedskenmerken behoort nog altijd tot de wensdroom van vele hydrologen.

Sri Harto [1985], bij wiens promotie aan de Universitas Gadjah Mada in Yogyakarta ik samen met prof. Pragnjono Mardjikoën als promotor optrad, onderzocht het verband tussen de kenmerkende grootheden van eenheids-afvoergolven en een grote verscheidenheid aan gebiedskenmerken voor een dertigtal stroomgebieden op Java. Door alle mogelijke verbanden te proberen kon hij vervolgens verbanden met hoge tot zeer hoge correlatiecoëfficiënten selecteren

voor praktische toepassing in stroomgebieden waarvan geen afvoergegevens maar wel gebiedskenmerken bekend zijn of eenvoudig bepaald kunnen worden. Terecht gaf hij daarbij aan dat hij de door hem gevonden relaties niet zonder meer buiten Java zou durven toepassen omdat daarin impliciet een aantal regionale condities zijn begrepen.

Als tijdreeksen van neerslag en afvoer ontbreken komen andere modellen in aanmerking, de zogenaamde fysisch onderbouwde modellen. Het zogenaamde SHE-model [Abbott et al., 1986 en Bathurst, 1986] is een voorbeeld daarvan bij uitstek. SHE staat voor *Système Hydrologique Européen*. Het afvoerproces is daarin opgedeeld in opeenvolgende deelprocessen, zoals interceptie, evapotranspiratie, infiltratie, oppervlakkige afstroming, stroming door de onverzadigde zône en de verzadigde zône van de bodem en uiteindelijk door de, in stroomafwaartse richting in afmeting toenemende, open wateren. De opeenvolgende deelprocessen worden in afzonderlijke modules beschreven, die vervolgens worden gekoppeld, zowel naar hun volgorde in het afvoerproces als in geografische zin. Een stroomgebied wordt daartoe onderverdeeld in elementen van bijvoorbeeld $500 \times 500 \text{ m}^2$ of $2 \times 2 \text{ km}^2$, zoals aangegeven in figuur 2.

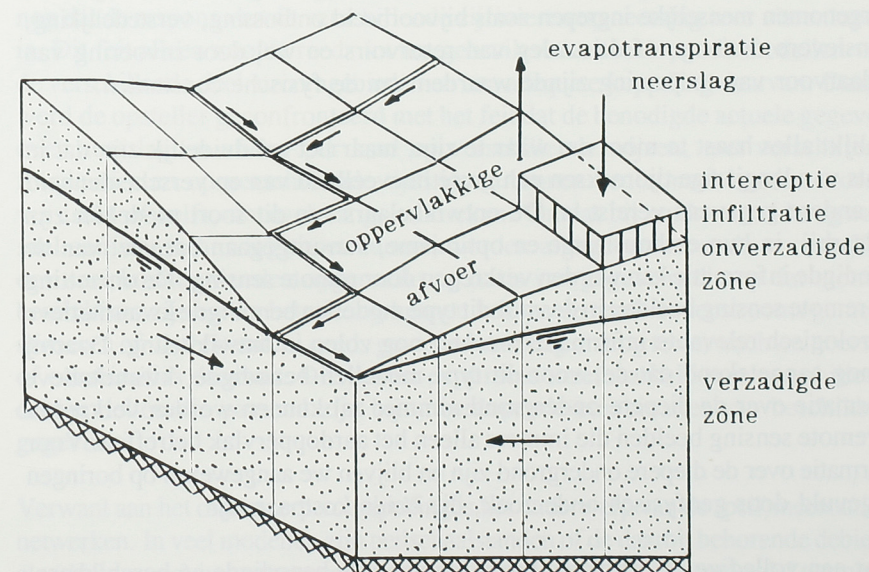


Fig.2. Schema van een fysisch onderbouwd model.

De deelprocessen worden gemodelleerd op basis van de daaraan ten grondslag liggende fysische wetten en de daarbij behorende constanten zoals die van Darcy voor het grondwater en die van Chezy voor waterlopen. Met de koppeling in geografische zin wordt de zijdelingse wisselwerking tussen de elementen voor het grondwater gerealiseerd alsook de seriële opeenvolging in de open waterlopen.

Dit type modellen heeft belangrijke voordelen ten opzichte van de eerder genoemde conceptuele modellen en de zogenaamde black-box modellen die op empirische relaties berusten. De belangrijkste voordelen zijn:

- Het is niet nodig te beschikken over langjarige tijdreeksen. Theoretisch - maar de praktijk leert anders - zou ijking zelfs niet nodig zijn. Dit lijkt vooral van belang voor toepassing in onderontwikkelde gebieden. Daar staat dan wel tegenover de noodzaak te beschikken over betrouwbare waarden van de benodigde fysische constanten. Daarover straks meer.
- Zulke modellen geven veel meer resultaten dan alleen de rivierafvoeren. Grondwaterstanden en bodemwatergehaltes zijn gewaardeerde bijproducten of kunnen zelfs hoofddoel zijn.
- Het is mogelijk andere modules toe te voegen zoals voor waterkwaliteit en sedimenttransport.
- Het is zelfs mogelijk te onderzoeken wat de gevolgen zullen zijn van voorgenomen menselijke ingrepen zoals bijvoorbeeld ontbossing, verstedelijking, intensievere drainage of de aanleg van reservoirs en wel door invoering van de daarvoor van toepassing zijnde waarden van de fysische constanten.

Dit lijkt alles haast te mooi om waar te zijn, maar het zal duidelijk zijn dat in plaats van langjarige tijdreeksen een grote hoeveelheid van en verscheidenheid aan andere gegevens vereist is. De ontwikkelaars van dit soort modellen zijn er daarbij, in hun enthousiasme en optimisme, van uitgegaan dat veel van de benodigde informatie kan worden verkregen door remote sensing. De omzetting van remote sensing beelden in de voor dit type modellen benodigde kwantitatieve hydrologisch relevante informatie is echter nog volop in ontwikkeling. Daarbij zij nog aangetekend dat de, voor dit type modellen benodigde, kwantitatieve informatie over de diepere ondergrond nimmer zal kunnen worden verkregen uit remote sensing beelden die immers alleen het aardoppervlak betreffen. Voor informatie over de diepere ondergrond zijn en blijven we aangewezen op boringen aangevuld door geofysisch onderzoek, die beide kostbaar zijn.

