

## Inleiding

Door de uitbreiding van het waterkwantiteitsmodel DUFLOW met een waterkwaliteitsmodule, is een gebruikersvriendelijk simulatiemodel op de markt gekomen dat door de opzet bruikbaar is voor een diversiteit aan problemen. Door deelname in de testfase van de nieuwe waterkwaliteitsmodule en toepassing in diverse studies, is uitgebreid ervaring opgedaan met DUFLOW. Hierdoor is al een goed inzicht ontstaan in de mogelijkheden en beperkingen van het model.



IR. R. M. VAN DEN BOOMEN  
Witteveen+Bos  
Raadgevende ingenieurs bv



IR. A. P. SALVERDA  
Witteveen+Bos  
Raadgevende ingenieurs bv

Ook zijn wenselijkheden voor aanpassing c.q. uitbreiding naar voren gekomen. Voor enkele tekortkomingen zijn applicaties ontwikkeld door Witteveen+Bos. Dit artikel heeft tot doel inzicht te geven in de mogelijkheden van gebruik van DUFLOW in de dagelijkse praktijk van de waterbeheerder. De nadruk ligt daarbij voornamelijk op de toepassing als waterkwaliteitsmodel. Na een korte toelichting op het model, wordt aan de hand van vier toepassingen het gebruik geïllustreerd. Het artikel wordt afgesloten met een samenvatting van mogelijkheden, beperkingen en voor- en nadelen bij het gebruik. Hierbij worden ook enkele suggesties gedaan voor wenselijke uitbreidingen van het model.

## Geschiedenis

DUFLOW is een één-dimensionaal waterkwantiteits- en waterkwaliteitsmodel voor dynamische simulaties in open waterlopen. Het is gezamenlijk ontwikkeld door het IHE-Delft, de Dienst Getijdewateren van Rijkswaterstaat en de Technische Universiteit Delft. Het rekenhart van DUFLOW is gebaseerd op het waterbewegingsmodel IMPLIC dat is ontwikkeld door Rijkswaterstaat. Doelstelling van de ontwikkeling van DUFLOW was het introduceren van een breed toepasbaar en gebruikersvriendelijk model. Door de gekozen opzet was het model geschikt voor een brede doelgroep en kon het zich ontwikkelen tot een algemeen geaccepteerd

## Samenvatting

Door de uitbreiding van het stromingsmodel DUFLOW voor open waterlopen met een gebruikersvriendelijke module voor waterkwaliteitsprocessen, is de computersimulatie van waterkwaliteitsproblemen dichterbij gekomen van de waterkwaliteitsbeheerder. Het model kan worden aangewend ter verhoging van inzicht in complexe integrale waterbeheersproblemen en kan daarnaast eenvoudig en overzichtelijk het milieurendement van verschillende beheersmaatregelen vaststellen.

Uit toepassingen van het model op zowel dynamische systemen als op (semi)stagnante wateren, is het model gebleken een zeer functioneel instrument te zijn in het waterkwaliteitsbeheer. Wenselijk is nog een aantal uitbreidingen, vooral gericht op de inbreng van het neerslag-afvoerproces en een GIS-interpretatie van de invoergegevens en de simulatieresultaten.

waterkwantiteitsmodel. De Landbouw Universiteit Wageningen heeft recentelijk in opdracht van de STOWA een waterkwaliteitsmodule voor DUFLOW ontwikkeld [STOWA, 1992]. Het model is nu geschikt voor de integrale modellering van waterkwantiteit en waterkwaliteit. Het beheer en de ondersteuning van DUFLOW wordt verzorgd door ICIM.

## Modelwerking

Het model is gebaseerd op een schematisatie van een watersysteem in knopen en takken. De takken representeren watergangen die via knopen worden verbonden. Ook bestaat de mogelijkheid kunstwerken zoals stuwten, duikers en gemalen in de modelschematisatie op te nemen. Aan het watersysteem kunnen diverse randvoorwaarden worden opgelegd zoals waterpeilen, instromingen en puntlozingen (kwantiteit en kwaliteit). Deze randvoorwaarden bepalen het transport van water en stoffen door de watergangen. Met behulp van reactieprocessen zoals afbraak of opname in organismen, kan het gedrag van bepaalde stoffen 'in' de watergangen aanvullend worden gesimuleerd. De flexibiliteit van DUFLOW wordt gedemonstreerd door het feit dat de gebruiker zelf met behulp van nul- en eerste-orde vergelijkingen de waterkwaliteitsprocessen kan samenstellen. Met behulp van de wet van behoud van energie en de wet van behoud van massa worden water- en stofbalansen door DUFLOW bijgehouden van alle watergangen.

