

Verdunning van effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties in het Nederlandse Oppervlaktewater

Inleiding

Veel stoffen, die in meer of mindere mate gevaarlijk zijn voor het milieu, komen via rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi) in het oppervlaktewater terecht. Naast al het huishoudelijk afvalwater wordt in de rwzi's ook een groot gedeelte van het industriële afvalwater verwerkt, bijvoorbeeld van de (foto)grafische industrie [1, 2] en leer- of textielververijen [3].



A. C. M. DE NIJS
Laboratorium voor
Water en Drinkwater
RIVM



J. DE GREEF
Centrum voor
Wiskundige Methoden
RIVM

In de meeste rwzi's wordt alleen het biologisch afbreekbare organische materiaal verwijderd, de slecht afbreekbare stoffen komen met het effluent direct in het milieu [4, 5].

Deze emissie- en verspreidingsroute vormt in het 'Beoordelingssysteem Nieuwe Stoffen' (BNS) de basis voor de schatting van concentraties in het oppervlaktewater [6, 7]. Het doel van het BNS, dat op het RIVM wordt ontwikkeld, is om met behulp van modellen een systematische voorspelling te geven van de risico's van nieuwe stoffen¹ voor mens en milieu. Deze beoordeling vindt plaats op basis van de EG-richtlijn 79/831/EG, die is opgenomen in de Wet Milieugevaarlijke Stoffen en het Kennisgevingsbesluit Wet Milieugevaarlijke Stoffen. Het risico van een stof hangt af van de toxiciteit van de stof, de concentratie van de stof in het milieu en de tijdsduur gedurende welke organismen aan deze concentratie worden blootgesteld. Hierbij bepaalt de verdunning van effluent in belangrijke mate de concentraties die uiteindelijk in het water op zullen treden.

Verdunningsfactoren voor effluent zijn eerder door Holman [8] en Rapaport [9] bepaald voor enkele stroomgebieden in de Verenigde Staten van Amerika (VS). De concentratie in het oppervlaktewater werd in het BNS berekend met de gemiddelde verdunningsfactor van

Samenvatting

De verdunning van effluent bij rioolwaterzuiveringsinstallaties is in belangrijke mate bepalend voor de concentraties van stoffen die via het afvalwater in het aquatisch systeem terecht komen. In het kader van het project 'Beoordelingssysteem Nieuwe Stoffen' zijn de verdunningsfactoren bepaald bij alle rioolwaterzuiveringsinstallaties in Nederland die hun effluent lozen op zogenaamde 'gesloten' oppervlaktewatersystemen. Hiervoor is informatie uit de enquête voor zuivering van afvalwater van het CBS gecombineerd met een model om de verdunning duizend meter stroomafwaarts van het lozingspunt te berekenen. Naast de verdunningsfactor van het effluent zijn het Reynolds getal en de menglengte in het oppervlakte berekend.

De meeste oppervlaktewateren zijn volledig turbulent. De hypothetische menglengte varieert voor de meeste systemen van 1 tot 10 km, in de grote rivieren kan hij echter oplopen tot 100 km of meer. De effluent ontvangende oppervlaktewateren in Nederland kan men grofweg verdelen in twee groepen, enerzijds de grote rivieren als Rijn, Maas en Schelde, anderzijds bestaat het uit kleine oppervlaktewatersystemen als polder- en boezemwateren, beken en kanalen. Meer dan de helft van de rioolwaterzuiveringsinstallaties loost zijn effluent op deze kleine oppervlaktewateren.

De resultaten laten zien dat de mediane verdunningsfactor in Nederland ongeveer 30 is, variërend van 1 voor de kleine polderwateren tot 100.000 voor lozingen op de Rijn. In twintig procent van de gevallen is de verdunningsfactor kleiner dan 5; het water bestaat 1.000 meter stroomafwaarts van het lozingspunt voor meer dan $\frac{1}{5}$ uit effluent.

Het gebruik van een gemiddelde verdunningsfactor bij de beoordeling van stoffen leidt in 50% van de gevallen tot een onderschatting van de concentraties en het risico voor het aquatische ecosysteem. Voor de beoordeling van stoffen moet men rekening houden met de grote variatie in de verdunningsfactor.

Holman voor de VS. Voor het oppervlaktewatersysteem in Nederland, karakteristiek met zijn polder-, boezemwateren en kanalen, zijn geen publikaties over verdunningsfactoren bekend. In dit onderzoek is de verdunning in gesloten oppervlaktewateren beschouwd, waarop meer dan 90% van de Nederlandse rwzi's zijn effluent loost. Uit de literatuur is een model geselecteerd dat op basis van de beschikbare informatie de verspreiding en de verdunning van de stof in het oppervlaktewater beschrijft. Hieronder worden de belangrijkste modelresultaten gerapporteerd (Reynolds getallen, menglengtes en verdunningsfactoren). Tenslotte worden de resultaten uit deze studie vergeleken met de gegevens van Holman en Rapaport. De verdunningsfactoren zijn al eerder gebruikt om de concentratie van wasverzachter (DTDMAC) in het oppervlaktewater te berekenen [10].

Verdunning

Het effluent van een rwzi dat wordt geloosd op het oppervlaktewater zal niet direct volledig gemengd zijn met het omringende water. Gaandeweg zal de lozing door turbulentie in alle richtingen gedispergeerd worden. Uiteindelijk zal er over de gehele breedte van het oppervlaktewater een uniforme concentratie bereikt worden. De verspreiding van de

stof wordt in eerste instantie bepaald door het type water. De variatie aan typen oppervlaktewater in Nederland is groot (tabel I). Men kan deze systemen in twee groepen verdelen: 'open' oppervlaktewateren (zeeën, estuaria, meren en plassen) en gesloten oppervlaktewateren (rivieren, beken, kanalen, boezem- en polderwateren). In de open oppervlaktewateren wordt de verspreiding van het effluent slechts in geringe mate beperkt door de oevers van het systeem.

