

Het optimale aantal zuiveringsinrichtingen, een theoretische beschouwing

Inleiding

De vervanging, vernieuwing of uitbreiding van rioolwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi's) is voor de waterkwaliteitbeheerders een actuele kwestie. De vraag die zich daarbij voordoet, hoe kan het ook anders, is waar de te besteden gulden het beste tot zijn recht komt. Uitgangspunt is dat elke investering moet bijdragen aan de realisatie van de doelstellingen van het waterkwaliteitsbeleid in het beheersgebied. Daar waar als middel

belang zijn bij de benadering van het centralisatie/decentralisatie vraagstuk. Binnen de gelederen van sommige waterkwaliteitsbeheerders leeft de vraag of samenvoegen van rwzi's moet worden nagestreefd en – gegeven de huidige praktijksituatie – in welke mate. Voor een drietal zuiveringsbeheerders, te weten het hoogheemraadschap van Rijnland, de provincie Utrecht en het waterschap Regge en Dinkel heeft TAUW Infra Consult BV een studie uitgevoerd

Samenvatting

In dit artikel wordt ingegaan op de vraag of concentratie van rioolwaterzuiveringsinrichtingen in een bepaald gebied door de kwaliteitsbeheerder al dan niet zou moeten worden nagestreefd. Voor drie gebieden, te weten de beheersgebieden van het hoogheemraadschap van Rijnland, de provincie Utrecht en het waterschap Regge en Dinkel zijn studies uitgevoerd, waarin op theoretische gronden het aantal zuiveringsinrichtingen is benaderd, waarmee elk gebied optimaal – dat wil zeggen voor de laagste kosten – zou moeten zijn ingericht. Het voldoen aan de waterkwaliteitsdoelstelling staat daarbij centraal.



IR. A. J. OORTGIESEN
TAUW Infra Consult BV



ING. J. W. PLUIM
Provincie Utrecht



IR. A. J. G. v. d. MAAREL
TAUW Infra Consult BV



ING. T. J. DE JONG
Waterschap Regge en Dinkel



IR. A. J. M. OVERGAAG
Hoogheemraadschap van Rijnland

de bouw (verbouw of nieuwbouw) van rwzi's wordt gekozen om de doelstellingen te bereiken, zal steeds meer aan de volgende randvoorwaarden tegemoet moeten worden gekomen:

- vermindering van het totale ruimtebeslag van de rwzi's;
- vermindering van de hinder voor de omgeving;
- terugdringing van het energieverbruik;
- verwijdering van nutriënten uit het effluent.

Nu is het zo dat ter voldoening aan deze randvoorwaarden vanuit verschillende oogpunten (onder ander bouwkosten, energieopwekking, slibverwerking, defosfatering, automatisering, personeel) voordelen zijn verbonden aan het centraal behandelen van afvalwater in een gering aantal grote rwzi's. Daartegenover staan evenwel ook nadelen, onder andere lange transportleidingen, de bouw van meer en grotere rioolgemalen en de lozing van grote hoeveelheden effluent op één plaats met wellicht negatieve effecten op de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater. De keuze van het lozingspunt, het debiet van de ontvangende waterstroom en de waterkwaliteitseisen zijn belangrijke factoren die meespelen. Kortom, er zijn diverse aspecten die van

om op deze vraag een antwoord te geven. In onderhavig artikel wordt de benaderingswijze met enkele resultaten beschreven.

Ingegaan wordt op de volgende aspecten:

- probleemanalyse;
- inrichtingsvarianten;
- kostenberekeningen;
- gevoeligheidsanalyse;
- invloed op waterkwaliteit.

Probleemanalyse

De facto gaat het om de concretisering van het (beleids-)probleem, dat wil zeggen om het bepalen van het verschil tussen een bestaande en een gewenste situatie ofwel – nog concreter – om het verschil tussen de huidige inrichting van het beheersgebied met rwzi's en de optimale inrichting.