## Water- en stofbalansen

Waterbeheerders worden steeds vaker gesteld voor een integrale benadering van waterkwantiteit en waterkwaliteit. Wat is bijvoorbeeld het aandeel van de verschillende bronnen in de totale belasting van een watersysteem en wat zal het effect zijn van het reduceren van één of meerdere van deze bronnen? Kan een doorspoelregime (en zo ja, welk regime) de negatieve

effecten van algenbloei in een stadswater verminderen? Door het opstellen van water- en stoffenbalansen kan het inzicht in de problematiek worden verhoogd en kunnen effecten van beheersalternatieven worden doorgerekend.

De concentratie van een stof in een watersysteem wordt niet alleen beïnvloed door de aan- en afvoer met het water, maar wordt ook in meer of mindere mate beïnvloed door reactieprocessen. Deze processen zijn sterk stofafhankelijk. Zo kan chloride als een conservatieve stof worden beschouwd in tegenstelling tot stoffen als fosfor en stikstof. De laatste kunnen in meerdere verschijningsvormen voorkomen die via allerlei processen in elkaar omgezet worden. Door de veelheid van posten op de water- en stoffenbalansen en de onderlinge relaties tussen de verschillende posten, wordt het gebruik van een integraal model noodzakelijk. DUFLOW is voor deze toepassing een zeer geschikt instrument.

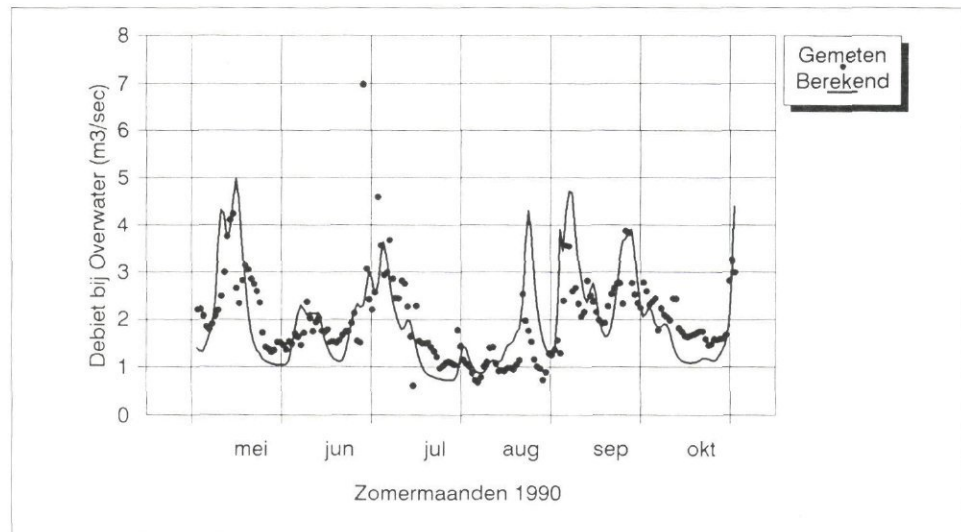
In een voorbeeldstudie naar de haalbaarheid van de Algemene Milieu Kwaliteit in de stadswateren van Leeuwarden, is het model DUFLOW gebruikt [Roos *et al.*, in prep.]. In deze studie is het effect van beheersmaatregelen op de waterkwaliteit in de verschillende stadsgrachten doorgerekend met DUFLOW. Voor een aantal prioritaire stoffen (zoals nutriënten en organische microverontreinigingen) zijn de verschillende bronnen geïnventariseerd en op het model geprojecteerd als lozingen. Reactieprocessen waaronder de sedimentatie en resuspensie van zwevende stof, de afbraak van organische stof (BZV) en de opname van nutriënten in algen en waterplanten, complementeren de stofbalansen. De verwachte concentraties van de stoffen in de stadsgrachten kunnen voor verschillende scenario's eenvoudig en snel worden berekend. De resultaten van deze studie vormen een solide onderbouwing voor de selectie van beheersmaatregelen met het hoogste milieurendement.