Voor een volledige en efficiënte benutting van alle benodigde en beschikbare, naar plaats gedifferentieerde, informatie zijn de inmiddels ingeburgerde Geografische Informatie Systemen van onschatbare waarde gebleken.

Ter afsluiting van deze korte verhandeling over fysisch onderbouwde modellen mag de navolgende kritische kanttekening niet onvermeld blijven. Elk model van een systeem is een gestyleerde weergave van de complexe realiteit. De hydrologische realiteit, met name de terreingesteldheid is dermate complex dat een hydraulisch zuivere beschrijving van de stroming van een dunne laag water over een hellend oppervlak met een, per element, uniforme helling en bodemruwheid bij voorbaat ridicul is; zulke elementen bestaan eenvoudig niet, zelfs als ze maar 1 m² groot zouden zijn. Met deze constatering zijn we, ter beschrijving van dit deelproces, weer terug bij de mogelijkheid van inbouw van een, waarschijnlijk veel eenvoudiger, module op conceptuele basis.

Uit het voorgaande moge wel duidelijk geworden zijn dat er, afhankelijk van het doel van de modellering, de aard van de beschikbare of te verzamelen gegevens en de ter beschikking staande faciliteiten, op verantwoorde, inventieve en/of creatieve wijze een model gekozen of ontwikkeld moet worden. Een goed voorbeeld hiervan is het promotieonderzoek van Berger [1992], waarin voorspellingsmodellen voor hoge en lage afvoeren op de Maas in Nederland zijn ontwikkeld. Het stroomgebied van de Maas ligt niet alleen in drie verschillende landen maar de hydrologisch relevante karakteristieken van deze drie delen zijn ook duidelijk verschillend. Voor het Belgische deel van het stroomgebied geldt bovendien nog dat de respons van de verschillende zijrivieren op neerslag zeer uiteenlopend is. Dit feit alleen noopte reeds tot het gebruik van uiteenlopende modellen voor de verschillende deel-stroomgebieden en een adequate koppeling daarvan. Daarbij werd de opsteller geconfronteerd met het feit dat de benodigde actuele gegevens over neerslag en afvoer per land op verschillende wijzen, met verschillende frequenties en op verschillende tijdstippen binnen een etmaal konden worden verstrekt of zelfs, onregelmatig, ontbreken. Omdat bij aankomend hoogwater snel een waarschuwing moet kunnen worden afgegeven moet de voorspelling ook snel kunnen worden opgemaakt op basis van gegevens die op dat moment beschikbaar zijn en die betrekking kunnen hebben op reeds bovenstrooms gemeten afvoeren of waterstanden, reeds gevallen neerslag en nog te verwachten neerslag of combinaties daarvan. Dit vereist de directe inzetbaarheid van verschillende deelmodellen die passend zijn bij uiteenlopende combinaties van beschikbare gegevens.

Verwant aan het onderwerp voorspelling is het onderwerp van de (peil)meetstation-netwerken. In veel modellen zijn peilschaalstanden of de daarbij behorende debieten als (deel van de) invoergegevens nodig en de modeluitvoer bestaat veelal tenminste uit debieten of de daarbij behorende peilschaalstanden op andere plaatsen en tijden. Deze modeluitvoer, als resultaat, moet vervolgens weer getoetst worden aan

waargenomen peilschaalstanden ter verificatie van het model. Van der Made [1988], die ons helaas ontvallen is, heeft zijn proefschrift gewijd aan een diepgaande analyse van de criteria voor het ontwerp en de exploitatie van peilschaal-netwerken voor oppervlaktewateren.

Ondergrondse verzilting

Het tweede onderwerp, de ondergrondse verzilting, is een troetelkind van mij geworden. Dat is als volgt gegaan. In mijn eerste betrekking, bij de toenmalige Dienst voor de Waterhuishouding van Rijkswaterstaat, werd ik belast met het geo-elektrisch onderzoek van het lage westelijke deel van ons land. Het onderzoek had als doel een globale inventarisatie van het voorkomen van zoet en zout water in de bodem tot een diepte van 200 à 300 m. De gebezigde geo-elektrische weerstandsmethode was hier bij uitstek geschikt voor omdat de specifieke elektrische weerstand van de met grondwater verzadigde bodem in hoge mate wordt bepaald door het zoutgehalte van het water in de poriën. Deze opdracht heeft mij geïnspireerd tot het onderwerp van mijn proefschrift [van Dam, 1964], de ontwikkeling van een eenvoudige methode voor het berekenen van de zogenaamde standaardkrommen voor de interpretatie van in het terrein gemeten weerstandskrommen. Behalve dit wiskundige vraagstuk heeft het resultaat, de verdeling van zoet en zout water in de bodem, mij geïntrigeerd. Deze verdeling is primair bepaald door de geologische voorgeschiedenis, en vervolgens door menselijke ingrepen zoals:

- onttrekking van grondwater, al of niet in combinatie met kunstmatige aanvulling van grondwater met zoet oppervlaktewater;
- aanleg van droogmakerijen;
- verlaging van polderpeilen;
- afsluiting van de voormalige Zuiderzee en andere zeearmen;
- aanleg van de IJsselmeerpolders.

Het is geenszins zeker en zelfs onwaarschijnlijk dat er al een toestand van dynamisch evenwicht -waaronder wordt verstaan een toestand met stationaire grondwaterstroming waarin de verdeling van zoet en zout water in de bodem niet verandert - tot stand zou zijn gekomen voordat de eerste menselijke ingrepen plaatsvonden, in de vroege middeleeuwen.

De gevolgen van menselijke ingrepen, in het bijzonder die van de aanleg van droogmakerijen in de Gouden Eeuw en later en de aanleg van de IJsselmeerpolders in deze eeuw zijn groot. Het grondwaterstromingspatroon is daardoor ingrijpend gewijzigd. Het grondwater trekt naar de diepe polders, als grote depressies, gestileerd weergegeven in figuur 3 en kwelt daar op [van Dam, 1976].