De optimale inrichting is in het kader van de studies gedefinieerd als die situatie waarin het aantal rwzi's zodanig is dat tegen minimale kosten wordt voldaan aan de geformuleerde effluenteisen en aan de waterkwaliteitsdoelstellingen. In feite spist de studie zich toe op een tweetal kernpunten. Het eerste kernpunt heeft betrekking op de vraag bij welke gebiedsinrichting (aantal en capaciteit van de rwzi's) de kosten voor de zuivering van het huishoudelijk afvalwater het laagst zijn

(kostenoptimalisatie). Het tweede kernpunt betreft de vraag welke invloed de effluentlozingen hebben op de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater (effecten). Met betrekking tot beide kernpunten is gekozen voor een min of meer theoretische, modelmatige aanpak; er zijn fictieve inrichtingsvarianten ontwikkeld om na te gaan wat het verschil is tussen de jaarlijkse kosten van enkele grote, centraal gelegen zuiveringsinrichtingen en meerdere kleine, verspreid gelegen zuiveringsinrichtingen. De waterkwaliteit in het waterstelsel van de beheersgebieden is gemodelleerd met behulp van een relatief eenvoudig computermodel.

Inrichtingsvarianten

Voor het ontwerpen van de varianten wordt het beheersgebied in principe beschouwd als een blanco gebied, de zogenaamde 'groene weide' zonder de huidige aanwezige rwzi's (op enkele uitzonderingen na). De uitzonderingen ontstaan daar waar bijvoorbeeld ruimtelijke beperkingen gelden ten aanzien van de situering van zuiveringstechnische werken. Zo wordt in het beheersgebied van Rijnland het leggen van leidingen en het bouwen van rwzi's in het gehele duin gebied, met name rond Zandvoort, als onmogelijk beschouwd in verband met de bestemming als waterwingebied. De bestaande rwzi-Zandvoort is daarom als een vast gegeven opgenomen. Dergelijke overwegingen bestonden ook ten aanzien van enkele andere rwzi's. (Gouda, Katwijk en Leiden). In de provincie Utrecht is de rwzi te Utrecht vrijwel niet weg te denken en in het beheersgebied van Regge en Dinkel geldt dat voor de rwzi's Enschede-West en Hengelo.

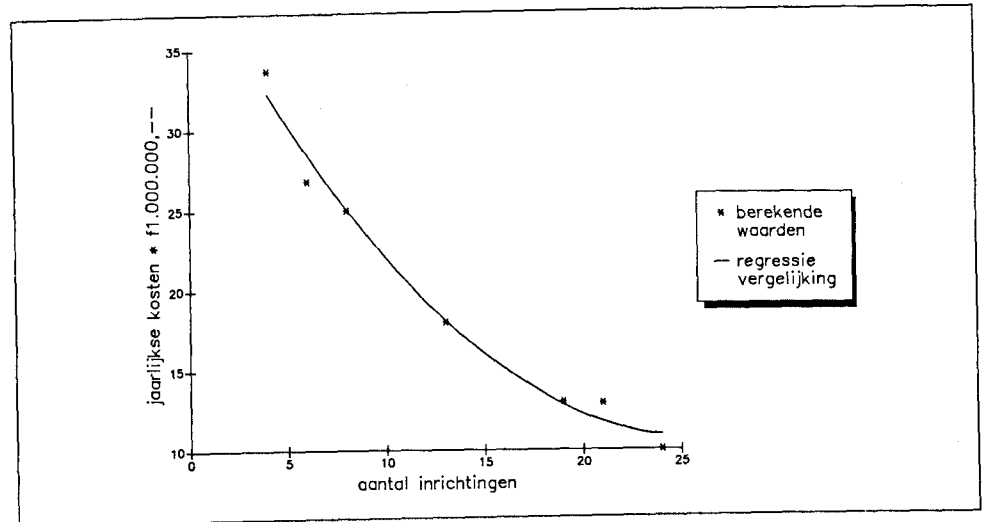
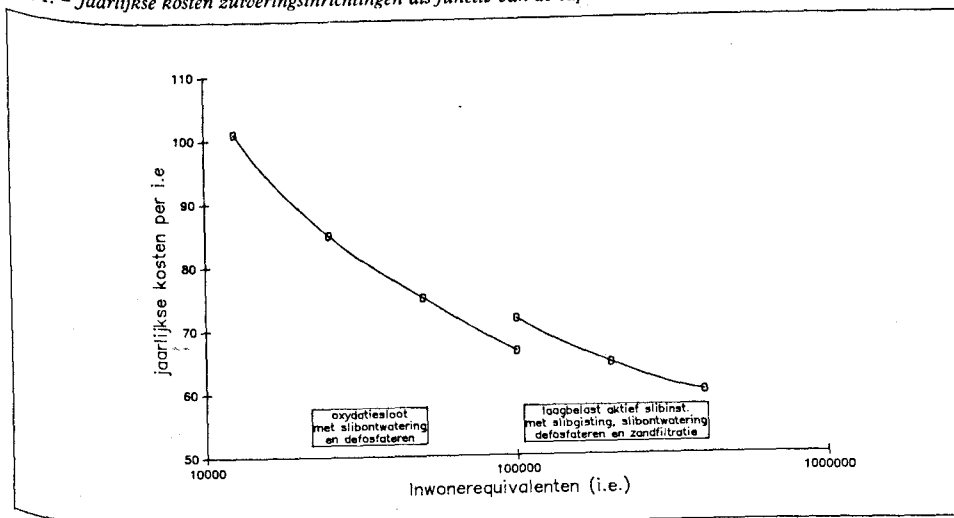
Het blanco gebied wordt vervolgens opgesplitst in fictieve ruimtelijke eenheden, de deelgebieden. Elk deelgebied wordt voorzien van één rwzi, die het huishoudelijke- en industriële afvalwater uit dat gebied zuivert. Een inrichtingsvariant kenmerkt zich door het aantal deelgebieden en dus het aantal rwzi's dat in het beheersgebied wordt geprojecteerd. Een centrale variant omvat bijvoorbeeld drie deelgebieden, elk met een grote rwzi van ca. 400.000 i.e. Daarentegen kan een decentrale variant bijvoorbeeld uit 25 deelgebieden bestaan, elk met een rwzi van ca. 50.000 i.e.