### Landelijke afvoer

Beeksystemen worden voor een aanzienlijk deel gevoed door de aanvoer van neerslag via het grondwater. Een adequate beschrijving van deze voeding van het oppervlaktewatersysteem is essentieel voor een zinvolle modellering van zowel de waterkwantiteit als de waterkwaliteit. De huidige versie van DUFLOW kent twee mogelijkheden om neerslag in het oppervlaktewatersysteem te brengen. Een eerste mogelijkheid is het definiëren van een 'neerslag'-reeks. Afhankelijk van het opgegeven afwaterende oppervlak en de runoff-coëfficiënt wordt de afvoer naar het oppervlaktewatersysteem berekend. Hierbij is het niet mogelijk een vertragingseffect in te bouwen. Vooral bij grotere stroomgebieden worden hiermee onwenselijke situaties gesimuleerd doordat de afvoerbare neerslag van het gehele gebied direct tot afvoer komt. Bovendien kan aan deze neerslag geen waterkwaliteit worden gekoppeld waardoor de neerslag een verdunnend effect heeft op het ontvangende watersysteem. Een tweede mogelijkheid is het opgeven van een 'afvoer'-reeks (Qt-relatie) in plaats van een werkelijke neerslag. Voor een goede modellering moet dit echter gedifferentieerd voor het hele watersysteem gebeuren. Aan deze randvoorwaarden van het model kan wel eenvoudig een waterkwaliteit worden meegegeven. Het vertragingseffect van de neerslag-afvoer moet nu echter buiten DUFLOW gedefinieerd en verwerkt worden.

Door bovengenoemde beperkingen is een applicatieprogramma voor DUFLOW ontwikkeld dat aansluit op de tweede mogelijkheid. Hierin wordt de neerslag omgerekend naar een afvoerbare neerslag waarna vervolgens het afvoerverloop in de tijd wordt bepaald (vertragingseffect). Voor verschillende situaties (afhankelijk van de aard van het stroomgebied) zijn modellen ontwikkeld op basis van bestaande neerslag-afvoer theorieën. Deze zijn uitgewerkt in invoergenererende programma's.

Om het milieurendement van beheersmaatregelen te onderzoeken, is het watersysteem van de Regge in DUFLOW geschematiseerd [Witteveen+Bos, 1993b]. Naast via het effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties, komt een belangrijk deel van het water via neerslag-afvoer in het systeem. De conversie van neerslag in afvoer heeft plaatsgevonden via een 'Unit-hydrograph'-methode. Met deze voorbewerking van de neerslaggegevens wordt het afvoerverloop voldoende nauwkeurig beschreven om de waterkwaliteit goed te simuleren (zie afb. 1). Door vereenvoudi-



Afb. 1 - Gemeten en berekend debiet bij stuw bij Overwater.

gingen, zoals de uniformiteit van de afvoer karakteristiek van het watersysteem, worden piekafvoeren soms over- of onderschat. Daarnaast wordt de afvoer in droge perioden iets onderschat. Voor de waterkwaliteit van deze afvoer 'uit landelijke gebied' zijn gegevens gebruikt van bemonsteringslocaties in landelijke zijtakken. Verschillen in bodemgesteldheid en bodemgebruik (bijvoorbeeld veen- versus zandgronden) zijn door verschillende concentraties in het model opgenomen. Het waterkwaliteitsmodel is geïkht met behulp van gegevens van routinematige bemonsteringspunten van het Waterschap Regge en Dinkel. De gebruikte methode resulteerde in een goede simulatie voor vergelijking van beheersalternatieven, vooral voor nutriënten.

Met het opgestelde model zijn verschillende beheersvarianten doorgerekend, zoals een scheiding van de waterlopen in een landelijke en een stedelijke tak en het verbeteren van het effluent van verschillende rwzi's. De resultaten vormen een goede basis voor de besluitvorming.

### Riooloverstortingen in stedelijk gebied

Een derde toepassing waar DUFLOW als instrument kan worden gebruikt door de waterbeheerder, is de toetsing van gemeentelijke rioleringsplannen (= GRP). In het kader van de vermindering van de effecten van riooloverstortingen op het ontvangende oppervlaktewater, zijn door de waterbeheerders richtlijnen opgesteld voor een emissiespoor en een waterkwaliteitsspoor [onder andere WRW, 1992]. Volgens het emissiespoor moeten gemeenten onder andere een basisinspanning verrichten om een bepaald emissieniveau te bereiken [CUWVO, 1992]. Daarnaast wordt vastgesteld of na het uitvoeren

van de maatregelen voldaan zal worden aan de waterkwaliteitsdoelstellingen van het ontvangende water.