In de gesloten wateren zijn de oevers in belangrijke mate bepalend voor de verspreiding en de concentraties van de stof in het systeem. De open oppervlaktewateren zijn buiten beschouwing gelaten omdat, naast het geringe aantal, de turbulentie primair wordt veroorzaakt door de getijdewerking of de invloed van de wind op het water. In de gesloten oppervlaktewateren daarentegen wordt de turbulentie voornamelijk bepaald door de stroomsterkte van het water.

In een langzaam stromend oppervlaktewater zal de stroming vrijwel laminair zijn. Het Reynolds getal (Re), een maat voor de turbulentie [11], zal bij laminaire stroming kleiner zijn dan 500. Bij toenemende stroomsnelheid neemt, ook door weerstand met de bodem, de turbulentie toe en boven een bepaalde stroomsnelheid is het water volledig turbulent ($Re > 3.000$). Naast de stroomsnelheid

¹ Nieuwe stoffen zijn stoffen die ná 18 september 1981 op de communautaire markt zijn gebracht, geproduceerd of geïmporteerd worden.

van het oppervlaktewateren is de breedte, diepte en vorm (meanderend of gekanaliseerd) van het systeem bepalend voor de mate van verdunning. De afstand van het lozingspunt tot de plaats waar volledige menging wordt bereikt, de menglengte [12], kan voor de grote rivieren aanzienlijk oplopen, 10 tot 100 km [13, 14].

Modelkeuze

De meeste modellen die de menging van een lozing in een rivier beschrijven, lijken sterk op elkaar betreffende de basisprincipes: turbulentie en dispersie. Onderlinge verschillen komen voort uit de keuze van de mathematische oplossing voor de advectie-dispersievergelijking, het beschouwde aantal dimensies en de wijze waarop de grootte van de dispersiecoëfficiënt wordt geschat [15, 16, 17, 18, 19]. De keuze van het model werd beperkt door de beschikbare informatie. Zo is de ligging van de lozingspijp in het oppervlaktewater van belang voor het verdere verloop van het verspreidingspatroon [20], maar dit aspect kon door de gebrekkige informatie hierover niet in beschouwing worden genomen. Daarnaast moest het model toepasbaar zijn voor oppervlaktewater variërend van polderwateren tot grote rivieren.

Voor dit onderzoek is gebruikt gemaakt van een model afkomstig uit Fischer [15], dat de menging van twee 'rivieren' beschrijft (zie appendix). Hierdoor kan men met dit model de verdunning beschrijven afhankelijk van zowel de afvoer van de effluentlozing als het ontvangende water. De gehanteerde initiële omstandigheden na lozing zijn gebaseerd op een snelle en complete dissipatie van de energie en opwaartse druk waarbij het effluent over de helft van de dwarsdoorsnede van het oppervlaktewater volledig wordt gemengd. Deze veronderstelling over de initiële menging leidt in bredere oppervlaktewateren, zoals de grote rivieren, tot een overschatting van de menging; de maximumconcentratie in het systeem zal onderschat worden.

Met dit model kan men de concentratie van de geloosde stof in twee dimensies in het oppervlaktewater berekenen, longitudinaal ten opzichte van het lozingspunt en transversaal ten opzichte van de kant van de rivier. Een uitgebreide toelichting is te vinden in het RIVM-rapport van dit onderzoek [21]. Met het model is de maximale concentratie over de dwarsdoorsnede in het oppervlaktewater berekend, 100 en 1.000 m stroomafwaarts van het lozingspunt. De verdunningsfactor is gedefinieerd als het quotiënt van effluent- en oppervlakte-

Appendix: Model Beschrijving

Invoer Variabelen:

w	breedte van het oppervlakte water	[m]
h	diepte van het oppervlakte water	[m]
Q_w	oppervlaktewater afvoer	[m ³ /s]
Q_e	effluent afvoer	[m ³ /s]

Constanten:

n = 0.025	Manning coëfficiënt	[m]
$v_w = 1.14 \cdot 10^{-6}$	kinematische viscositeit van water bij 15 °C	[m ² /s]
g	Gravitatie constante	[m/s ²]

Randvoorwaarden:

$y_0 = 0$	transversale afstand van het lozingspunt ten opzichte van de kant van het oppervlakte-water	[m]
$C_w = 0$	oppervlaktewater concentratie	[g/m ³]
$C_e = 1$	effluent concentratie	[g/m ³]

Intermediare Berekeningen:

$\bar{u} = \frac{Q_w + Q_e}{wh}$	gemiddelde longitudinale stroomsnelheid	[m/s]
$C_w = \frac{Q_e C_e + Q_w C_w}{Q_w + Q_e}$	concentratie bij complete menging	[g/m ³]

waterconcentratie ter plaatse van de oever waar geloosd is.

Beschikbare informatie

De meeste informatie is afkomstig uit de enquête voor zuivering van afvalwater van 1986 van het Centraal Bureau voor Statistiek (CBS). Deze enquête bevat gegevens van in totaal 492 gemeentelijke rwzi's. Al deze rwzi's verwerken huishoudelijk afvalwater. Ongeveer de helft verwerkt daarnaast ook industrieel afvalwater. De louter industriële afvalwater-zuiveringsinstallaties zijn niet in deze enquête en dit onderzoek opgenomen. De enquête bevat weinig concrete informatie over het ontvangende oppervlaktewater. Het beheer van de oppervlaktewateren is in 105 gevallen (21%) in handen van Rijkswaterstaat, de resterende 387 wateren vallen onder regionale autoriteiten, Provinciale Waterstaat, waterschappen, zuiveringsschappen, heemraadschappen enzovoort. In de zuiverings-enquête wordt de afvoer van het effluent en het aantal huishoudelijke en industriële inwoners-equivalenten vermeld per rwzi. Daarnaast is gebruik gemaakt van de CBS-classificatie van het oppervlaktewater naar hydrologische situatie. Per type ontvangend oppervlaktewater is het aantal rwzi's bepaald, verdeeld naar de beherende instantie, nationaal of regionaal

