

Korte termijn voorspellingen waterstand en afvoer Bovenrijn te Lobith

1. Inleiding

Rijkswaterstaat-RIZA voorspelt dagelijks de waterstanden en afvoeren van de Bovenrijn te Lobith en maakt deze voorspellingen bekend via radio en teletekst. De voorspellingen worden gemaakt met behulp van het model Lobith. Dit model bestaat uit een verzameling meervoudige lineaire regressiemodellen. Hiermee kunnen de waterstanden en afvoeren tot 4 dagen vooruit voorspeld worden.



IR. G. A. P. H. v. d. EERTWEGH
Landbouwuniversiteit
Wageningen
Vakgroep Waterhuishouding



ING. A. L. MUGIE
Rijkswaterstaat-RIZA

In verband met de betrouwbaarheid van de voorspellingen worden echter alleen de eerste en tweede dag voorspellingen openbaar gemaakt.

De korte termijn voorspellingen zijn voor diverse belangengroepen van grote waarde. Bij lage waterstanden zijn de voorspellingen vooral belangrijk voor de scheepvaart. De vaardiepte is dan beperkt, waardoor het belangrijk is van te voren op de hoogte te zijn van de verwachte waterstanden om de schepen optimaal te kunnen beladen. Bij hoogwater kunnen naar aanleiding van de voorspellingen maatregelen worden getroffen zoals het ontruimen van uiterwaarden en het afzetten van wegen om schade, veroorzaakt door een overstroming, te beperken. Andere belanghebbenden bij voorspellingen zijn de landbouw, drinkwaterbedrijven, elektriciteitsbedrijven, waterschappen en regionale waterbeheerders. Onlangs is een haalbaarheidsstudie [Van den Eertwegh, 1992-1] uitgevoerd naar de ontwikkeling van een nieuw, beter voorspellingsmodel. Bij betere voorspellingen kan worden gedacht aan nauwkeurigere voorspellingen, maar ook aan een langere voorspellingstermijn, meer frequente voorspellingen of voorspellingen voor meerdere lokaties dan alleen voor Lobith. Binnen de studie zijn aan de ene kant de baten bij verbetering van de voorspellingen in kaart gebracht. Aan de andere kant zijn de mogelijkheden voor verbetering van de voorspellingen onderzocht. Omdat de mogelijkheden voor verbetering van het modelinstrumentarium met behulp van de regressie-

Samenvatting

Rijkswaterstaat-RIZA voorspelt dagelijks de waterstanden van de Bovenrijn te Lobith tot 4 dagen vooruit met behulp van het model Lobith. Dit model bestaat uit een verzameling meervoudige lineaire regressie-modellen (MLR). Als invoergegevens voor het model worden waterstanden, neerslagen en neerslagverwachtingen voor diverse lokaties binnen het Rijnstroomgebied gebruikt. Vanuit het Berichtencentrum van RIZA in Lelystad worden de voorspellingen van de waterstanden voor de 1e en 2e dag bekend gemaakt via radio en teletekst. In 1991 zijn de voorspellingen van model Lobith geëvalueerd. De 1e en 2e dag voorspellingen voldoen over het algemeen goed tot redelijk aan de gewenste nauwkeurigheid. De voorspellingen voor de 3e en 4e dag laten echter te wensen over. Na de evaluatie zijn de MLR-modellen opnieuw gekalibreerd. De voorspellingen voor de 1e en 2e dag zijn hierdoor iets verbeterd, die voor de 3e en 4e dag voldoen echter nog steeds niet aan de gestelde nauwkeurigheidseisen. Dit is de aanleiding geweest voor verder onderzoek naar mogelijkheden tot verbetering van de voorspellingen.

Een haalbaarheidsstudie naar vernieuwing van het modelinstrumentarium is uitgevoerd. Aan de ene kant zijn van verschillende belangengroepen, bijvoorbeeld de scheepvaart, de interesse in en behoefte aan verbetering van de voorspellingen geïnventariseerd. Aan de andere kant zijn de mogelijkheden voor betere voorspellingen onderzocht. Hierbij kan gedacht worden aan verandering c.q. verbetering van de modelinvoer en de modeltechniek. Uit de haalbaarheidsstudie kan geconcludeerd worden dat het mogelijk en zinvol is om door te gaan met verdere modelontwikkeling, bij voorkeur binnen een internationaal kader. Hiervoor zijn de eerste stappen al gezet.

techniek, zoals tot nu toegepast, uitgeput zijn, is gekeken naar andere modeltechnieken.

2. Operationele voorspellingen en hun gebruik

Met uitzondering van het weekeinde worden dagelijks de voorspellingen voor de waterstand en afvoer van de Bovenrijn te Lobith gemaakt op het Berichtencentrum van RIZA in Lelystad. Het Berichtencentrum is het Centrum van Informatievoorziening voor de Binnenwateren. Het levert verschillende soorten berichten. Enkele voorbeelden hiervan zijn de scheepvaartberichtgeving, de opgetreden en voorspelde waterstanden van Rijn en Maas, de berichtgeving over calamiteiten op de rivieren, stormwaarschuwingen voor de dijken rond het IJsselmeer en wanneer nodig berichten over het optreden van ijsvorming op de waterwegen, onder andere in de vorm van ijskaarten.