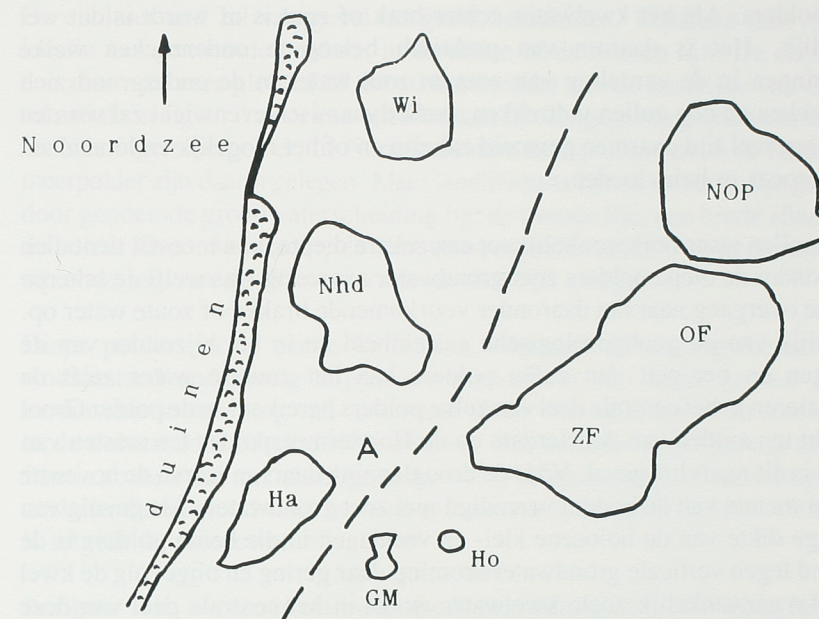


Fig.3. Gestileerde ligging van de diepe polders in het noordwesten van Nederland.

Diepe polders in de eerste lijn:

- Wi = Wieringermeerpolder
- Nhd = Noordhollandse droogmakerijen
- Ha = Haarlemmermeerpolder

Diepe polders in de tweede lijn:

- NOP = Noordoostpolder
- OF = Oostelijk Flevoland
- ZF = Zuidelijk Flevoland
- Ho = Horstermeerpolder
- GM = polder Groot Mijdrecht

Als gevolg van de hoge weerstand van de holocene klei- en veenlagen tegen verticale stroming is de intensiteit van de kwel in verreweg de meeste van deze polders gering, veelal niet meer dan 1 à 2 mm/dag. De intensiteit van de kwel baart dan ook geen grote zorgen, noch voor de benodigde bemalingscapaciteit, noch voor het aantal maaluren. Zolang de kwel zoet is kan het kwelwater 's zomers zelfs een welkome aanvulling zijn op de inkomende termen in de waterbalans

van de polders. Als het kwelwater echter brak of zout is of wordt is dat wel bezwaarlijk. Het is daarom van praktisch belang te onderzoeken welke veranderingen in de verdeling van zoet en zout water in de ondergrond zich nu voltrekken en nog zullen voltrekken, welk dynamisch evenwicht zal worden bereikt, hoeveel tijd daarmee gemoeid zal zijn en of het mogelijk en lonend zal zijn dit proces te beïnvloeden.

In die gevallen waar oorspronkelijk tot een zekere diepte, van meestal tientallen meters, onder de diepe polders zoet grondwater aanwezig was welft de scherpe of diffuse overgang naar het daaronder voorkomende brakke of zoute water op. Afhankelijk van de geohydrologische gesteldheid en in het bijzonder van de afmetingen en het peil van zulke polders kan het zoutere water zelfs de polderwateren in het centrale deel van zulke polders bereiken. In de polder Groot Mijdrecht ten zuiden van Amsterdam en de Horstermeerpolder ten westen van het Gooi is dit reeds het geval. Vóór de drooglegging daarvan waren de bovenste tientallen meters van de bodem verzadigd met zoet grondwater. Als gevolg van de geringe dikte van de holocene klei- en veenlagen in die beide polders is de weerstand tegen verticale grondwaterstroming daar gering en bijgevolg de kwel groot. Het aanvankelijk zoete kwelwater wordt in het centrale deel van deze polders reeds geruime tijd gevolgd door het relatief snel omhooggekomen brakke of zoute grondwater. Dit proces voltrekt zich ook in de, nog geen anderhalve eeuw oude, Haarlemmermeerpolder, maar veel langzamer omdat de weerstand tegen verticale grondwaterstroming daar veel groter is. Onder de oude droogmakerijen in Noord-Holland is nooit erg zoet grondwater aanwezig geweest.

In die gevallen waar oorspronkelijk geen zoet grondwater aanwezig was, zoals in de Wieringermeerpolder en in grote delen van de meer oostelijk gelegen IJsselmeerpolders, was het kwelwater uiteraard vanaf de aanleg van zulke polders brak of zout. Heel langzaam wordt het als kwel uittredende brakke of zoute grondwater daar gevolgd door zoet water dat sedert de aanleg inzigt in de bodem van de aangrenzende open wateren en zich na enige tijd manifesteert als zoete kwel in een, langzaam in breedte toenemende, strook aan de polderzijde van de dijk.

Wat ook de uitgangstoestand was, de eindtoestand wordt eerst bereikt nadat immense volumes grondwater zijn uitgewisseld. Door de zeer lage snelheden waarmee grondwater stroomt wordt de eindtoestand pas benaderd na een tijdsbestek dat eerder in eeuwen dan in dekaden wordt uitgedrukt. De profeet die hier aan het woord is hoeft daardoor niet voor zijn leven te vrezen.

De eindtoestand zal van geval tot geval verschillen. Bepalend daarvoor is de locatie van genoemde polders, in de eerste of de tweede lijn. De eerste lijn is een zône van zeer globaal 25 tot 40 km breedte aan de landzijde van de duinen tot aan de in figuur 3 door een onderbroken lijn aangegeven grondwaterscheiding. De Wieringermeerpolder, de Noordhollandse droogmakerijen en de Haarlemmermeerpolder zijn daarin gelegen. Meer landinwaarts en van de eerste lijn gescheiden door genoemde grondwaterscheiding ligt de tweede lijn, een brede zône, waarin de polder Groot Mijdrecht, de Horstermeerpolder en de IJsselmeerpolders met uitzondering van de Wieringermeerpolder zijn gelegen.

Diepe polders in de eerste lijn zullen, ongeacht de uitgangstoestand, in de eindtoestand onderhevig blijven aan zoute kwel, die wordt gevoed door een landinwaartse stroming van zout water uit de Noordzee onder de zoetwaterlens in de duinen door of uit de Waddenzee. Het verloop in de tijd van de volume fractie zoute kwel met als uitgangspunt, bij drooglegging, de aanwezigheid van uitsluitend zout grondwater is uiterst globaal weergegeven in figuur 4. De tijdschaal is uitgedrukt in eeuwen.