$R_h = \frac{wh}{w + 2h}$	hydraulische straal	[m]
$R = \frac{R_h \bar{u}}{V_w}$	Reynolds getal bij 15 °C	[]
$C_f = \frac{1,5 R_h^{1/6}}{n}$	Chezy coëfficiënt	[m ^{-5/6}]
$u_* = \frac{\bar{u}}{C_f} \sqrt{g}$	schuifspanningssnelheid	[m/s]
$D = 0,60 hu$	transversale dispersiecoëfficiënt	[m ² /s]
$L_{mix} = 0,4 \bar{u} \frac{w^2}{D}$	lengte van de mengzone	[m]
Transformatie van de x en y schaal:		
$x' = x \frac{D}{u w^2}$	transformatie van x	[]
$y' = \frac{y}{w}$	transformatie van y	[]
Reflectie vergelijking voor twee samenvloeiende rivieren van gelijke breedte:		
$C(x, y) = C_\infty \sum_{n=-3}^{+3} \left\{ \operatorname{erf} \left\{ \frac{(y' + 1/2 + 2n)}{\sqrt{4x'}} \right\} \operatorname{erf} \left\{ \frac{(y' - 1/2 + 2n)}{\sqrt{4x'}} \right\} \right\}$		
		[mol/m ³]

TABEL I – De verschillende typen oppervlaktewater onderscheiden in de enquête voor zuivering van afvalwater van het Centraal Bureau voor Statistiek (1986), verder onderverdeeld naar beheer, nationaal, door Rijkswaterstaat of lokaal, door regionale overheden, provincies, waterschappen, (heemraadschappen, hoogheemraadschappen, zuiveringsschappen, etc.). Zoete wateren zijn meren en plassen, zoete wateren, zeeën en estuaria.

Water	Nationaal	Lokaal
polderwater	–	126
boezemwater	–	51
kanalen	26	76
beken	–	83
rivieren	–	45
grote rivieren	59	–
zoete wateren	10	6
zoete wateren	10	–

(tabel I). De grote wateren, zoals de Rijn, Maas, Schelde, de randmeren enzovoort, vallen onder Rijkswaterstaat, de kleinere oppervlaktewateren zijn in beheer bij lokale, regionale overheden.

Gegevens over de breedte en diepte van de grote rivieren en kanalen zijn verzameld via hydrologische en topografische kaarten. Voor de overige oppervlaktewateren werden geschatte waarden gebruikt (tabel II). Afvoeren van de meeste rijkswateren zijn verkregen via het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA). Voor de kleinere oppervlakte-

TABEL II – Invoergegevens voor de modelberekeningen. De eerste twee kolommen geven per type oppervlaktewater de geschatte breedte en diepte, voor de grote rivieren en kanalen zijn de mediane breedte en diepte gegeven. De laatste twee kolommen geven de mediane stroomsnelheid en de geschatte waarde voor ontbrekende gegevens.

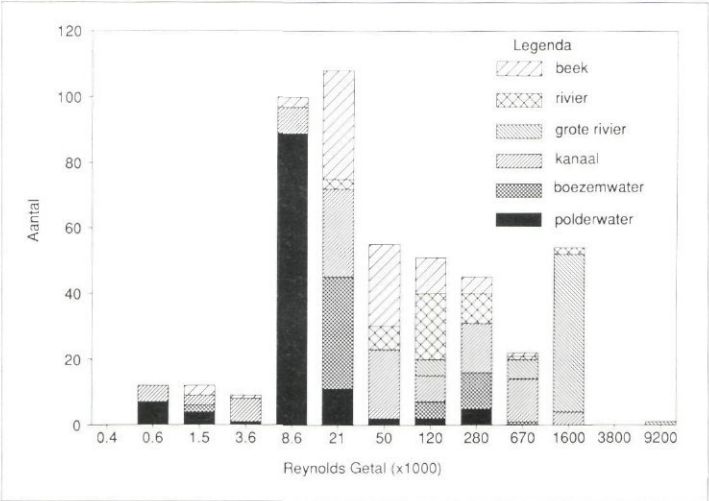
Water type	Diepte [m]	Breedte [m]	Stroom-snelheid [m]	
	Schatting	Schatting	Data	Schatting
polderwater	1	5	0,013	0,010
boezemwater	1	15	0,084	0,010
kanaal	2	30	0,023	0,020
grote rivier	4	150	0,359	0,359
rivier	2	15	0,099	0,099
beek	0,75	3	0,058	0,058

TABEL III – Invoergegevens voor de modelberekeningen. De eerste 2 kolommen geven de mediane afvoer van het oppervlaktewater en het percentage van de afvoergegevens die via het RIZA en de vervolgenquête zijn verkregen. De laatste kolom geeft de mediane afvoer van effluent.

Water type	Oppervlaktewater Afvoer [m ³ /s]		Effluent Afvoer [m ³ /s]
	Data	Perc. Data	Data
polderwater	0,08	28	0,047
boezemwater	3,60	36	0,219
kanaal	2,30	83	0,0265
grote rivier	286,00	93	0,0459
rivier	3,00	76	0,0433
beek	0,14	56	0,0177

wateren is er een vervolgenquête gehouden onder de beheerende instanties waarbij de meeste afvoeren voor beken, polder- en boezemwateren verkregen zijn. De gegevens die hierna nog ontbraken zijn gebaseerd op de mediane stroomsnelheid per klasse (tabel III). In het geval dat er geen afvoer of stroomsnelheid werd gerapporteerd maar wel de indicatie van een zeer geringe afvoer werd gegeven, is de afvoer van het oppervlaktewater geschat op basis van een gemiddelde stroomsnelheid van 0,01 m/s.