De inrichtingsvarianten verschillen onderling van elkaar in:

- aantal ruimtelijke eenheden;
- lozingspunten;
- lengte persleidingen, zowel voor het transport van het influent als effluent;
- aantal rioolgemaal.

Bij het ontwikkelen van de varianten wordt rekening gehouden met de topografie van het gebied, de ligging van de bevolkingscentra, de industriegebieden, alsmede de locaties van de rioolgemaal (de overnamepunten). Ook vindt een globale inventarisatie plaats van planologische en infrastructurale aspecten en bodemgesteldheid. Op basis hiervan kunnen niet alleen de randvoorwaarden worden geformuleerd, waaraan de indeling van het zuiveringsgebied moet voldoen, maar kunnen ook de aanlegkosten voor de persleidingen worden bepaald. In beginsel kunnen op bovengenoemde wijze oneindig veel varianten worden ontwikkeld. Het is evenwel ondoenlijk om deze allemaal handmatig uit te werken en door te rekenen en daarom wordt ten behoeve van de studie een voorselectie

Afb. 1. - Jaarlijkse kosten zuiveringsinrichtingen als functie van de capaciteit.



Afb. 2. - Jaarlijkse kosten rioolwaterleidingen als functie van het aantal rioolwaterzuiveringsinrichtingen.

gemaakt van een beperkt aantal extreem gekozen gebiedsindelingen. Wiskundig gezien maakt dit aantal dan deel uit van een veel grotere verzameling van inrichtingsmogelijkheden. Om te onderzoeken of in die verzameling oplossingen voorkomen die goedkoper zijn dan het geselecteerde aantal, wordt met behulp van wiskundige programma's (lineaire programmering) een relatie gelegd tussen het aantal rwzi's en de totale jaarlijkse kosten. Daarmee wordt dan de optimale inrichting van het gebied benaderd.

Kostenberekeningen

Voor het bepalen van de jaarlijkse kosten per variant, worden de volgende elementen onderscheiden:

- benodigde pompcapaciteit en type rioolgemaal (droog of nat opgestelde pompen);
- de benodigde diameter en lengte van de persleidingen (influent + effluent);
- grootte en type van de rwzi, inclusief de slibverwerking;

- de benodigde energie om het rioolwater te verpompen.