In figuur 5 is, eveneens uiterst globaal, het verloop in de tijd weergegeven van de volume fractie zoute kwel in die gevallen waarin in de uitgangstoestand, bij drooglegging, een dikke laag zoet grondwater aanwezig was boven zout grondwater op grotere diepte.

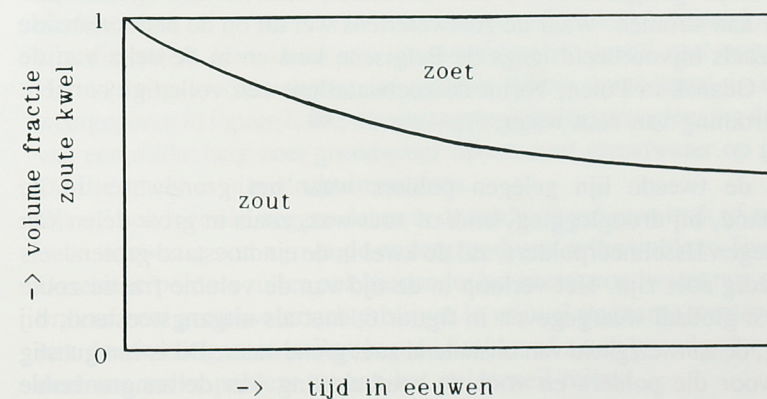


Fig. 4. Fractie zoute kwel als functie van de tijd voor diepe polders in de eerste lijn, waaronder bij drooglegging uitsluitend zout grondwater aanwezig was.

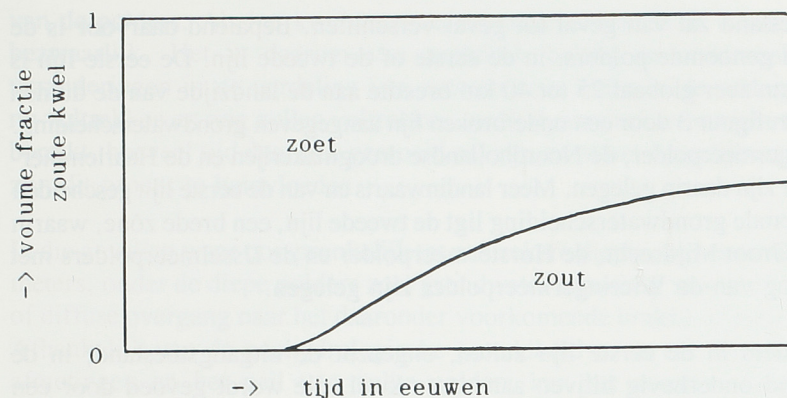


Fig. 5. Fractie zoute kwel als functie van de tijd voor diepe polders in de eerste lijn, waaronder bij drooglegging een dikke laag zoet grondwater aanwezig was boven zout grondwater op grotere diepte.

Bij stijging van de zeespiegel zal de blijvende brakke of zoute kwel zelfs toenemen. In nog lopend promotieonderzoek wordt dit nader onderzocht. De toestroming van zout water uit de Noordzee is mogelijk doordat de zoetwaterlens in de duinen niet tot op de dieper gelegen ondoorlatende basis reikt, zodat het zoute grondwater er onderdoor kan stromen. Waar de zoetwaterlens wel tot op de ondoorlatende basis reikt, zoals bijvoorbeeld langs de Belgische kust en in de delta van de Weichsel bij Gdansk in Polen, vormt de zoetwaterlens een volledige barrière tegen de instroming van zout water.

Voor de in de tweede lijn gelegen polders waar het grondwater in de uitgangstoestand, bij drooglegging, brak of zout was, zoals in grote delen van de daarin gelegen IJsselmeerpolders, zal de kwel in de eindtoestand grotendeels of zelfs volledig zoet zijn. Het verloop in de tijd van de volume fractie zoute kwel is uiterst globaal weergegeven in figuur 6, met als uitgangstoestand, bij drooglegging, de aanwezigheid van uitsluitend zout grondwater. Dit is een gunstig perspectief voor die polders en voor de zoutbelasting van de aangrenzende oppervlaktewateren door uitslag van polderwater daarop. Dit wil overigens niet zeggen dat er in de eindtoestand geen brak of zout grondwater meer aanwezig zou zijn in de ondergrond van zulke polders. Onder het zoete grondwater zullen nog grote volumina brak of zout grondwater achterblijven. Afhankelijk van de

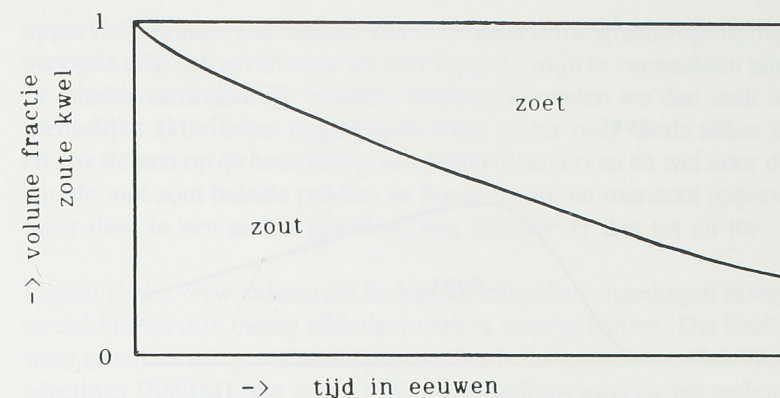


Fig. 6. Fractie zoute kwel als functie van de tijd voor diepe polders in de tweede lijn, waaronder bij drooglegging uitsluitend zout grondwater aanwezig was.

afmetingen en peilen kan het in de ondergrond achterblijvende brakke of zoute grondwater in het centrale deel van zulke polders zelfs tot aan het polderpeil reiken. Dit laatste geldt ook voor de polders Groot Mijdrecht en de Horstermeerpolder. In de uitgangstoestand was daar uitsluitend zoete kwel. In het centrale deel van die polders werd deze later brak of zout en is dat nu nog. In de eindtoestand zal er ook in die polders grotendeels of uitsluitend nog zoete kwel zijn die wordt gevoed door in de omgeving inzijgend zoet oppervlaktewater. Het verloop in de tijd van de volume fractie zoute kwel is uiterst globaal weergegeven in figuur 7, met als uitgangstoestand bij drooglegging de aanwezigheid van een dikke laag zoet grondwater boven zout grondwater op grotere diepte. De tijdschaal is uitgedrukt in eeuwen.