Afb. 1 – Histogram van het Reynolds getal in de oppervlaktewateren bij de rwi's onderverdeeld naar het type.



De resultaten

De resultaten van de modelberekeningen worden gegeven voor de twee belangrijkste groepen, de complete verzameling van rwi's in Nederland en de deelverzameling van gemeentelijke rwi's die naast huishoudelijk afvalwater ook industrieel afvalwater zuiveren. De complete verzameling van rwi's is karakteristiek voor de emissie en beoordeling van (nieuwe) stoffen die via huishoudelijk gebruik in het afvalwater terechtkomen, terwijl de onderscheiden deelverzameling kenmerkend is voor emissie via kleinschalige industrieën die gebruik maken van gemeentelijke zuiveringsfaciliteiten.

Reynolds getallen

In het model wordt volledige turbulentie van het oppervlaktewater verondersteld. Voor de controle van deze aanname is voor ieder effluent ontvangend water het Reynolds getal berekend. De verdeling van de Reynolds getallen in afb. 1 geeft een grote spreiding te zien. In ongeveer 5% van de gevallen heersen sub-turbulente condities. Vooral polder- en boezemwateren bevinden zich in een soort overgangstoestand tussen laminair en volledig turbulent. De turbulentie van deze wateren wordt in grote mate bepaald door externe omstandigheden, wind-invloeden en toevallige gebeurtenissen en scheep- en pleziervaart. Onder deze omstandigheden is het gebruik van het model voor de berekening van de menglengte en verdunningsfactoren niet geheel gerechtvaardigd. De menging wordt in deze gevallen in meer of mindere mate overschat.

Menglengten

Vervolgens zijn, om een beter beeld te

krijgen van de variatie in het Nederlandse oppervlaktewater, de menglengten bij alle rwi's berekend.

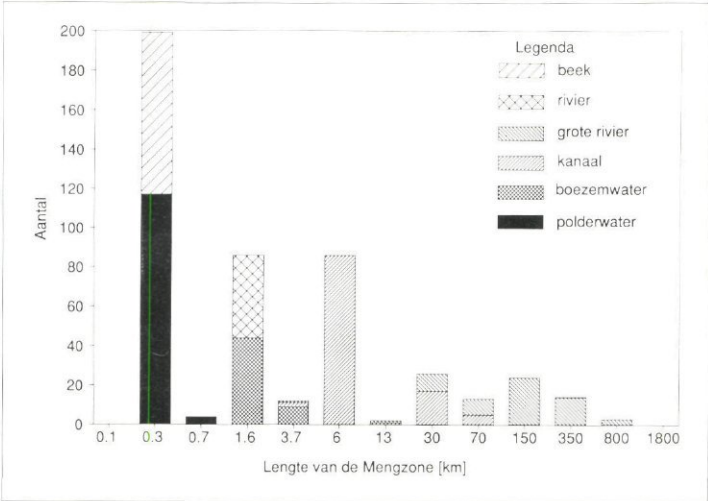
De resultaten in afb. 2 laten zien dat volledige menging nooit wordt bereikt binnen 100 meter van het lozingspunt, voor de meeste oppervlaktewateren treedt volledige menging pas 1 tot 10 km stroomafwaarts van het lozingspunt op. Voor de beken en polderwateren blijft de menglengte beperkt tot maximaal 500 meter. Het valt op dat de hypothetische menglengte voor de grote rivieren en kanalen kan oplopen tot meer dan 100 km. Waarden boven de 100 km zijn enerzijds het gevolg van de relatief grote breedte die sommige rivieren in Nederland hebben, anderzijds worden ze veroorzaakt door het gebruik van een gemiddelde dispersie coëfficiënt in het model.

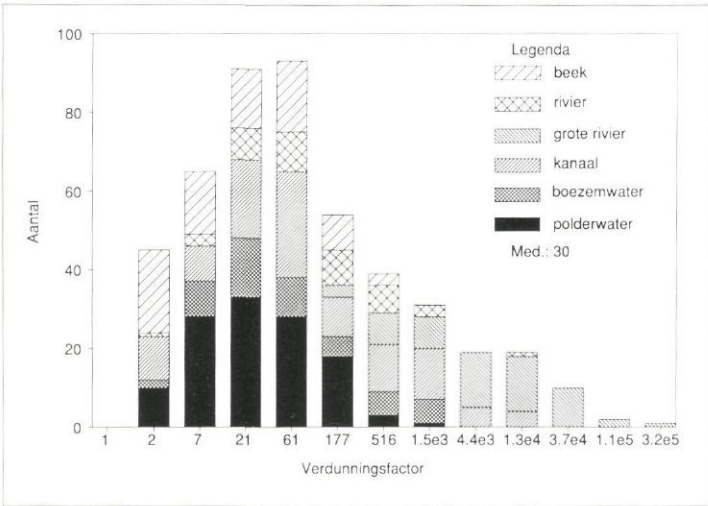
Verdunningsfactoren

De mediane verdunningsfactor voor de verschillende typen oppervlaktewater wordt in tabel IV gegeven voor beide groepen rwi's, samen met de fractie van rwi's waarbij de verdunningsfactor kleiner is dan 5.