Om een voorspelling van de waterstand van de Bovenrijn te Lobith te maken moeten dagelijks neerslag- en waterstandsgegevens ingewonnen worden. De gemeten neerslagen op diverse lokaties binnen het Rijnstroomgebied komen per telefax van het KNMI als 6-uurs- of 12-uurssommen 4 maal per dag binnen. De getallen worden verwerkt tot dagsommen. De neerslagvoorspellingen tot 2 dagen vooruit voor het zuidelijk en noordelijk deel van het Rijnstroomgebied

worden verkregen via telefonisch contact met de weerkamer van het KNMI. De waterstanden van het Duitse deel van de Rijn en de belangrijkste zijrivieren komen per telefax van de Wasser- und Schifffahrtsdirektion Duisburg. Dit zijn de momentane waarden van 5.00 uur die ook via teletekst en radio bekend worden gemaakt. De modelinvoer is compleet wanneer ook de 8.00 uur-waterstand te Lobith ingewonnen is. Met behulp van de invoergegevens berekent het model voorspellingen voor de waterstand te Lobith tot 4 dagen vooruit. Het is mogelijk om neerslagvoorspellingen in de berekeningen te betrekken. Dit geldt echter niet voor de voorspelling van 1 dag vooruit omdat de neerslagverwachtingen dan nog geen invloed hebben op het afvoerverloop van de Bovenrijn te Lobith.

De dienstdoende voorspeller(ster) beoordeelt de modeluitkomsten kritisch; in een enkel geval worden deze handmatig bijgesteld. De voorspellingen voor de eerste en tweede dag worden dagelijks om 8.55 uur op Radio 5 voorgelezen bij de rubriek 'De waterstanden van hedenmorgen, medegedeeld door Rijkswaterstaat'. Verder worden de voorspellingen via teletekst, pagina 720, bekendgemaakt. Als verwacht wordt dat de waterstand van de Bovenrijn te Lobith het niveau van 15 m +NAP zal overschrijden en het niveau van 14 m +NAP al overschreden is, wordt de zogenaamde 'Hoogwaterberichtgeving' ingesteld. In dat geval

wordt tweemaal per dag voorspeld. De verschillende waterbeheerders en andere belanghebbenden worden per telegram gewaarschuwd en op de hoogte gesteld van de voorspellingen. De beheerders nemen op basis hiervan zelf al dan niet maatregelen zoals het ontruimen van de uiterwaarden of het afzetten van wegen. Tijdens laagwater doen lozings van vervuilde stoffen in de Rijn de waterkwaliteit verslechteren omdat de stofconcentraties stijgen. In het kader van de uitvoering van de 2e fase van het Rijnzoutverdrag is overeengekomen dat wanneer de Cl⁻-concentratie in de Bovenrijn ter hoogte van de Duits-Nederlandse grens het niveau van 200 mg/l overschrijdt en de voorspellingen van de Rijnafvoer te Lobith de komende vier dagen elke dag een daling ten opzichte van de vorige dag te zien geven, de kalimijnen in de Elzas hun zoutlozings moeten beperken. De normale lozingsactiviteiten worden hervat als de Cl⁻-concentratie gedaald is tot beneden het niveau van 200 mg/l en de voorspellingen voor Lobith voor de komende vier dagen elke dag weer een stijging ten opzichte van de vorige dag vertonen. Het ingehouden afvalzout wordt tijdelijk opgeslagen en mag na vermindering van de produktie van de mijnen op een ecologisch verantwoorde manier in de Rijn geloosd worden. De genoemde Cl⁻-concentratie van 200 mg/l blijft een maximum richtwaarde.

Als verwacht wordt dat de afvoer van de Bovenrijn te Lobith lager wordt dan 1.000 tot 1.500 m³/s (afhankelijk van het seizoen) wordt de zogenaamde 'Laagwaterberichtgeving' gestart. Er wordt dan éénmaal per week een laagwaterkaart uitgegeven die uitsluitend intern bij Rijkswaterstaat gebruikt wordt. Op deze kaart staan de afvoeren, onttrekkingen en lozings op verschillende lokaties langs rivieren en kanalen in Nederland weergegeven. In tijden van droogte coördineert de Landelijke Coördinatie Waterverdeling (LCW) maatregelen om het beschikbare water optimaal te benutten, uitgaande van de prioriteiten volgend uit de Derde Nota Waterhuishouding [Tweede Kamer, 1989].

3. Model Lobith

Model Lobith bestaat uit een verzameling meervoudige lineaire regressiemodellen (MLR-modellen). Er zijn modellen beschikbaar die gebaseerd zijn op waterstanden en modellen die gebaseerd zijn op afvoeren. Afvoeren worden via Q-h-relaties uit waterstanden afgeleid. De modellen zijn opgesplitst in een deel voor hoge respectievelijk voor lage waterstanden of afvoeren. Model Lobith is van

het type 'black box'. Dat betekent in dit geval dat alleen lineaire correlaties tussen modelinvoer en -uitvoer terzake doen, niet de fysica van het gemodelleerde systeem. Als modelinvoer worden waterstanden of afvoeren van diverse lokaties binnen het Rijnstroomgebied gebruikt: van de Rijn tussen Maxau en Lobith, en van de zijrivieren Neckar, Main, Lahn, Moezel en Roer (afb. 1). Ook neerslaggegevens worden als invoer voor het model gebruikt. De neerslagdata worden ingevoerd als dagsommen van punt-

neerslagen van 2 Franse en 6 Duitse meteorostations, eventueel aangevuld met neerslagvoorspellingen van 2 dagen vooruit voor het noordelijk en zuidelijk deel van het Rijnstroomgebied. De modelinvoer omvat van vijf opeenvolgende dagen zowel waterstands- als neerslaggegevens.