Dit wil ook hier niet zeggen dat er in de eindtoestand geen brak of zout grondwater meer aanwezig zou zijn in de ondergrond van zulke polders. Evenals onder de IJsselmeerpolders zullen ook hier onder het zoete grondwater nog grote volumina brak of zout grondwater achterblijven in vrijwel stagnante toestand. Afhankelijk van de afmetingen en peilen kan dit brakke of zoute grondwater in het centrale deel van zulke polders tot aan het polderpeil reiken.

Om de gevolgen van deze veranderingen, waar die nadelig zijn, te bestrijden kan men zich richten op die gevolgen maar liever nog op de oorzaken daarvan.

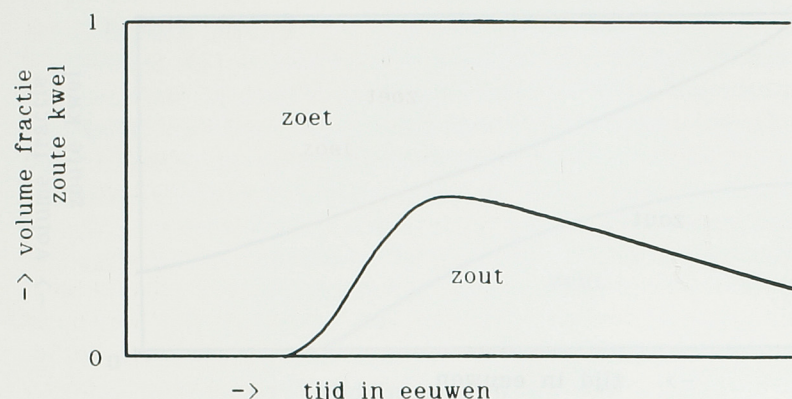


Fig. 7. Fractie zoute kwel als functie van de tijd voor diepe polders in de tweede lijn, waaronder bij drooglegging een dikke laag zoet grondwater aanwezig was boven zout grondwater op grotere diepte.

De oorzaken, in termen van de aanwezigheid van diepe polders, kunnen niet weggenomen worden; met het opgeven van een polder is niet alleen het probleem weg maar ook de polder. Aan het installeren van ondoorlatende wanden in de watervoerende pakketten valt evenmin te denken, gezien de grote dikte van de watervoerende pakketten en de daardoor vereiste lengte van zulke wanden. Als het probleem al technisch oplosbaar zou zijn zouden toch zeker de daarmee gemoeide kosten een onoverkomelijke belemmering zijn. Andere mogelijke oplossingen zouden kunnen bestaan uit beïnvloeding van de stromingen van zoet of zout grondwater door kunstmatige infiltratie van zoet grondwater of door het wegpompen van zout grondwater. Kunstmatige infiltratie wordt sinds de vijftiger jaren toegepast in onze duinen ten behoeve van de winning van zoet grondwater. De zoetwater lens reikt evenwel niet diep genoeg om de instroming van zout grondwater daaronder af te sluiten. Daarvoor zou de kunstmatige infiltratie tot een veelvoud van de huidige omvang vergroot moeten worden. Kunstmatige infiltratie is, overigens met een ander doel, beperking van de zettingsschade, ook onderzocht om schadelijke gevolgen van een eventuele aanleg van de Markerwaard te voorkomen. Oppompen van zout grondwater roept weer een ander probleem op en wel dat van: waar lozen we het? Zelfs bij ontzouting ervan blijft het probleem van de lozing van het brijn. Daardoor lijkt de mogelijkheid tot oppompen van zout grondwater beperkt tot locaties nabij zout

oppervlaktewater. Een nadeel van deze geohydrologische oplossingen is dat de beoogde effecten ervan eerst op zeer lange termijn te verwachten zijn, waardoor ze minder aantrekkelijk worden. Misschien moeten we dan toch wel het door menselijke activiteiten opgeroepen zoute water over Gods akker laten komen en ons richten op de bestrijding van de gevolgen ervan en wel door doorspoeling van de met zout belaste polder- en boezemwateren met zoet oppervlaktewater, maar dan, in een aantal gevallen, nog intensiever dan tot nu toe.

Het zal U niet verwonderen dat ik deze inzichten heb uitgedragen in mijn onderwijs en dat hieruit ook menig afstudeerwerk is voortgekomen. Dat heeft vervolgens weer geleid tot een groot aantal presentaties in de zogenaamde Salt Water Intrusion Meetings [SWIM], die sinds 1967 tweejaarlijks worden gehouden, tot dusver in West Europese landen, waaronder tot tweemaal toe, in 1970 en in 1986, in Nederland. Aan de SWIM wordt deelgenomen door een informele groep met een vaste kern, waartoe ik mijzelf mag rekenen en een wisselend aantal incidentele deelnemers. Met vaderlandse trots mag ik vaststellen dat de deelname en de wetenschappelijke inbreng van Nederlandse zijde hierin altijd zeer groot is.

In tegenstelling tot het vorige onderwerp zijn er geen proefschriften te vermelden die in het bijzonder betrekking hadden op het onderwerp van de ondergrondse verzilting. Van der Veer [1978] en van der Weiden [1988, met collega de Hoop als eerste promotor] begaven zich in de modellering van grondwaterstroming; de stroming van grondwater met verschillende dichtheden was daarbij inbegrepen. Van der Veer beschreef met behulp van analytische functies op exacte wijze twee-dimensionale stationaire en niet-stationaire grondwaterstromingsbeelden binnen een benaderde rand. Van der Weiden ontwikkelde, met behulp van randintegraalvergelijkingen, een methode ter beschrijving van drie-dimensionale stationaire grondwaterstroming. Zijn werk leent zich voor uitbouw voor niet-stationaire gevallen. Voor praktische toepassing in, de doorgaans in de geohydrologie voorkomende, complexe configuraties moet nog aanvullende programmering worden verricht.

Savenije [1992] begaf zich, in zijn proefschrift, in de indringing van zout water in alluviale estuaria met volledige menging; derhalve oppervlaktewater en geen grondwater.