Een geschikt instrument voor de toetsing van GRP's was echter niet voorhanden. Door de soms verstrekende gevolgen voor de gemeente van opgelegde aanvullende maatregelen (bijvoorbeeld aanleg bergbezinkbasins), was er een behoefte aan objectief instrumentarium. In opdracht van de Werkgroep Riolerings West-Nederland is door Witteveen+Bos een voorlopig Toetsingsmodel ontwikkeld voor het voorspellen van de effecten van riooloverstortingen op het ontvangende oppervlaktewater [Witteveen+Bos, 1993a]. Het huidige 'voorlopige' toetsingsmodel is gebaseerd op een aantal zorgvuldig gekozen vereenvoudigingen. Zo kan een keuze worden gemaakt uit een aantal 'standaard' ontvangende watersystemen of kan zelf een watersysteem in DUFLOW worden gebouwd. De emissies van riooloverstortingen kunnen worden opgegeven voor drie buien met verschillende herhalingsstijden. Naast riooloverstortingen kan verversingswater worden opgegeven. Het toetsingsmodel zet de gegevens om in bestanden en rekent, met DUFLOW, de effecten op het ontvangend oppervlaktewater uit.

In een case-studie voor de stad Hellevoetsluis is de functionaliteit van het model onderstreept [Witteveen+Bos, 1994]. Met het model zijn gevoelige watergangen gelokaliseerd en is de mate van gevoeligheid gekwantificeerd. Anders dan sec gericht op een vermindering van de vuilemissie, worden nu in overleg tussen de gemeente, de waterkwantiteits- en de waterkwaliteitsbeheerder beheersstrategieën uitgewerkt zoals bijvoorbeeld een wijziging van de doorspoelmogelijkheden.

### GIS toepassing bij het gebruik van DUFLOW

Zowel bij het invoeren van omvangrijke bestanden met basisgegevens als bij de presentatie van modelberekeningen kan het combineren met een geografisch informatiesysteem het gebruik van DUFLOW nog aanzienlijk verbeteren. Ondanks de gebruikersvriendelijke invoerzijde van DUFLOW, zijn hier nog de nodige vereenvoudigingen mogelijk. Op basis van GIS-bestanden van de topografie, bodemkaarten, grondwater-trappenkaarten en grondgebruikskaarten kunnen DUFLOW-invoerfiles automatisch worden gegenereerd. Ook het rechtstreeks inlezen van de legger behoort tot de mogelijkheden.

Aan de uitvoerzijde van DUFLOW is een GIS-uitbreiding zonder meer wenselijk. Met de huidige versie van DUFLOW kunnen uitsluitend tabellen en grafieken van de berekeningsresultaten worden gegenereerd. De grafieken zijn echter één-dimensionale weergaven van de verandering van (een) systeemvariabele(n) in de tijd of in de plaats. Een presentatie van de berekeningsresultaten voor een geschematiseerd netwerk is niet mogelijk. In afbeelding 2 is een voorbeeld gegeven van een GIS-presentatie van de waterkwaliteit in een netwerk.

### Conclusies

Uit de veelheid van mogelijke toepassingen van DUFLOW, waarvan bovenstaand enkele voorbeelden zijn beschreven, mag worden geconcludeerd dat de uitbreiding van het waterkwaliteitsmodel DUFLOW met een waterkwaliteitsmodule succesvol is gebleken. Het model geeft een goede ondersteuning bij het aangeven van het rendement van soms ingrijpende beheersmaatregelen en kan zo een rol spelen bij de besluitvorming hierover. De hoge mate van gebruikersvriendelijkheid, de flexibiliteit van de waterkwaliteits-

module en de veelheid aan mogelijke toepassingen, maken het model breed toepasbaar. Mede door het brede draagvlak zijn investeringen in beheer, onderhoud en uitbreiding van DUFLOW gerechtvaardigd.

Doordat het model pas kort op de markt is zijn nog niet alle kinderziektes uit het programma. Voor de bovenbeschreven toepassingen heeft het model goed gefunctioneerd. Toepassing voor andere situaties moeten nog met de nodige vakkennis geschieden. Kritische analyse van de modelresultaten blijft noodzakelijk. Met het nieuwe DUFLOW is aan de waterkwaliteitsbeheerder een instrument ter beschikking gekomen voor een eenvoudige kwantificering van integrale waterbeheersaspecten. Het model biedt goede potenties voor verdere uitbreiding.

### Aanbevelingen

Uit de huidige toepassingen van het model zijn al enkele wenselijke uitbreidingen naar voren gekomen. Zo is er behoefte aan een goede neerslag-afvoerrelatie. Hierbij moet ook waterkwaliteit kunnen worden meegenomen. Ook is het wenselijk een koppeling te maken met GIS-systemen, zowel voor het genereren van input-bestanden als voor het presenteren van berekeningsresultaten. Uitbreiding van het aantal soorten kunstwerken, waaronder een ronde duiker en een V-vormige stuw (vistrap) kan het model nog dichter bij de praktijk van de waterbeheerder brengen. Daarnaast is het wenselijk meer dan één lozing per knoep te kunnen opgeven. Door een centrale coördinatie van deze ontwikkelingen, kunnen binnen of rondom het model DUFLOW verschillende applicaties of toepassingen voor alle waterbeheerders eenvoudig ter beschikking komen en kan wildgroei van waterkwaliteitsmodulen en applicaties worden voorkomen. Bovendien vergroot dit de toepasbaarheid omdat niet

iedere gebruiker de tijd en de middelen heeft om dergelijke applicaties te ontwikkelen.