Evaluatie

In 1986 heeft een enquête plaatsgevonden onder de gebruikers van de voorspellingen, onder andere de scheepvaart-

Afb. 1 - Stroomgebied Rijn met meetstations.



TABEL I - Gewenste absolute nauwkeurigheid waterstandsvoorspellingen.

Voorspellingstermijn [dag]	Nauwkeurigheid (+/-)	
	tijdens laagwater [cm]	tijdens hoogwater [cm]
1	5	10
2	15	15
3	20	20
4	25	40

sector en waterbeheerders. Hierin zijn de wensen voor de nauwkeurigheid van de voorspellingen geïnventariseerd. Het resultaat van de enquête is in tabel I verwerkt. In 1991 is een evaluatie van de voorspellingen uitgevoerd voor de periode 27-10-1988 tot en met 9-1-1991 om te achterhalen hoe groot de voorspelfouten in die periode geweest zijn. De modelvoorspellingen blijken voor de 1e en 2e dag tijdens laagwater aan de gestelde eisen te voldoen. Bij hoge waterstanden laten ze soms te wensen over. De voorspellingen voor de 3e en 4e dag zijn in veel gevallen onvoldoende nauwkeurig. Hieruit is geconcludeerd dat de MLR-modellen een herkalibratie behoeften.

Herkalibratie

De MLR-modellen zijn in de loop van 1991 opnieuw gekalibreerd met gegevens van 1982 tot en met 1989 (afvoeren beschikbaar) of 1990 (waterstanden beschikbaar). De gebruikte tijdreeksen zijn eerst gecontroleerd op kwaliteit. De gebruikte data zijn homogeen; de lineaire trend is in alle reeksen verwaarloosbaar en er komen geen sprongen van betekenis in voor. De buitenlandse data zijn geleverd door Duitse en Franse gegevensbeheerders, i.c. de Bundesanstalt für Gewässerkunde te Koblenz, het Ruhrtalsperrenverein te Essen, de Deutscher Wetterdienst te Frankfurt en Meteo France te Strasbourg/Entzheim. De gegevens van de stations Gundelsheim/Neckar en Oberrhein/Main die in de voorlaatste versie van model Lobith gebruikt worden, zijn wegens gebrek aan data vervangen door die van de stations Plochingen/Neckar respectievelijk Würzburg/Main.

Het gebruik van langere tijdreeksen in vergelijking met de vorige herkalibratie [Promes, 1987] heeft zowel voor- als nadelen. Aan de ene kant kunnen de regressie-coëfficiënten beter geschat worden als er meer gegevens beschikbaar zijn. De standaardafwijking van de voorspelfouten wordt echter alleen maar groter naarmate de gegevensreeksen langer zijn. Ook de maximale voorspelfouten worden door het grotere aantal data niet kleiner, waarschijnlijk groter. Er

is toch voor de lange reeksen gekozen omdat daarin data voor vrijwel het gehele waterstandsgebied van de Bovenrijn te Lobith beschikbaar zijn: van 7,43 (afvoer 900 m³/s) tot 16,07 m +NAP (afvoer 10.000 m³/s).

Stapsgewijze regressie

MLR-modellen zijn opgebouwd volgens de formule:

$$\hat{Y} = \beta_0 X_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + C$$

waarin:

- \hat{Y} : te verklaringen grootte, i.c. waterstand of afvoer te Lobith;
- X_i : verklarende variabelen, i.c. gegevens uit Rijnstroomgebied;
- β_i : regressie-coëfficiënten;
- C : regressie-constante.

De regressie-coëfficiënten zijn geschat met behulp van de kleinste-kwadratenmethode. Het programmapakket SPSS/PC+™ is hierbij gebruikt. Er zijn veel potentiële verklarende variabelen beschikbaar, in totaal 93 stuks, in de vorm van tijdreeksen van waterstanden of afvoeren en neerslagen van verschillende stations op verschillende tijdstippen. De variabelen zijn onderling echter sterk lineair gecorreleerd, waardoor multicollineariteit kan optreden. Een gevolg daarvan is dat de schatters voor de regressie-coëfficiënten zeer grote varianties en covarianties hebben en aldus onnauwkeurige schatters zijn. Dit komt de nauwkeurigheid van de voorspellingen niet ten goede. Om uit de gehele verzameling van beschikbare reeksen de statistisch beste deelverzameling te selecteren is zogenaamde stapsgewijze regressie toegepast. Hierbij wordt op basis van statistische criteria de beste set van verklarende variabelen geselecteerd. De negatieve gevolgen van multicollineariteit worden hiermee zoveel mogelijk beperkt [Van der Laan en Kuipers, 1986].