Uitdagingen

In recente tijden hebben de hydrologen zich, veelal in samenspel met wetenschappers uit velerlei verwante of aangrenzende disciplines, bezonnen op:

- de opgaven voor de nabije en verdere toekomst [COWAR/UNESCO, 1993; Dooge et al, 1991; International Conference on Water and the Environment, 1992; International Hydrological Programme, 1993; UNESCO/WMO/ICSU, 1993; WMO, 1992];

- de daarvoor vereiste ontwikkelingen in de hydrologische wetenschap [Burges and others, 1986; COWAR/UNESCO, 1993; Eagleson, 1991; Falkenmark, 1989; International Hydrological Programme, 1990 1991 en 1993; Nash, 1990, National Research Council, 1991; UNESCO/WMO/ICSU, 1993; WMO 1992] en

- de opleiding tot hydroloog en de verspreiding van kennis [COWAR/UNESCO, 1993; IAHS/UNESCO Panel on hydrological education; International Hydrological Programme, 1990, 1991 en 1993; Nash, 1990; National Research Council, 1991; UNESCO/WMO/ICSU, 1993; WMO, 1992].

De huidige problemen van (grond)waterverontreiniging en verdroging door overmatige grondwateronttrekking en drainage zullen nog lang en veel aandacht blijven vragen. In het integraal waterbeheer wordt momenteel zeer veel aandacht besteed aan de ecologische gevolgen hiervan. Als verbindende schakel is de ecohydrologie opgekomen die zich snel ontwikkelt.

Naast de actuele problemen zullen de hydrologische en waterhuishoudkundige gevolgen van de zich voltrekkende verandering van het klimaat en de daarmee samenhangende stijging van de zeespiegel veel aandacht vragen. Klimaatveranderingen en zeespiegelfluctuaties zijn in het verleden meer regel dan uitzondering geweest. Zij voltrokken zich uiterst langzaam. De huidige veranderingen zijn mede bepaald door menselijk handelen en voltrekken zich ook sneller. Terecht wordt er momenteel onderzocht wat de hydrologische gevolgen van de klimaatverandering en zeespiegelstijging zouden kunnen zijn. Daarbij valt te denken aan een andere verdeling van de neerslag en de verdamping over het jaar waardoor de behoefte aan aanvullende watervoorziening kan veranderen. Niet alleen de behoefte aan water kan veranderen; ook het aanbod kan veranderen. Door veranderende afvoerregimes van rivieren, kan het leveringsvermogen van die rivieren en de daarin voorkomende reservoirs veranderen. Ook de hoge afvoeren, die worden bepaald door hoge neerslagintensiteiten in korte perioden, kunnen veranderen met alle gevolgen van dien voor onze veiligheid. De hydrologische onderzoekers worden hierbij geconfronteerd met het feit dat de klimatologen nog geen harde uitspraken kunnen doen, zeker niet over het weer;

het klimaat is immers nog maar gemiddeld weer. Daarom moeten de hydrologen, vooralsnog grote, marges in hun uitkomsten aangeven en daarbij een analyse van de gevoeligheden van hun uitkomsten voor de gebezigde klimaatparameters. Toch zijn deze ogenschijnlijk povere resultaten van groot nut en wel omdat zij omgekeerd aanwijzingen zijn voor aandachtspunten voor de klimatologen.

Een interessante uitdaging is ook de koppeling van de resultaten van de grootschalige Global Circulation Models (GCM) waarmee de meteorologen en klimatologen werken en van remote sensing beelden met de resultaten van het doorgaans relatief kleinschalige werk van de hydrologen in de stroomgebieden, waaronder de proefgebieden die daardoor weer meer in de belangstelling komen.

Naast deze zeer bijzondere uitdagingen voor de hydrologen staan zij onder druk door een sterk groeiende wereldbevolking, waardoor enerzijds de behoefte aan water van goede kwaliteit toeneemt en hogere eisen aan de bescherming tegen water worden gesteld en anderzijds de kwetsbaarheid van de watervoorkomens toeneemt. Illustratief hiervoor zijn de aanduidingen voor de vierde en de vijfde fase (1990-1995 respectievelijk 1996-2001) van het Internationaal Hydrologisch Programma van UNESCO, die luiden: 'Hydrology and water resources for sustainable development in a changing environment' en 'Hydrology and water resources development in a vulnerable environment'.

Het is evident dat de op toepassing gerichte Delftse hydroloog moet zijn en worden toegerust met kennis van de hydrologische processen.

Enkele ontboezemingen

Na de korte bloemlezing uit het vak en de signalering van de uitdagingen wil ik nu graag nog enkele ontboezemingen te berde brengen over de verwerving en de overdracht van hydrologische kennis in en door de Nederlandse universitaire wereld en de TU Delft in het bijzonder.

De eerste daarvan heeft betrekking op de uitoefening van het ambt van voltijds hoogleraar hydrologie/waterhuishouding. Daarvan zij allereerst en met nadruk vastgesteld dat het uitdragen van kennis aan jonge mensen en het verrichten en begeleiden van onderzoek een vreugde is. Dit brengt met zich mee dat bijzonder veel relaties moeten worden onderhouden, intern, maar ook extern om op de hoogte te blijven van de ontwikkelingen in het onderzoek elders en de toepassingen in de beroepspraktijk. Van de vele mogelijkheden en contacten die ik daartoe heb mogen aangrijpen wil ik slechts enkele met name noemen. De eerste daarvan,

is uiteraard de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO (CHO-TNO), waarvan ingewijden weten hoezeer deze sinds 1946, onder de paraplu van TNO, een unieke, communicerende en bundelende rol heeft vervuld met zijn vele werkgroepen, technische en studie-bijeenkomsten en ook hoe nauw die mij aan het hart ligt.

Als tweede noem ik het Instituut voor Grondwater en Geo-Energie (IGG) dat, in opeenvolgende stappen, is voortgekomen uit initiatieven van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO. Dit instituut is uitgegroeid tot toonaangevend nationaal onderzoeksinstituut voor grondwater en geo-energie en beschikt over een, volgens de modernste technieken geautomatiseerd, gegevensbestand van alle mogelijke grondwatergegevens in Nederland. In mijn relatie met het IGG vond ik veel kennis en informatie en bovendien inspiratie om die beiden weer uit te dragen aan de studenten. Overigens is menig afstudeerwerk voortgekomen uit contacten met afgestudeerden in vele diensten en instellingen en hebben veel afgestudeerden vervolgens daardoor een plaats in de beroepspraktijk gevonden.