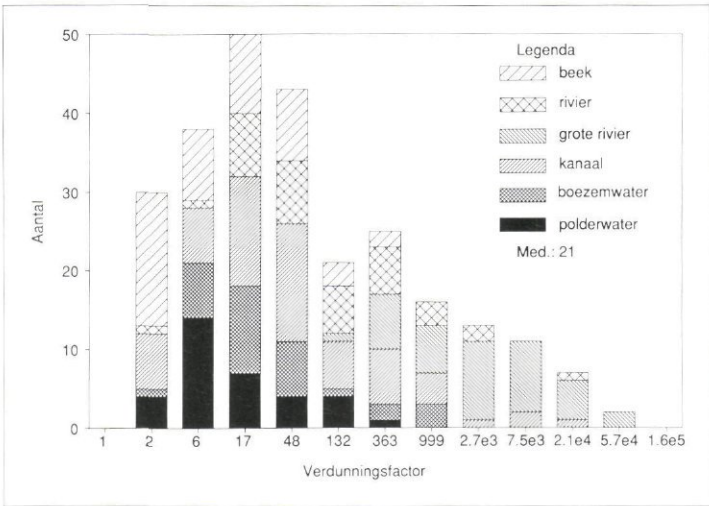
De grote variatie in hydrologische kenmerken komt duidelijk tot uiting in de mate van verdunning van effluent in de verschillende typen oppervlaktewater in Nederland. Binnen hetzelfde oppervlaktewatersysteem is het verschil in de verdunningsfactor op respectievelijk 100 en 1.000 meter stroomafwaarts van het lozingspunt relatief gering. De mediane verdunningsfactor neemt toe van 10 voor polderwateren en beken tot 50 voor de rivieren, daar tussenin liggen de boezemwateren en kanalen. Alleen in de grote

Afb. 2 – Histogram van de menglengte in de oppervlaktewateren bij de rwi's onderverdeeld naar het type.





Afb. 3 - Histogram van de verdunningsfactor 1.000 meter stroomafwaarts van het lozingspunt voor alle rivier's (n = 469) in Nederland die hun effluent lozen op gesloten oppervlaktewater. In de klassen is een onderscheid gemaakt naar type oppervlaktewater. De klassewaarden op de ordinaat zijn weergegeven in een normale schaal met een exponentieel interval. Ook wordt de mediane verdunningsfactor voor deze dataset gegeven.



Afb. 4 - Histogram van de verdunningsfactor 1.000 meter stroomafwaarts van het lozingspunt voor de deelverzameling van rivier's (n = 256) die zowel huishoudelijk als industrieel afvalwater verwerken. In de klassen is een onderscheid gemaakt naar type oppervlaktewater. De klassewaarden op de ordinaat zijn weergegeven in een normale schaal met een exponentieel interval. Ook wordt de mediane verdunningsfactor voor deze dataset gegeven.

TABEL IV – Mediane verdunningsfactoren (VF) van effluent voor de verschillende typen oppervlaktewater en de fractie van effluent ontvangende oppervlaktewatersystemen waar de verdunningsfactor kleiner is dan 5, beide op 100 resp. 1.000 m stroomafwaarts van het lozingspunt.

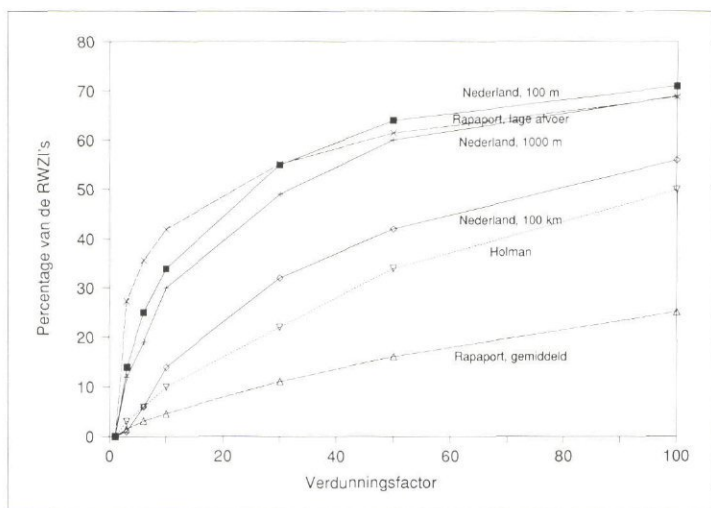
Water Type	Verdunningsfactor		VF < 5		Verdunningsfactor		VF < 5	
	(Huishoudens)		(Huishoudens)		(Huis. en Ind.)		(Huis. en Ind.)	
polderwater	11	15	0,31	0,25	5	6	0,53	0,47
boezemwater	14	24	0,28	0,08	7	13	0,44	0,13
kanaal	35	42	0,16	0,15	18	25	0,22	0,20
grote rivier	3.200	3.200	0,00	0,00	1.830	1.830	0,00	0,00
rivier	34	59	0,19	0,07	28	50	0,19	0,06
beek	8	9	0,39	0,37	6	6	0,48	0,46
totaal			0,23	0,18			0,30	0,23

rivieren treedt een sterke verdunning van het effluent op. Het oppervlaktewater bij de rwzi's blijkt in 20 tot 30% van de gevallen een verdunningsfactor kleiner dan 5 te hebben. Dit betekent dat het oppervlaktewater tot ver achter de zuiveringsinstallatie voor meer dan 20% uit effluent bestaat. De kans dat in polderwater en beken het effluent slecht verdund wordt, neemt toe naarmate de afvoer van effluent groter wordt. In de relatief kleinere polderwateren kan men daarnaast verwachten dat de menging van het effluent met het oppervlaktewater zich gedurende bepaalde perioden slecht ontwikkelt, zodanig dat er sprake kan zijn van sub-turbulente condities. Deze situatie ontstaat omdat de waterstand in de polders kunstmatig op peil wordt gehouden; voor de landbouw is het niveau in de zomer hoger dan in de winter. In het najaar wordt het overtollige regenwater afgevoerd naar de boezemwateren en kanalen. In het voorjaar neemt het regenoverschot af en zal eventueel water toegevoerd moeten worden om het gewenste zomerpeil te bereiken. In de zomermaanden stagneert het systeem echter. Gedurende warme en droge