'Threshold'-structuur

Model Lobith is een zogenaamd 'threshold'-model. Door een 'threshold' (drempel) in het model te bouwen ontstaat een tweedeling van de MLR-modellen. Deze 'threshold' wordt gevormd door een waterstand van de

Bovenrijn te Lobith van 10.00 m +NAP (afvoer 2.320 m³/s). Eén gedeelte van de MLR-modellen is geldig voor waterstanden tot aan het niveau van 10.00 m +NAP, het andere deel is geschikt om waterstanden boven 10.00 m +NAP te voorspellen. Hierdoor is het model beter geschikt om het niet-lineaire gedrag van de rivier te beschrijven. Dit gedrag is onder andere een gevolg van het gebruik van de stuwen in de Nederrijn/Lek bij lage afvoeren. De stuw te Driel/Nederrijn is namelijk in bedrijf als de waterstand te Lobith lager is dan 10.00 m +NAP. De invloed van deze stuw op de waterstand is tot bovenstrooms van Lobith merkbaar. Verder zijn tijdens 'lage' afvoeren de stuwen in de Duitse zijrivieren in bedrijf. In de praktijk worden binnen model Lobith automatisch de juiste, geldige MLR-modellen geselecteerd. De genoemde MLR-modellen die afvoeren als invoer gebruiken zijn overigens alleen geldig voor 'hoge', ongestuwde afvoeren.

Resultaten

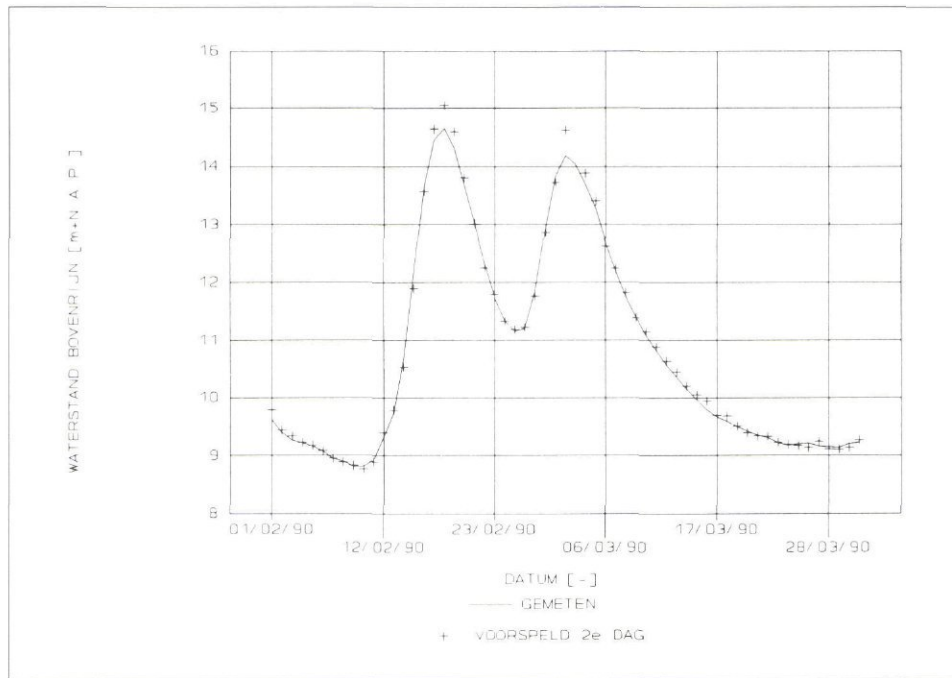
Toepassing van stapsgewijze regressie heeft meervoudige lineaire correlatie-coëfficiënten voor gemeten en berekende waterstanden variërend van 0,81 tot 0,99 opgeleverd. Het aantal verklarende variabelen dat opgenomen is in de verschillende MLR-modellen varieert van 8 tot 15. Wanneer de neerslagvoorspellingvariabelen meegeteld worden kan dit aantal oplopen tot 18. Hiermee is net als na de vorige herziening van de MLR-modellen [Promes, 1987] het aantal variabelen per MLR-model met gemiddeld bijna 4 gedaald. Het negatieve effect van multicollineariteit is hiermee wederom verkleind. De standaardafwijkingen van de voorspelfouten in de berekende voorspellingen in de periode van herkalibratie staan vermeld in tabel II.

In afbeelding 2 zijn voor een periode van enkele weken de gemeten waterstanden uitgezet tegen de voorspellingen voor de 2e dag. Hierbij zijn de voorspellingen voor 'lage' en 'hoge' waterstanden gecombineerd. Te zien is dat het waterstandsverloop goed gevolgd wordt door de voorspellingen, de toppen worden echter overschat.

In afbeelding 3 is de cumulatieve verdeling weergegeven van de voorspelfouten bij waterstanden boven 10.00 m + NAP. In de afbeelding zijn als voorbeeld de voorspellingen voor de eerste dag zonder neerslagverwachting en voor de tweede dag met neerslagverwachting opgenomen. Te zien is dat bij 'hoge' waterstanden ongeveer 90% van de