Als volgende noem ik de Commissie voor de milieu-effectrapportage (MER). Veel milieu-effecten hebben betrekking op het water. De aanleg van een hoge snelheids-spoorlijn bijvoorbeeld geeft, in horizontale richting, een doorsnijding van bestaande waterhuishoudingssystemen en, in verticale zin, bij de bouw van tunnels, tijdelijke en mogelijk zelfs blijvende effecten op de stand en de stroming van het grondwater met alle gevolgen van dien voor de daling van het maaiveld, zetting van en mogelijk schade aan gebouwen en infrastructurele werken, verdroging met als gevolg schade aan landbouwgewassen en aan natuurterreinen. Voor de voorspelling en beoordeling van deze effecten is hydrologische expertise, in samenspel met daarop voortbouwende disciplines onontbeerlijk.

Tenslotte zal het U niet verwonderen dat mijn lidmaatschappen van de Klimaatcommissie van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen en van de werkgroep voor het project 'Study of the relationship between climate change (and climate variability) and hydrological regimes affecting water balance components' van het International Hydrological Programme van UNESCO vruchtbare bronnen van kennis zijn geweest en waarin ik, omgekeerd, mijn inbreng hoop te continueren.

De tweede ontboezeming betreft het Integraal Waterbeheer. In korte tijd is deze uitdrukking een geveugeld woord geworden. Niets nieuws omdat goed waterbeheer per definitie integraal behoort te zijn. Wel nieuw vanwege de bewustwording en de meer expliciete en ook kwantitatief onderbouwde formulering van veel meer

belangen dan in het verleden enerzijds, en een betere kennis van de watersystemen als grondslag voor de fuctietoekenning anderzijds. De kennis en informatie die ik hierover opdeed, in contacten met de beoefenaren van het integraal waterbeheer in gebieden van sterk uiteenlopende signatuur en grootte, en uitdroeg in een speciaal daaraan gewijd keuzecollege vond gretig aftrek bij de studenten. Het is in dit verband verheugend dat deze taakuitbreiding sinds kort is overgenomen door een tweetal deeltijdshoogleraren die daartoe, door hun werkgevers uit de beroepspraktijk van het integraal waterbeheer, in de gelegenheid worden gesteld en bovendien door een medewerker worden ondersteund. Hun leeropdrachten luiden respectievelijk 'integraal waterbeheer' en 'modellering waterbeheer'. Ongeveer gelijktijdig, en deels in samenhang daarmee, zijn een aantal eerder ingediende projectvoorstellen gehonoreerd waardoor een groot aantal assistenten in opleiding kan worden aangesteld om onderzoek op het terrein van het integraal waterbeheer te verrichten waarvan verwacht mag worden dat het zal resulteren in promoties. De TU Delft-stimuleringsmiddelen die eerder voor het onderzoek ten behoeve van het integraal waterbeheer werden toegekend en enige jaren geleden hebben geresulteerd in de oprichting van de interfacultaire Werkgemeenschap Integraal Waterbeheer, waarvan ik het voorzitterschap tot voor kort mocht bekleden, hebben hier duidelijk als katalysator gewerkt.

De derde ontboezeming betreft de nu in behandeling zijnde aanvraag tot erkenning van de Interuniversitaire Onderzoekschool 'Hydrologie voor Water- en Milieubeheer' door de universiteiten van Amsterdam (VU), Delft, Groningen en Wageningen met Delft als penvoerder. Door de complementaire in- en uitvalshoeken van de aanvragers ligt een bundeling van hydrologische krachten in de Nederlandse universitaire wereld voor de hand. De uitstekende onderlinge relaties hebben reeds geleid tot de oprichting van een interuniversitair a.i.o.-netwerk hydrologie.

De laatste ontboezeming is een pleidooi voor meer ruimte voor onderwijs in de geologie aan studenten in de civiele techniek. Mede door mijn betrokkenheid bij promotieonderzoek in de Faculteit der Mijnbouwkunde en Petroleumwinning ben ik meer dan ooit overtuigd geraakt van de noodzaak daarvan. De civiel-ingenieur geohydroloog kan niet zonder kennis van de geologie waar de uitgestrektheid van formaties en de doorlatendheden daarvan in het geding zijn. Niet alleen voor de geohydroloog maar ook voor de bouwende civiel-ingenieur is kennis van de geologie onontbeerlijk voor een goed begrip van de stabiliteit van zijn bouwsels. Hetzelfde geldt voor de beoefenaars van de ruimtelijke ordening; zij immers moeten rekening houden met de mogelijkheden en beperkingen van de ondergrond.

Besluit

Nu het einde van mijn afscheidsrede nadert vraagt U zich wellicht met enige nieuwsgierigheid af of ik nog speciale boodschappen heb uit te dragen of uitzonderlijke ervaringen zou willen melden. Dat zal ik niet doen. Als hydroloog ben ik vertrouwd geraakt met onzekerheden, zoals het al of niet optreden van neerslag, vertragingstijden, zoals bij veranderingen in de verdeling van zoet en zout water in de ondergrond, en extreme gebeurtenissen als hoogwater en perioden van uitzonderlijke droogte. Zo is het ook met de gelijkenissen daarvan in het reilen en zeilen van onze Technische Universiteit, de Faculteit der Civiele Techniek, de vakgroep Gezondheidstechniek & Waterbeheersing en de groep hydrologie/waterhuishouding. U kunt de gelijkenissen ook zelf wel bedenken.

In hydrologische tijdreeksen zijn veelal trends en cycli te onderkennen. In overdrachtelijke zin geldt dit evenzeer voor de gebeurtenissen in ons universitaire leven. Daarbij valt te denken aan de trend van nimmer aflatende bezuinigingen. Cycli komen voor met een groot scala van periodiciteiten. Om er enkele te noemen: de noodzakelijke vernieuwingen in het onderwijsprogramma om daarmee in te spelen op de ontwikkelingen in kennis, met een periodiciteit van enkele jaren, en de mentaliteit van de studenten, die ik heb mogen meebeleven van een dieptepunt in het begin van de zeventiger jaren tot een nog steeds opgaande lijn van interesse, openheid en prettige contacten. Ik denk daar met veel plezier aan terug.

Alvorens te eindigen wil ik nu mijn grote erkentelijkheid uitspreken aan de initiatiefnemers tot en de sprekers op het symposium 'Veranderingen in het hydrologisch klimaat' dat vandaag, ter gelegenheid van mijn afscheid, aan deze afscheidsrede voorafging. De sympathie die daaruit sprak zal mij levenslang bijblijven. Heel hartelijk dank daarvoor.