Vooraf zijn de uitgangspunten voor het berekenen van de zuiveringskosten vastgesteld, zoals beluchtingswijze, slibbelasting, effluenteisen enz. (de technologische uitgangspunten), maar ook ten aanzien van bijvoorbeeld personeel, onderhoud en voorzieningen tegen geluid en stank. Daarnaast zijn afspraken gemaakt over de wijze van afschrijven, het rentepercentage, de kosten voor energie, grondverwerving, chemicaliën slibverwerking/-afzet enz. In afb. 1 zijn als voorbeeld de jaarlijkse kosten per i.e. gerelateerd aan de grootte van de zuiveringsinrichting. Soortgelijke curves zijn gemaakt voor de kosten van rioolgemaal (als functie van de capaciteit) en van persleidingen (als functie van de leidingdiameter).

Onderscheid is gemaakt tussen de aanlegkosten van de leidingen in stedelijke gebieden, veengebieden en zand- of kleigebieden.

Ook is het jaarlijkse energieverbruik voor het watertransport door de persleidingen in grafische vorm weergegeven; de statistische opvoerhoogte van de rioolwaterpompen is als een fictieve leidinglengte toegevoegd.

Met behulp van deze curves zijn de totale jaarlasten van de voorgeselecteerde varianten berekend en onderling met elkaar vergeleken.

Kostenoptimalisatie

Het blijkt dat in alle drie onderzochte situaties de kosten voor zowel het zuiveren als voor de effluentafvoer hoger worden bij toenemend aantal rwzi's.

De kosten voor het transport van rioolwater worden daarentegen lager. Met name de laatste kosten spelen een zeer

dominante rol. Dit komt enerzijds omdat het leidingennet in de variant met weinig zuiveringen een grotere totale lengte heeft dan in de variant met veel zuiveringen. Anderzijds zijn in gebieden met weinig zuiveringen leidingen met grotere diameters noodzakelijk.

Zoals gesteld is in het kader van de uitgevoerde studies slechts een beperkt aantal varianten handmatig doorgerekend. Dit aantal is evenwel een selectie uit een groot scala aan mogelijkheden. De vraag blijft daarom bestaan of er combinaties zijn te bedenken van bepaalde inrichtingsvarianten, die – uit kosten oogpunt – gunstiger zijn dan de berekende gevallen. Het antwoord kan worden gevonden met behulp van de regressie-analyse.

Wanneer voor elk deelaspect de kosten per variant worden uitgezet in een grafiek met de horizontale as het aantal rwzi's en op de verticale as de jaarlijkse kosten, dan ontstaat een bepaald puntenpatroon. Het is mogelijk om voor dit patroon een wiskundige vergelijking te vinden, waarmee een grafische lijn kan worden getrokken (regressielijn).

Als voorbeeld wordt in afb. 2 de relatie weergegeven tussen de jaarlijkse kosten voor de rioolwaterleidingen en het aantal rwzi's. Op basis van dergelijke relaties, die voor elk deelaspect per beheersgebied apart moeten worden opgesteld, kunnen de kosten worden berekend voor elke variant die niet met de hand is uitgewerkt. Door alle gevonden regressielijnen te sommeren ontstaat een beeld, zoals dat in afb. 3 voor de provincie Utrecht is gevonden. Hieruit kan worden afgelezen dat de totale jaarlijkse kosten minimaal zijn als het gebied wordt ingericht met ca. 22 zuiveringsinrichtingen. Dit betekent ten opzichte van het huidige aantal (28) dat

een beperkte concentratie van het aantal rwzi's financieel voordelig is. Deze tendens doet zich ook voor in het waterschap Regge en Dinkel. Het huidige aantal rwzi's in dat gebied bedraagt 26, terwijl het gevonden optimum op ongeveer 14 uitkomt. Voor het hoogheemraadschap van Rijnland zijn de verschillen klein. Dat in deze regio de jaarlijkse lasten van een meer centrale gebiedsinrichting niet afwijken van de decentrale variant heeft te maken met de relatief zeer hoge investeringen die in dit gebied, met zijn – in het algemeen – slechte bodemgesteldheid en complexe infrastructuur, gemoeid zijn met het leggen van leidingen. Het zijn in dit gebied dan ook voornamelijk de kosten van de persleidingen die van doorslaggevende betekenis zijn bij de financiële afweging tussen centralisatie en decentralisatie van zuiveringsinrichtingen.