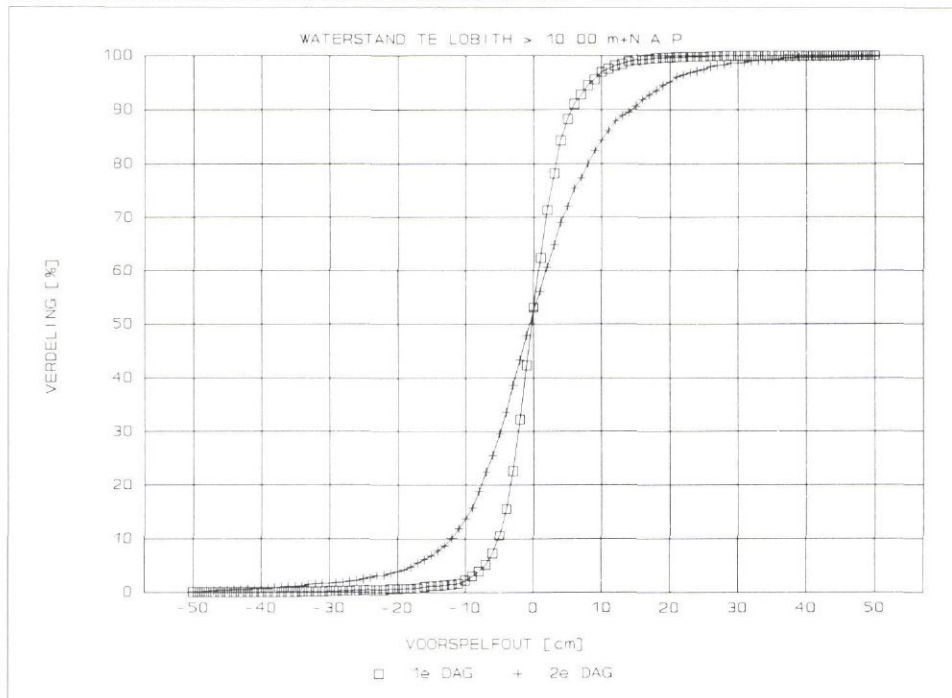
TABEL II - Standaardafwijking voorspelfouten in periode van herkalibratie [Van den Eertwegh, 1992-1]; **: niet beschikbaar.

Geldigheid MLR-model	Standaardafwijking voorspelfouten [cm] voor voorspellingstermijn [dag]			
	1	2	3	4
Waterstanden ≤ 10,00 m +NAP	3,7	8,2	18,9	34,4
• met neerslagvoorspellingen	*	7,2	16,2	27,8
Waterstanden > 10,00 m +NAP	5,4	13,4	30,7	42,9
• met neerslagvoorspellingen	*	12,0	26,3	32,6
	Standaardafwijking voorspelfouten [m ³ /s]			
Afvoeren > 2320m ³ /s	56	93	252	398
• met neerslagvoorspellingen	*	80	215	308



Afb. 2 - Gemeten en voor 2 dagen vooruit voorspelde waterstanden.

Afb. 3 - Cumulatieve verdeling voorspelfouten bij waterstanden boven 10,00 m + NAP.



voorspelfouten voor de 2e dag tussen -20 cm en +20 cm ligt (aantal data: ruim 1.500).

De herkalibratie van de MLR-modellen is in zoverre succesvol geweest dat bij 'hoge' waterstanden en afvoeren de standaardafwijking van de voorspelfouten in vergelijking met de modellen uit 1987 kleiner is geworden [Mendel, 1988]. Daarbij valt op te merken dat de voorspellingen van de MLR-modellen die rekenen met afvoergegevens beter zijn dan die op basis van waterstanden rekenen [Promes, 1987]. Voor waterstanden beneden het niveau van 10,00 m +NAP is in vergelijking met de modellen uit 1987 de standaardafwijking iets groter geworden, vooral voor de voorspellingen van de 3e en 4e dag. Opgemerkt moet echter worden dat de grote standaardafwijkingen in enkele gevallen mede veroorzaakt worden door uitschieters in de voorspelfouten. Deze grote fouten zullen in de praktijk echter zo mogelijk handmatig gecorrigeerd worden door de modelgebruiker(s)/voorspeller(s).

Model Lobith is na de herkalibratie van de MLR-modellen 'up to date'. De meest recente Q-h-relaties zijn gebruikt en er zijn enige aanpassingen in de software doorgevoerd om de gebruiksvriendelijkheid te verbeteren. Er kan geconcludeerd worden dat de nauwkeurigheid van de voorspellingen tot en met de tweede dag over het algemeen acceptabel is, maar dat er soms uitschieters optreden. Wanneer de waterstand te Lobith snel stijgt en hoge waterstanden voorkomen, vooral topstanden, heeft model Lobith moeite met het berekenen van goede voorspellingen. Ook in het zeer lage bereik treden problemen op. Er is dus ook na de herkalibratie nog voldoende aanleiding om een verdere verbetering van de voorspellingen na te streven.

4. Haalbaarheidsstudie nieuw modelinstrumentarium

Uit de evaluatie van de voorspellingen en de herkalibratie van de MLR-modellen is gebleken dat de nauwkeurigheid van de voorspellingen nog niet zo groot is als gewenst. Daarom is een haalbaarheidsstudie naar een nieuw voorspellingsmodel voor de Rijn uitgevoerd [Van den Eertwegh, 1992-1]. De haalbaarheidsstudie heeft aan de ene kant als doel de maatschappelijke belangen bij betere voorspellingen in kaart te brengen. Aan de andere kant zijn de mogelijkheden om betere voorspellingen te maken geïnventariseerd. Belangengroepen als scheepvaart, waterbeheer, drinkwater, landbouw en recreatie zijn in het onderzoek

betrokken. Na vergelijking van de belangen en mogelijkheden kan een keuze gemaakt worden voor nieuwe modelontwikkeling.

Belangen

Een aantal belangengroepen blijkt behoefte te hebben aan nauwkeurigere voorspellingen van waterstanden, en heeft

de Rijn, vooral voor het ongestuwde gedeelte. Zo kan de beschikbare vaardiepte optimaal benut worden.