Nu onze wegen scheiden wens ik U, leden van de Delftse universitaire gemeenschap, veel goeds toe in Uw studie aan of werk in de Technische Universiteit. In het bijzonder geldt dit laatste mijn naaste medewerkers.

Voor ons, mijn vrouw en mij, breekt een nieuw tijdperk aan waarvan wij ons nog heel veel voorstellen. Ik wil eindigen met hier mijn dank uit te spreken aan mijn lieve vrouw voor haar nimmer aflatende steun.

Het formele deel van deze plechtigheid is hiermee ten einde, met de bedoeling hierna nog ruim de gelegenheid te hebben om onze uitdrukkelijke wens in

vervulling te kunnen laten gaan, en wel om in informele sfeer persoonlijk afscheid van U te kunnen nemen.

Ik dank U voor Uw aanwezigheid en Uw hooggewaardeerde aandacht.

Literatuur

Abbott, M.B. et al.

An Introduction to the European Hydrological System - Système Hydrologique Européen, 'SHE',

1. History and Philosophy of a physically based, distributed modelling system

2. Structure of a physically based, distributed modelling system

Journal of Hydrology, 87 (1986), pp 45-59 and 61-77

Bathurst, J.C.

Physically based distributed modelling of an upland catchment using the Système Hydrologique Européen and

Sensitivity analysis of the Système Hydrologique Européen for an upland catchment

Journal of Hydrology, 87 (1986), pp 79-102 and 103-123

Berger, H.E.J.

Flow Forecasting for the River Meuse

Proefschrift TU Delft, 1992

Burges, S.J. and others

Trends and Directions in Hydrology

Water Resources Research, Volume 22, August 1986, Supplement Number 9

Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO

Verklarende Hydrologische Woordenlijst

CHO-TNO Rapporten en Nota's No. 16, 1986

COWAR/UNESCO

Water in our common future

A Research Agenda for Sustainable Development of Water Resources

Report prepared for the Committee on Water Resources (COWAR)

COWAR/UNESCO, Paris, april 1993

Dam, J.C. van

A simple method for the calculation of standard-graphs to be used in geo-electrical prospecting

Proefschrift TH Delft, Uitgeverij Waltman, Delft, 1964

Dam, J.C. van

Partial depletion of saline groundwater by seepage

Journal of Hydrology, Vol. 29, nr. 3/4, pp. 315-339, 1976

Dam, J.C. van, and P.C. Sikkema

Approximate solution of the problem of the shape of the interface in a semi-confined aquifer

Journal of Hydrology, Vol. 56, p. 221-237, 1982

Dam, J.C. van

Problems associated with saltwater intrusion into coastal aquifers and some solutions

Proceedings of the ILT Seminar on Problems of Lowland Development
Institute of Lowland Technology, Saga University, Japan, 1992

Dooge, J.C.I. et al, editors

An Agenda of Science for Environment and Development into the 21st Century, based on a Conference held in Vienna, Austria in November 1991

Cambridge University Press, Cambridge, 1992

hiervan in het bijzonder:

Chapter 10. Fresh water Resources

by N.B. Ayebotele and M. Falkenmark

Eagleson, P.S.

Global Change, A Catalyst for the Development of Hydrologic Science

Bulletin American Meteorological Society, Vol. 72, No.1, January 1991

Falkenmark, M.

Hydrological Phenomena in Geosphere-Biosphere Interactions Outlooks to Past, Present and Future

Monographs and Reports, No. 1

International Association of Hydrological Sciences (IAHS) in cooperation with the International Institute for Hydraulic

and Environmental Engineering (IHE), Wallingford, 1989

IAHS/UNESCO Panel on hydrological education (J.E. Nash; P.S.Eagleson;
J.R. Philip and W.H. van der Molen)
The education of hydrologists
Hydrological Sciences Journal, Vol. 35, number 6, December 1990, pp.
597-607

International Conference on Water and the Environment
Development issues for the 21st century
The Dublin Statement and Report of the Conference
Dublin, Ireland, January 1992

International Hydrological Programme
Hydrology and water resources for sustainable development in a changing
environment
Detailed Plan for the fourth phase of the IHP (1990-1995) as approved
by the IHP Council at its Ninth Session (Paris, 19-24 March 1990)
UNESCO, Paris, 1990

International Hydrological Programme
International Symposium to commemorate the 25 years of IHD/IHP,
convened by UNESCO, 15-17 March 1990
UNESCO, Paris, 1991

International Hydrological Programme
Hydrology and water resources development in a vulnerable environment
An outline of the fifth phase (1996-2001) of the IHP
UNESCO, Paris, March 1993

Klemes, V. en anderen
Discussions in the Newsletters van de International Association of
Hydrological Sciences
No.'s 39-41, May, September en December 1990

Lo, Shuh-shiaw
Glossary of Hydrology
Water Resources Publications, Littleton, Colorado, 1992

Made, J.W. van der
Analysis of some criteria for design and operation of surface water gauging
networks
Proefschrift TU Delft, 1988

Nash, J.E.
Hydrology and Hydrologists
Lecture at the closing session of the academic year of IHE, Delft, 1990

National Research Council
Opportunities in the Hydrologic Sciences
National Academy Press, Washington, D.C., 1991

Proceedings van de Salt Water Intrusion Meetings,
tweejaarlijks sinds 1967

Savenije, H.H.G.
Rapid Assessment Technique for Salt Intrusion in Alluvial Estuaries
Proefschrift TU Delft, 1992

Sikkema, P.C., and J.C. van Dam
Analytical formulae for the shape of the interface in a semiconfined aquifer
Journal of Hydrology, Vol. 56, pp. 201-220, 1982

Sri Harto, Br.
A study of the unit hydrograph basic characteristics of rivers on the island
of Java for flood estimation
Proefschrift Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 1985

UNESCO/WMO/ICSU
International Conference on Hydrology towards the 21st Century: Research
and Operational Needs, Paris, 22-27 March 1993

Veer, P. van der
Calculation Methods for Two-dimensional Groundwater Flow
Proefschrift TH Delft, 1978

Ven, F.H.M. van de
Van neerslag tot rioolloop in vlak gebied
Proefschrift TU Delft, 1989

Weiden, R.M. van der

Boundary integral equations for the computational modeling of three-dimensional steady groundwater flow problems

Proefschrift TU Delft, 1988

World Meteorological Organization (WMO)

The WMO Hydrology and Water Resources Programme 1992-2001

Third WMO Long-Term Plan, Part II, Volume 5

WMO-No.765, WMO, Geneve, 1992