perioden moet in dit seizoen extra water worden toegevoerd om het verlies door verdamping, beregning en evapotranspiratie aan te vullen. Onder dergelijke omstandigheden zal het effluent gedurende langere tijd praktisch niet verdund worden. Het gebruik van het model is dan niet gerechtvaardigd. Bij een zeer geringe afvoer en menging zal het oppervlaktewater rond het lozingspunt geleidelijk in beide richtingen praktisch gevuld worden met effluent. De verdunningsfactoren zullen in werkelijkheid nog lager zijn dan de door het model voorspelde waarden. Het effluent zal onder deze omstandigheden slechts in zeer geringe mate verdund worden. Aan de kant van het oppervlaktewater waar het effluent geloosd wordt, bevindt zich een zone met relatief veel hogere concentraties die zich tot ver stroomafwaarts uit kan strekken. De zone strekt zich verder uit als de waterkanten begroeid zijn met rietkragen en dergelijke en er grote verschillen zijn in dichtheid en temperatuur tussen effluent en oppervlaktewater. Deze factoren zullen de menging nog verder beperken. In deze

oppervlaktewateren zullen over de dwarsdoorsnede grote concentratiegradiënten voorkomen tot ver achter het lozingspunt en de plaats waarvoor de verdunningsfactor is bepaald. De verdunningsfactoren in dit artikel geven geen informatie over de concentratieverdeling van de stof in de dwarsrichting van de rivier totdat complete menging bereikt is.

De verdeling van de verdunningsfactor 1.000 meter stroomafwaarts van het lozingspunt is voor beide onderscheiden groepen rwzi's weergegeven in afb. 3 en 4. De verschillende klassewaarden op de horizontale as zijn in een normale schaal weergegeven met een exponentieel interval. De grote spreiding in de verdunningsfactoren geeft de enorme variatie in de mate van verdunning in het oppervlaktewater weer. De mediane verdunningsfactor voor de volledige groep rwzi's is 30, terwijl voor de deelverzameling met ook industriële lozingen deze factor 21 bedraagt. Tegenover enkele grote verdunningsfactoren, zoals in de Rijn, staan de vele kleine waarden die optreden in beken, polder- en boezemwateren. Meer dan de helft van de 492 rwzi's loost zijn effluent op klein oppervlaktewater, relatief veel meer dan de 59 rwzi's die op de grote rivieren lozen (zie ook tabel I). Voor de risico-beoordeling van stoffen moet men wel rekening houden met deze grote spreiding in de verdunningsfactoren. Als men alleen uitgaat van de mediane waarde over alle oppervlaktewateren onderschat men het risico in de helft van de effluent ontvangende oppervlaktewateren, de beken, polder- en boezemwateren aanzienlijk.



Afb. 5 - Vergelijking van de cumulatieve frequentieverdeling van de verdunningsfactor op basis van de resultaten uit dit onderzoek en het werk van Holman [10] en Rapaport [11].

Vergelijking met Holman en Rapaport

Tenslotte zijn de resultaten uit dit onderzoek vergeleken met verdunningsfactoren voor de Verenigde Staten van Amerika. Holman [8] heeft de verdunningsfactor berekend voor 161 stroomgebieden in de VS bij een gemiddelde afvoer. Rapaport [9] heeft voor de berekening van de verdunningsfactor gebruik gemaakt van gegevens uit 3 databases van Environmental Protection Agency, waaronder de NEEDS Survey en de Stream Flow File. Verder heeft hij rekening gehouden met het afvoerregime en het type zuiveringsinstallatie. De cumulatieve frequentieverdeling in afb. 5 toont de resultaten uit dit onderzoek samen met de gegevens van Holman en Rapaport voor actief-slibinstallaties, het meest voorkomende type zuiveringsinstallatie.

In vergelijking met de gegevens uit de VS komt de cumulatieve verdeling voor de verdunningsfactor 1.000 meter stroomafwaarts van het lozingspunt het meest overeen met de resultaten van Rapaport bij lage afvoeromstandigheden. Er bestaat echter een groot verschil in de gebruikte methoden. Zowel Holman als Rapaport berekent de verdunningsfactor bij volledige menging. De verdunningsfactoren in dit onderzoek zijn berekend onafhankelijk van het feit of volledige menging bereikt was. Om de methoden enigszins vergelijkbaar te maken is ook de hypothetische verdeling van de verdunningsfactor 100 km stroomafwaarts van de lozing door ons berekend en in de afbeelding weergegeven. Op deze afstand zal, behalve voor enkele brede rivieren, in de meeste gevallen volledige menging bereikt zijn. Zoals was te verwachten, geeft deze verdeling een verdere menging te zien. Het percentage rwzi's met een lage verdunningsfactor neemt af en is

kleiner dan bij Rapaport onder lage afvoeromstandigheden maar is nog altijd aanzienlijk hoger dan onder gemiddelde afvoeromstandigheden in de VS.

Het verschil wordt onder meer veroorzaakt doordat de hydrologische situatie in Nederland anders is dan die in de VS. Het oppervlaktewatersysteem in de VS is opgebouwd uit een netwerk van kleine rivieren en beken die uitkomen op steeds groter wordende rivieren. Uiteindelijk vloeien deze stromen samen in enkele grote rivieren die uitmonden in de zee. Het oppervlaktewater in Nederland onderscheidt zich hiervan, enerzijds bestaat het uit een aantal grote rivieren, Rijn, Maas en Schelde, anderzijds wordt het voor een belangrijk deel gevormd door het oppervlaktewaterstelsel in de polders. De relatief grote bijdrage van lage verdunningsfactoren komt voort uit het grote aantal rwzi's (> 50%) dat zijn effluent loost op beken, polder- en boezemwateren.