Vanuit andere belangengroepen zoals het waterbeheer en de drinkwatersector bestaat bij laagwater de behoefte aan afvoervoorstellingen voor 2 weken tot 1 maand vooruit.

(deel-)stroomgebied dan waterstandsgegevens. Er moet daarnaast onderzocht worden welke neerslagstations het meest representatief zijn voor een bepaald deel van het Rijnstroomgebied. Ook het nut van berekening van gebiedsneerslagen kan worden onderzocht, inclusief de manier waarop dit moet gebeuren. Of er verbeteringen op het gebied van neerslagvoorspellingen mogelijk zijn moet worden aangegeven door het KNMI, de Deutscher Wetterdienst en Meteo France. Een ander aspect van de modelinvoer vormt het gebruik van beschikbare Zwitserse en Duitse waterstands- of afvoervoorstellingen bij het maken van een Nederlandse voorspelling voor de Rijn. Internationale samenwerking op het gebied van data-inwinning en -communicatie is bij het verbeteren van de modelinvoer van groot belang.

Verbetering modeltechniek

Betere voorspellingsmodellen kunnen gezocht worden in zowel de stochastische als de deterministische sfeer. Er is ook een mengvorm van beide mogelijk. Toepassing van niet-lineaire regressie of (niet-lineaire) datatransformatie is mogelijk. De getransformeerde tijdreeksen kunnen dan als alternatief voor de huidige dienen. Een speciaal voorbeeld van een niet-lineaire stochastische modeltechniek is een neurale netwerk [Van den Eertwegh, 1992-2]. Uit onderzoek is gebleken dat een dergelijk model geen verbetering oplevert voor de 3e dag voorspelling ten opzichte van een MLR-model. Het neurale netwerk kan eventueel wel als 'correctiemodel' voor een MLR-model worden gebruikt. Hiermee kunnen de optredende fouten in de voorspellingen worden beperkt [Veldkamp, 1992].

Voor het gedeelte van de Rijn benedenstrooms van Lobith kan voor de voorspelling gebruik gemaakt worden van een model op basis van het programma ZWENDL (Zout- en Waterbeweging EeNDimensionaal). Dit fysisch-deterministisch model kan de waterbeweging door de Nederlandse Rijntakken berekenen. Voorwaarde is wel dat er een goede bovenstroomse randvoorwaarde beschikbaar is, i.e. een goede voorspelling voor Lobith. Er is al een ZWENDL-model gekalibreerd voor een groot waterstands-bereik (zeer laag- tot extreem hoogwater), ZWENDL-Rijn genaamd. De schematisatie van het model behelst de Bovenrijn vanaf Lobith tot aan het Ketelmeer (IJssel), Hagestein (Lek) en Vuren (Waal). De werking en invloed van de stuwen op de Nederrijn zijn in dit model ingebouwd; het model is echter niet operationeel voor dagelijks gebruik. In de

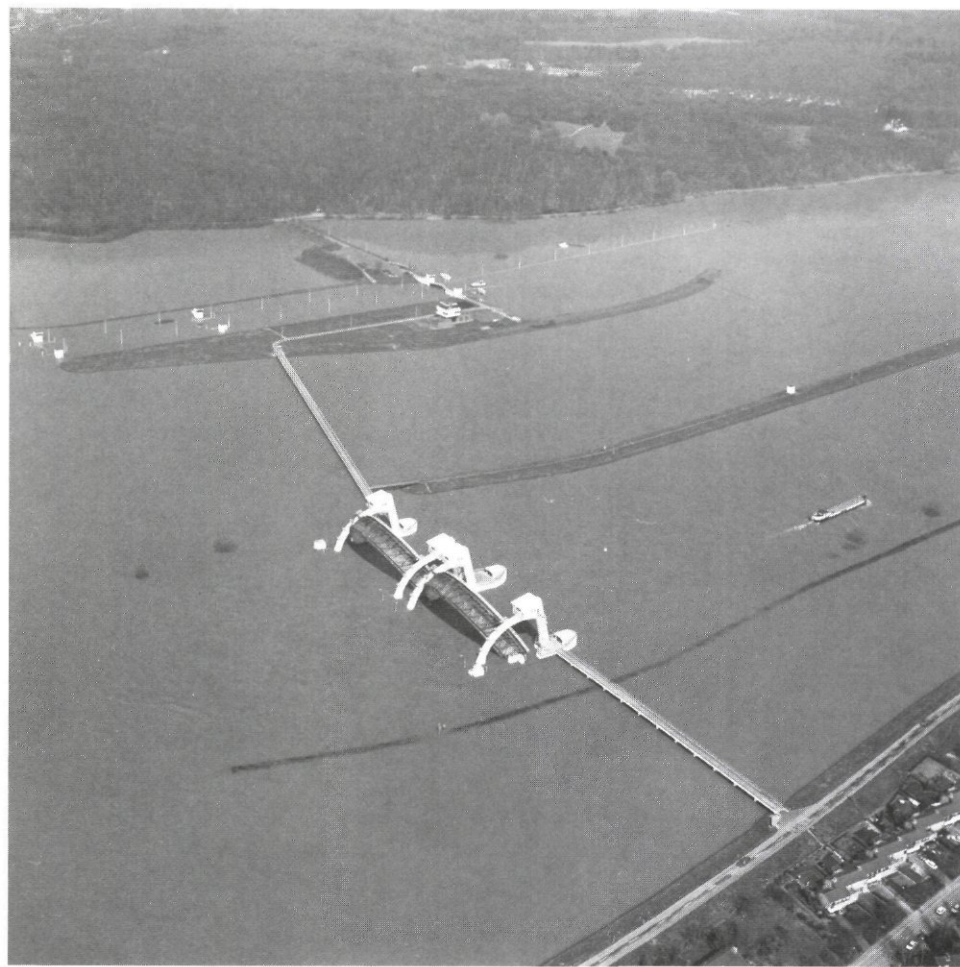


Foto 1 - Stuw Driel in de Nederrijn tijdens het hoogwater van 1988. Bron: Rijkswaterstaat, Meetkundige Dienst, Afdeling Grafische Technieken.