### Literatuur

- CUWVO (1992). *Aanbevelingen voor het beleid en de vergunningverlening met betrekking tot overstortingen uit rioolstelsels en regenwaterlozingen*. CUWVO VI subwerkgroep Eisen Rioolwateroverstorten, februari 1992.
- Roos, C., Boomen, R. M. van den en Veeningen, R. (in prep.). *Haalbaarheid van de Algemene Milieu Kwaliteit Leeuwarden*.
- STOWA (1992). *DUFLOW, A micro-computer package for the simulation of one-dimensional unsteady flow and water quality in open channel systems, Version 2.0*. Wageningen, november 1992.
- Witteveen+Bos (1993a). *TEWOR, Toetsingsmodel voor de effecten op de waterkwaliteit van overstortingen uit rioolstelsels*. Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs b.v. in opdracht van de Werkgroep Riolerings West-Nederland, rapportnr. Rt.80.1., Deventer, oktober 1993.
- Witteveen+Bos (1993b). *Waterkwaliteitsmodellering Reggesysteem, Eindrapportage*. Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs b.v. in opdracht van Waterschap Regge en Dinkel, rapportnr. Aml.18.1, Deventer, september 1993.
- Witteveen+Bos (1994). *Toetsingsmodel waterspoor rioleringsplan Hellevoetsluis, een toepassing van het toetsingsmodel TEWOR*. Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs b.v. in opdracht van Zuiveringschap Hollandse Eilanden en Waarden, rapportnr. Hlv.3.1, Deventer, januari 1994.
- WRW (1992). *Aanbevelingen voor de toetsing van gemeentelijk rioleringsbeleid in West-Nederland*. Werkgroep Riolerings West-Nederland, april 1992.



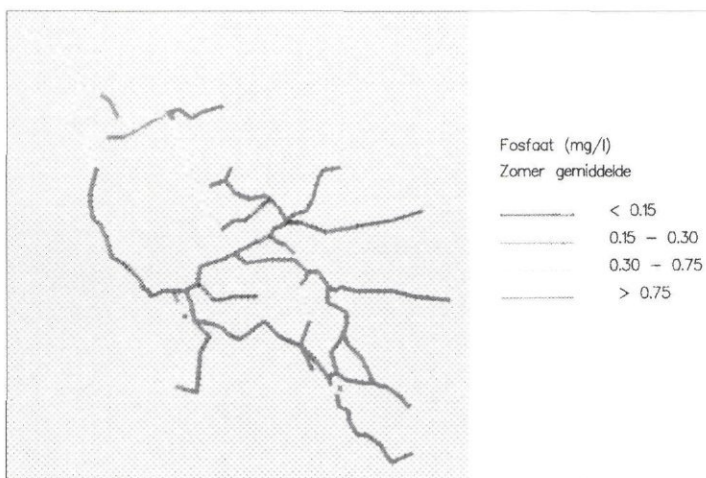
### PHLO-cursus 'Natuurdoeltypen'

Op 8, 14 en 15 februari 1995 wordt in Wageningen de PHLO-cursus 'Natuurdoeltypen' gehouden. De cursusleiding berust bij ir. J. A. Wintermans (IAH 'Larenstein', Velp). Er kunnen maximaal 30 personen deelnemen; de kosten bedragen f 1.480,-.

Het doel van de cursus is de deelnemers te laten kennismaken met de gemeenschappelijke taal die is ontwikkeld voor de invulling van de EHS, zoals uitgewerkt in de Nota ecosysteemvisies en het Handboek.

De cursus is gestemd voor natuur-, milieu- en waterbeleidsmedewerkers: opstellers van natuur-, bos-, landschaps- en inrichtingsplannen, werkzaam zowel bij de overheid als in de particuliere sector, alsmede voor onderzoekers en docenten. De inschrijftermijn van de cursus eindigt op 12 januari 1995.

Nadere inlichtingen en een folder met intekenformulier kunnen worden verkregen bij: Bureau PHLO, Postbus 8130, 6700 EW Wageningen, telefoon 08370-84093/84490, telefax 08370-84763.



Afb. 2 - GIS-presentatie van berekeningsresultaten DUFLOW.