Gevoeligheidsanalyse

Aan de berekeningen voor het bepalen van de kosten liggen vele uitgangspunten ten grondslag. Het is de vraag in hoeverre de resultaten gevoelig zijn voor wijzigingen in die uitgangspunten. Om deze reden is het rekenproces meerdere keren doorlopen. Daarbij zijn de kosten voor de rioolwaterleidingen als variabel beschouwd, omdat deze in de studies de meest onzekere factor vormden. Het optimalisatieproces is uitgevoerd voor die situaties waarin de werkelijke kosten voor de rioolwaterleidingen 15% en 30% hoger of lager uitvallen dan de oorspronkelijke ramingen. De resultaten daarvan worden ook weergegeven in afb. 3. Daaruit blijkt dat voor de provincie Utrecht bij alle berekeningen het optimum ligt bij ca. 22 rwzi's. Bij lagere leidingskosten verandert dit optimum nauwelijks, maar bij hogere

leidingskosten verschuift het optimum iets meer in de richting van 23 à 24.

Waterkwaliteit

Behalve de kosten is het voor de beoordeling van de inrichtingsvarianten belangrijk inzicht te hebben in de invloed van de effluentlozingen op de oppervlaktewaterkwaliteit. Dit inzicht kan worden verkregen door een aantal toetsnormen te formuleren om vervolgens aan de hand van modelberekeningen na te gaan welke overschrijdingen onder de verschillende variantcondities plaatsvinden. Iets dergelijks is gedaan voor de provincie Utrecht en het Waterschap Regge en Dinkel. Bij Rijnland kon bij de opzet van de studie – op grond van aanwezige waterkwaliteitsberekeningen – reeds worden aangegeven op welke wateren of gedeelten ervan effluënten kunnen worden geloosd, zonder daarmee de waterkwaliteitsdoelstelling geweld aan te doen.

De waterkwaliteit in de watergangen van Utrecht en Regge en Dinkel zijn gemodelleerd met behulp van een stationair waterkwaliteitsmodel. In dat programma worden de oppervlaktewateren geschematiseerd voorgesteld, dat wil zeggen opgedeeld in een netwerk van takken en knopen. De takken stellen (gedeelten) van watergangen voor, terwijl de knopen kruispunten voorstellen van twee of meerdere watergangen. Op deze wijze wordt de structuur van de watergangen in beeld gebracht.

Belangrijke parameters voor het berekenen van de lozingeffecten zijn de lengten van de takken, de afvoerdebiëten (RWA en DWA) en de watervolumina. In het model wordt een stationaire situatie verondersteld; in de takken treedt propstrooming op, dispersie wordt verwaarloosd en in de knopen vindt volledige menging plaats van de waterstromen.

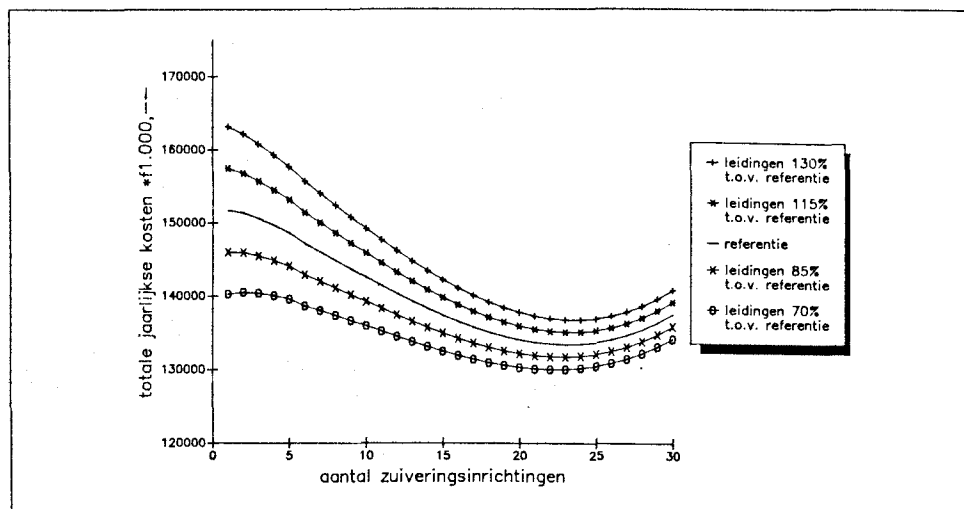
In het model worden de volgende processen gesimuleerd:

- lineaire afbraak van BZV en NH_4 ;
- zuurstofverbruik;
- reaëratie.