daarnaast ook belangstelling voor afvoervoorstellingen. Deze laatste worden tot op heden niet bekend gemaakt. Ook voorspellingen voor meerdere lokaties dan voor Lobith alleen zijn gewenst. Bij hoogwater (foto 1) is het uit het oogpunt van veiligheid wenselijk om over een model te beschikken waarmee het mogelijk is tweemaal per dag een waterstandsvoorspelling te berekenen voor meerdere lokaties langs de Bovenrijn, Waal, Nederrijn/Lek en IJssel. Uit financieel oogpunt gezien wordt de voornaamste belangengroep gevormd door de scheepvaart. Vooral tijdens laagwater heeft deze sector belang bij een goede waterstandsvoorspelling voor een termijn van 4 dagen voor zowel het Nederlandse als het Duitse gedeelte van

Betere invoergegevens

De door het Berichtencentrum van RIZA ingewonnen waterstanden, waaruit voor model Lobith een aantal variabelen is geselecteerd, zijn in eerste instantie op de behoefte van de scheepvaartsector afgestemd. De stations zijn niet geselecteerd op grond van hydrologische overwegingen. Het verdient daarom aanbeveling om de betrouwbaarheid en representativiteit van de huidige gebruikte stations nader te onderzoeken. Afvoergegevens van de zijrivieren van de Rijn zijn bijvoorbeeld erg belangrijk, vooral tijdens laagwater wanneer de zijrivieren gestuwd zijn. In deze situatie geven afvoergegevens meer informatie over de hydrologische toestand van een

toekomst kan Sobek, de opvolger van ZWENDL, voor deze hydrodynamische berekeningen worden ingezet.

Wat de lange termijn voorspellingen aangaat is het uitputtingsverloop van de Rijnaafvoer bij laagwater vooral van belang in verband met het waterbeheer van het IJsselmeer. Het peil van het meer kan opgezet worden als lage afvoeren tijdig worden voorzien. In tijden van grote waterbehoefte van de zijde van de landbouw in bijvoorbeeld de provincies Friesland, Drenthe en Overijssel kan door deze extra berging beter aan de vraag voldaan worden. Beter voorspellingen van de daadwerkelijk optredende laagwaterafvoer tot 1 maand vooruit kunnen gebruikt worden om het beheer te verbeteren en te verfijnen. Voor een geschikt model zijn verschillende statistische aanzetten mogelijk [Van den Eertwegh, 1992-1]. Zo is een geconditioneerde voorspelling van het uitputtingsverloop mogelijk. Dit houdt in dat een bepaalde neerslagverwachting binnen de zichttijd van de voorspelling meegenomen wordt. Een vergelijkbaar model is beschikbaar voor de voorspelling van lage Maasafvoeren [Berger, 1992].

5. Internationale samenwerking

Op het gebied van de gegevensuitwisseling bestaat er al geruime tijd een intensieve samenwerking tussen de landen in het Rijnstroomgebied, vooral tussen Zwitserland, Frankrijk, Duitsland en Nederland. Onlangs zijn de eerste stappen gezet om ook op het gebied van modelontwikkeling tot samenwerking te komen. Binnen de Commissie voor de Hydrologie van het Rijnstroomgebied hebben de Bundesanstalt für Gewässerkunde te Koblenz en het RIZA contact om eventueel gezamenlijk een model te ontwikkelen voor de voorspelling van lage waterstanden.

Literatuur

- Berger, H. E. J. (1992). *Flow forecasting for the river Meuse*. Technische Universiteit Delft, Rijkswaterstaat-RIZA.
- Mendel, H. G. (1988). *Beschreibung hydrologischer Vorhersagemodelle im Rheineinzugsgebiet*. Bericht Nr. 1-7 der KHR, Commissie voor de Hydrologie van het Rijngebied.
- Eertwegh, G. A. P. H. van den (1991). *Evaluatie voorspellingen waterstanden Rijn te Lobith*. Rijkswaterstaat-RIZA, werkdocument nr. 91.096 X.
- Eertwegh, G. A. P. H. van den (1992-1). *Voorspellingen waterstand en afvoer Rijn. Een onderzoek naar inhoudelijke en instrumentele verbetering*. Rijkswaterstaat-RIZA, nota nr. 92.006.
- Eertwegh, G. A. P. H. van den (1992-2). *Neurale netwerken en hydrologie. Waterstandsvoorspelling Bovenrijn te Lobith*. Rijkswaterstaat-RIZA, werkdocument nr. 92.050X.
- Laan, P. van der en Kuipers, F. F. (1986). *Handleiding bij het college regressie- en steekproef-*