Conclusies

Door het ontbreken van goede, betrouwbare informatie over de hydrologische parameters van veel oppervlaktewateren, wordt het gebruik van modellen voor het berekenen van de verdunning van effluenten bemoeilijkt. Het gebruik van het hier toegepaste model is niet geheel gerechtvaardigd voor de kleinere polderwateren waar sprake kan zijn van sub-turbulente condities. Vooral gedurende de zomermaanden kan men verwachten dat de menging van het effluent met het oppervlaktewater zich slecht ontwikkelt. Het effluent zal onder deze omstandigheden slechts in zeer geringe mate verdund worden. De verdunningsfactoren zullen in werkelijkheid nog lager zijn dan de door het model voorspelde waarden.

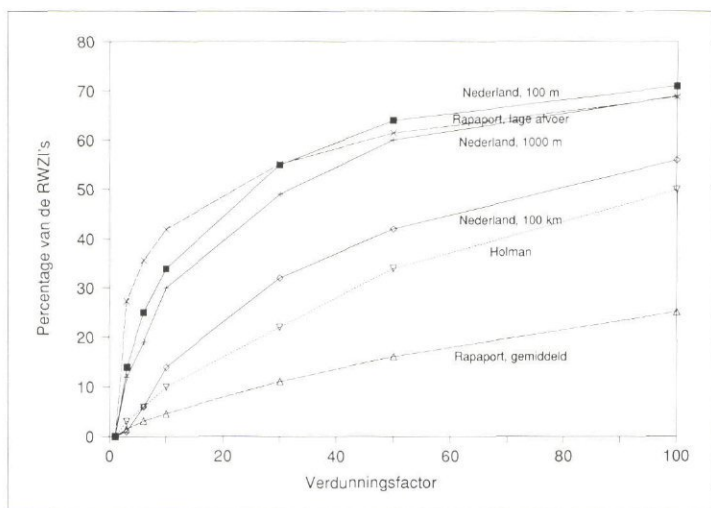
Ook voor de bredere oppervlaktewateren, de grotere rivieren en kanalen, worden de verdunningsfactoren overschat omdat in het model is aangenomen dat het effluent bij lozingspunt zich direct tot halverwege het systeem volledig mengt met het ontvangend oppervlaktewater. De resultaten van deze studie moet men zien als een grove indicatie van de verdunning van effluent in het Nederlandse oppervlaktewater. Toch kan men aan de hand van deze studie een aantal conclusies trekken.

De menglengte varieert voor de meeste oppervlaktewateren tussen de 1 en 10 km. In de kleine polderwateren en beken wordt volledige menging na 500 meter bereikt, in de grote rivieren pas 10 tot 100 km stroomafwaarts van het lozingspunt. Zolang er nog geen volledige menging is bereikt, zullen er over de dwarsrichting belangrijke concentratiegradiënten in het oppervlaktewater voorkomen.

Uit de resultaten van het onderzoek blijkt dat er geen significant verschil is in de verdunning van effluent tussen de gemeentelijke rwzi's die ook industrieel afvalwater behandelen en de complete verzameling van gemeentelijke rwzi's. De mediane verdunningsfactor 1.000 meter stroomafwaarts van het lozingspunt is voor alle rwzi's ongeveer 30 ten opzichte van 21 voor de deelverzameling van rwzi's met een industriële afvalwatercomponent. Dit verschil wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de relatief hogere afvoer van rwzi's die ook industrieel afvalwater verwerken.

Als men de verdeling van verdunningsfactoren bij alle rwzi's beschouwt, valt in eerste instantie de grote spreiding op. De verdunningsfactor varieert van 1 in praktisch stagnante polderwateren tot 100.000 in de Rijn. De verdeling van de verdunningsfactoren is sterk asymmetrisch, lognormaal. Men kan de verzameling van verdunningsfactoren voor de rwzi's in Nederland verdelen in twee groepen, enerzijds de grote rivieren en anderzijds de kleine oppervlaktewateren, de polder-, boezemwateren en beken.

Bij de beoordeling van stoffen moet men wel rekening houden met deze grote spreiding in verdunningsfactoren. Het gebruik van een landelijk gemiddelde verdunningsfactor leidt tot een grove onderschatting van het risico voor het aquatische ecosysteem in de vele kleinere oppervlaktewateren. Meer dan de helft van de rwzi's loost zijn effluent op beken,



Afb. 5 - Vergelijking van de cumulatieve frequentieverdeling van de verdunningsfactor op basis van de resultaten uit dit onderzoek en het werk van Holman [10] en Rapaport [11].

Vergelijking met Holman en Rapaport

Tenslotte zijn de resultaten uit dit onderzoek vergeleken met verdunningsfactoren voor de Verenigde Staten van Amerika. Holman [8] heeft de verdunningsfactor berekend voor 161 stroomgebieden in de VS bij een gemiddelde afvoer. Rapaport [9] heeft voor de berekening van de verdunningsfactor gebruik gemaakt van gegevens uit 3 databases van Environmental Protection Agency, waaronder de NEEDS Survey en de Stream Flow File. Verder heeft hij rekening gehouden met het afvoerregime en het type zuiveringsinstallatie. De cumulatieve frequentieverdeling in afb. 5 toont de resultaten uit dit onderzoek samen met de gegevens van Holman en Rapaport voor actief-slibinstallaties, het meest voorkomende type zuiveringsinstallatie.