Verondersteld wordt dat deze processen alleen in de takken optreden en niet in de knopen. Voor het overige wordt uitgegaan van een bepaalde achtergrondkwaliteit van het oppervlaktewater.

Met behulp van het programma is voor elk inrichtingsvariant in Utrecht en Regge en Dinkel berekend welke immissieconcentraties in de takken te verwachten zijn als gevolg van de effluentlozingen van de geplande rwzi's. Alleen de concentraties van O_2 , $\text{NH}_4\text{-N}$ en BOD zijn in de

Afb. 3. - Totale jaarlijkse zuiveringskosten als functie van het aantal rioolwaterzuiveringsinrichtingen bij variabele persleidingkosten.



beschouwingen betrokken. De immissiegetallen zijn vergeleken met toetsingswaarden, die in Utrecht zijn gelijkgesteld met de waterkwaliteitsnormen voor karperachtigen en in Regge en Dinkel met speciaal voor het gebied opgestelde waterkwaliteitseisen.

In geval van overschrijdingen is – als volgende stap – nagegaan of verlaging van het lozingspunt naar een andere, mindere gevoelige, maar verder gelegen watergang (Utrecht) of het nazuiveren van het effluent met een extra zuiveringstrap (Regge en Dinkel) soelaas biedt. In beide gevallen heeft dat consequenties voor de kosten en dus ook voor de optimale inrichting van het gebied. Daarom is voor elke verplaatsing van het lozingspunt waarmee een waterkwaliteitsverbetering wordt bereikt, of voor een extra nazuivering de kostenexercitie opnieuw uitgevoerd.

Aldoende blijkt dat deze extra investeringen het optimum voor het aantal rwzi's weliswaar iets naar boven doen verschuiven, maar dat dit van geen significante betekenis is. Belangrijker is de constatering dat de oppervlaktekwaliteit onder droogweer-omstandigheden minder beïnvloed wordt door effluentlozingen dan in natte periodes. Ook is deze ongunstige beïnvloeding in de centrale variant kleiner dan in de decentrale variant.

Slotbeschouwing

Van belang is erop te wijzen dat de studies slechts een indicatief karakter dragen. Evenals bij de kostenramingen wordt in het waterkwaliteitsmodel uitgegaan van bepaalde veronderstellingen, waardoor er wellicht onnauwkeurigheden optreden. Zolang deze onnauwkeurigheden voor alle inrichtingsvarianten dezelfde zijn, zullen deze het eindresultaat niet beïnvloeden. Met het eindresultaat wordt dan ook uitsluitend beoogd om onderlinge verhoudingen en tendensen zichtbaar te maken en om een prioriteitsvolgorde aan te brengen in bepaalde zuiveringsconfiguraties. Als zondanig bieden de onderscheiden studies een referentiekader voor verdere planvorming.

De algemene tendens is dat er vanuit kostenooptpunt duidelijke optima bestaan van het aantal rwzi's in een bepaald beheersgebied. Alleen uit zorg voor de waterkwaliteit bestaat de neiging naar een aantal dat kleiner is dan deze optima. Dat betekent dat – althans in de onderzochte gebieden – het streven naar kostenoptimalisatie niet geheel congrueert met het streven naar waterkwaliteitsverbetering. In dit spanningsveld dient men evenwel niet te vergeten dat, naast de

financiële- en waterkwaliteitsaspecten, er nog vele andere aspecten zijn die voor of tegen concentratie pleiten. Deze hebben onder andere betrekking op de bestuur- en beheersbaarheid van de zuiveringen, de personeelsopbouw, de automatisering, de kwetsbaarheid van het zuiveringsproces, milieu- en ruimtelijke ordeningsaspecten en de infrastructuur ten behoeve van slibtransport. Daarenboven is het zo dat in de studies uitgegaan is van de vervangingswaarde van rwzi's, terwijl in de huidige situatie alleen met de historische kosten rekening hoeft te worden gehouden. De contante waarde van bestaande zuiveringsinrichtingen bepaalt dus mede het tijdstip waarop het financieel interessant wordt tot verdere concentratie over te gaan. Dit soort aspecten zal terdege moeten worden meegewogen bij de uiteindelijke (bestuurlijke) keuzes die in de nabije toekomst moeten worden gemaakt.