- technieken*. Colledictaat Landbouwniversiteit Wageningen.
- Norusis, M. J., SPSS Corporation (1988, 1990). *SPSS/PC+™ V2.0, V4.01*. Program manuals.
- Promes, P. M. (1987). *Waterstandsvoorspelling voor de Rijn te Lobith met behulp van een meervoudig lineair regressiemodel*. Rijkswaterstaat-RIZA, nota nr. 88.002.
- Tweede Kamer der Staten Generaal (1989). *Derde Nota Waterhuishouding. Water voor nu en later*. Nota 21250, Vergaderjaar 1988-1989.
- Veldkamp, A. (1992). *Voorspelling waterstand Rijn te Lobith met behulp van een neurale netwerk*. Rijkswaterstaat-RIZA, werkdocument nr. 92.170 X.



Voortplanting grondwaterstandsfluctuaties

• *Vervolg van pagina 131*

heeft de evenredigheidsconstante in (11) een waarde van 2.

3. Het is aangetoond dat onder bepaalde condities een in beginsel niet-stationair probleem als een stationair probleem behandeld mag worden. Dit is gerechtvaardigd als de reactietijd van het grondwatersysteem klein is ten opzichte van de tijdschaal waarop de randcondities zich afspelen. De begrippen stationair en niet-stationair zijn relatief. Door dit inzicht kan in voorkomende gevallen met eenvoudiger (numerieke) rekenmodellen worden gewerkt en tijd worden bespaard. In andere gevallen geeft dit inzicht juist aan dat het gebruik van een stationair model niet gerechtvaardigd is.

4. Numerieke modellen dragen weinig bij aan het fysisch inzicht, omdat in de modelresultaten de directe relatie tussen de fysische parameters (bijvoorbeeld in de vorm van dimensieloze kentallen) ontbreekt. Een zekere analytische aanpak, voorafgaande aan computersimulaties, leidt tot meer begrip voor de fysica, waardoor dikwijls efficiënter kan worden gemodelleerd. Als algemene regel bij een analytische aanpak geldt dat correcte schaaltransformaties om de vergelijkingen dimensieloos te maken essentieel zijn. Hieruit blijkt welke termen van overheersend en ondergeschikt belang zijn.

Bepaalde analytische methoden als dimensie-analyse, reguliere en singuliere storingsmethoden en andere benaderingsmethoden, die in de fysica en vooral in de stromingsleer heel gebruikelijk zijn, hebben goede toepassingsmogelijkheden bij (geo)hydrologische problemen. Onder het motto: 'Het doel van rekenen is inzicht, niet het produceren van getallen', wordt het gebruik daarvan warm aanbevolen. Dit kan leiden tot krachtige impulsen voor hersenwerk naast elektronica-gebruik.

Literatuur

- Dewachter, M. M. F., Heeren, A. G. G. en Helmich, F. A. M. (1992). *Verdrogingsbestrijding*. Waterschapsbelangen, nr. 13.
- Provincie Gelderland. (1991). *Milieu-effectrapport ten behoeve van het Industriezandwinningsplan Gelderland 2^e fase*, oktober 1991.
- Lin, C. C. & Segel, L. A. (1974). *Mathematics applied to deterministic problems in the natural sciences*. Wiley & Sons.



Summaries

• *Continued from page 121*

input data for the model concern water levels, discharges and precipitation at hydrological or meteorological stations throughout the catchment area of the Rhine. The Inland Water Information and Warning Centre of RIZA in Lelystad makes the forecasts daily available through radio and videotext.

In 1991 the model results have been evaluated by comparing the achieved accuracy and the desired accuracy. The water level forecasts for the first and second day are sufficiently accurate, but the forecasts for the third and fourth day are below the acceptable accuracy level. After the evaluation the MLR models were re-calibrated. The result is that the water levels for three and four days ahead are still not forecasted accurately enough. This has been the reason for investigating the feasibility of producing better forecasts.

A feasibility study on improvement of the forecasts has been made. Stock was taken of the parties interested in better water level or discharge forecasts, e.g. shipping companies or water management. After that possibilities to improve the forecasts were investigated. Forecasts of a higher quality can be realized through renewing the model instruments and/or by optimizing the input data needed. It can be concluded from the feasibility study that it is possible and useful to continue the development of the model instruments. It is preferred to implement this within an international framework in which several Rhine riparian countries cooperate. The first steps in this direction have been taken.

H₂O (27) 1994, nr. 5; 138

J. GRIFFIOEN and J. H. HOOGENDOORN:

Infiltration depths in ground water of diffuse agricultural pollutants: control by hydrogeochemistry and hydrogeology

A study was made on the controlling processes of fate of diffuse, agricultural pollutants in a Pleistocene area in Overijssel, The Netherlands. Depths of infiltration for the total salt concentration, nitrate, potassium and orthophosphate were defined; also the depth of infiltration for denitrified water was deduced. It turns out that no single generalization on fate of pollutants can be defined since the different pollutants are controlled by different types of geochemical processes: conservative behaviour for total salt concentration, cation-exchange for potassium, mineralization for phosphate and reduction for nitrate. Specific results show that many changes in ground water quality with depth cannot be attributed to geochemical processes, but have to be attributed to either boundaries between hydrogeological flow systems or changes in land use in the infiltration area. A major complication is that observations in vertical direction using miniscreen-wells, can rarely be interpreted as changes in time.