Ecologische beoordelingsmethoden

• Slot van pagina 87

zal bestaan uit een rapport met een 'wijzer' voor het ecologisch beoordelen van een oppervlaktewater, of (tevens) uit een computerprogramma dat de waterbeheerders ter beschikking zal staan, is nu nog niet bekend. Naast de ecologische beoordeling van de huidige toestand, zal de richting kunnen worden aangegeven waarin de toestand verandert bij het nemen van bepaalde maatregelen voor ecologisch herstel. In een vervolg op dit artikel zal te zijner tijd worden ingegaan op de uitkomsten van de afzonderlijke deelprojecten.

Referenties

1. Kolkwitz, R. en Marsson, M. (1902). *Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna*. Mitt. Prüfungsanst. Wasserversorg. Abwasserreinig., 1: 33-72.
2. Anonymus (1985). *Indicatief Meerjarenprogramma Water 1985-1989*. Ministeries van Verkeer en Waterstaat en Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Tweede Kamer, 19 153, nrs. 1-2.
3. Anonymus (1989). *Derde Nota Waterhuishouding*. Ministeries van Verkeer en Waterstaat en Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en Landbouw en Visserij. Tweede Kamer, 21 250, nrs. 1-2.
4. CUWVO (Coördinatiecommissie Uitvoering Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren) Werkgroep V-1 (1988). *Ecologische Normdoelstellingen voor Nederlandse Oppervlaktewateren*.
5. Liebmann, H. (1962). *Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie*. R. Oldenbourg, München.
6. STORA (1989). *Waterbeoordeling van genormaliseerde beken met behulp van macrofauna*. Den Haag.

7. Gardeniers, J. J. P. en Peeters, E. T. H. M. (1990). *Ecologische beoordelingsmethoden: de bruikbaarheid van het Gezondheidsraadadvies voor de Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater*. In: *Strategieën voor ecologische normstelling, het spel en de knikers*. A. J. Murk, A. A. A. van de Schraaf, R. Cuperus en H. A. M. de Kruijff (red.).
8. Tolkamp, H. H., Gardeniers, J. J. P. en Peeters, E. T. H. M. (1990). *Entwicklung der ökologischen Gütebeurteilung aus der biologischen Gewässergütebeurteilung in den Niederlanden*. Oekologische Bewertung von Fließgewässern. 7 mei 1990. Witzhausen, Essen.



IGWMC/IHE-cursus over modelleren

IGWMC/IHE houdt van 13 tot 17 maart 1991 te Delft een korte cursus over Modelleren van stroming en transport in de onverzadigde zone. De cursus beoogt inzicht te verschaffen in het modelleren van stroming en transport in de onverzadigde zone, wateropname door de wortels van de plant, en de effecten daarvan op (evapo)transpiratie en gewasproductie. Met name het modelleren van een-dimensionale onverzadigde stroming zal uitgebreid aan de orde komen. Tijdens de workshops zullen de mogelijkheden en beperkingen van het gebruik van de modellen SWATRE/SWACROP en MUST voor het oplossen van onverzadigde-zoneproblemen worden behandeld.

Docenten: W. H. M. Duynisveld (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Duitsland), R. A. Feddes (Landbouwuniversiteit, Wageningen), P. Kabat (Winand Staring Centrum, Wageningen), P. J. M. de Laat (International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, Delft). De cursus wordt georganiseerd door het International Ground Water Modeling Center (IGWMC) en het International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering (IHE), Delft, Nederland.

Voor meer informatie:
IGWMC-Delft, p/a TNO Dienst
Grondwaterverkenning,
Postbus 6012, 2600 JA Delft,
tel. 015 - 69 72 15, fax 015 - 56 48 00

of

IHE's secretariaat, Postbus 3015,
2601 DA Delft,
tel. 015 - 78 34 04, fax 015 - 12 29 21.