In vergelijking met de gegevens uit de VS komt de cumulatieve verdeling voor de verdunningsfactor 1.000 meter stroomafwaarts van het lozingspunt het meest overeen met de resultaten van Rapaport bij lage afvoeromstandigheden. Er bestaat echter een groot verschil in de gebruikte methoden. Zowel Holman als Rapaport berekent de verdunningsfactor bij volledige menging. De verdunningsfactoren in dit onderzoek zijn berekend onafhankelijk van het feit of volledige menging bereikt was. Om de methoden enigszins vergelijkbaar te maken is ook de hypothetische verdeling van de verdunningsfactor 100 km stroomafwaarts van de lozing door ons berekend en in de afbeelding weergegeven. Op deze afstand zal, behalve voor enkele brede rivieren, in de meeste gevallen volledige menging bereikt zijn. Zoals was te verwachten, geeft deze verdeling een verdere menging te zien. Het percentage rwzi's met een lage verdunningsfactor neemt af en is

kleiner dan bij Rapaport onder lage afvoeromstandigheden maar is nog altijd aanzienlijk hoger dan onder gemiddelde afvoeromstandigheden in de VS.

Het verschil wordt onder meer veroorzaakt doordat de hydrologische situatie in Nederland anders is dan die in de VS. Het oppervlaktewatersysteem in de VS is opgebouwd uit een netwerk van kleine rivieren en beken die uitkomen op steeds groter wordende rivieren. Uiteindelijk vloeien deze stromen samen in enkele grote rivieren die uitmonden in de zee. Het oppervlaktewater in Nederland onderscheidt zich hiervan, enerzijds bestaat het uit een aantal grote rivieren, Rijn, Maas en Schelde, anderzijds wordt het voor een belangrijk deel gevormd door het oppervlaktewaterstelsel in de polders. De relatief grote bijdrage van lage verdunningsfactoren komt voort uit het grote aantal rwzi's (> 50%) dat zijn effluent loost op beken, polder- en boezemwateren.

Conclusies

Door het ontbreken van goede, betrouwbare informatie over de hydrologische parameters van veel oppervlaktewateren, wordt het gebruik van modellen voor het berekenen van de verdunning van effluënten bemoeilijkt. Het gebruik van het hier toegepaste model is niet geheel gerechtvaardigd voor de kleinere polderwateren waar sprake kan zijn van sub-turbulente condities. Vooral gedurende de zomermaanden kan men verwachten dat de menging van het effluent met het oppervlaktewater zich slecht ontwikkelt. Het effluent zal onder deze omstandigheden slechts in zeer geringe mate verdund worden. De verdunningsfactoren zullen in werkelijkheid nog lager zijn dan de door het model voorspelde waarden.

Ook voor de bredere oppervlaktewateren, de grotere rivieren en kanalen, worden de verdunningsfactoren overschat omdat in het model is aangenomen dat het effluent bij lozingspunt zich direct tot halverwege het systeem volledig mengt met het ontvangend oppervlaktewater. De resultaten van deze studie moet men zien als een grove indicatie van de verdunning van effluent in het Nederlandse oppervlaktewater. Toch kan men aan de hand van deze studie een aantal conclusies trekken.

De menglengte varieert voor de meeste oppervlaktewateren tussen de 1 en 10 km. In de kleine polderwateren en beken wordt volledige menging na 500 meter bereikt, in de grote rivieren pas 10 tot 100 km stroomafwaarts van het lozingspunt. Zolang er nog geen volledige menging is bereikt, zullen er over de dwarsrichting belangrijke concentratiegradiënten in het oppervlaktewater voorkomen.

Uit de resultaten van het onderzoek blijkt dat er geen significant verschil is in de verdunning van effluent tussen de gemeentelijke rwzi's die ook industrieel afvalwater behandelen en de complete verzameling van gemeentelijke rwzi's. De mediane verdunningsfactor 1.000 meter stroomafwaarts van het lozingspunt is voor alle rwzi's ongeveer 30 ten opzichte van 21 voor de deelverzameling van rwzi's met een industriële afvalwatercomponent. Dit verschil wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de relatief hogere afvoer van rwzi's die ook industrieel afvalwater verwerken.

Als men de verdeling van verdunningsfactoren bij alle rwzi's beschouwt, valt in eerste instantie de grote spreiding op. De verdunningsfactor varieert van 1 in praktisch stagnante polderwateren tot 100.000 in de Rijn. De verdeling van de verdunningsfactoren is sterk asymmetrisch, lognormaal. Men kan de verzameling van verdunningsfactoren voor de rwzi's in Nederland verdelen in twee groepen, enerzijds de grote rivieren en anderzijds de kleine oppervlaktewateren, de polder-, boezemwateren en beken.

Bij de beoordeling van stoffen moet men wel rekening houden met deze grote spreiding in verdunningsfactoren. Het gebruik van een landelijk gemiddelde verdunningsfactor leidt tot een grove onderschatting van het risico voor het aquatische ecosysteem in de vele kleinere oppervlaktewateren. Meer dan de helft van de rwzi's loost zijn effluent op beken,

polder- en boezemwater waarbij er sprake is van een geringe verdunning. In 20% van de oppervlaktewateren is het effluent, 1.000 meter stroomafwaarts van het lozingspunt, slechts 5 maal verdund.

In vergelijking met de situatie in de VS kan men concluderen dat de verdunning in Nederland in zijn totaliteit geringer is en ongeveer overeenkomt met de verdunning onder kritisch lage-afvoeromstandigheden in de VS. In Nederland is er relatief een veel grotere bijdrage van kleine oppervlaktewater systemen. Het gebruik van verdunningsfactoren uit deze Amerikaanse studies voor het Nederlandse oppervlaktewater in het BNS valt sterk af te raden.

Verantwoording

De afvoergegevens die in deze studie zijn gebruikt werden door alle oppervlakte-waterbeheerders ter beschikking gesteld. Ir. A. van Mazijk van de Vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeheersing, Faculteit der Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft gaf commentaar en adviezen bij de keuze van het model.

Literatuur

- Ros, J. P. M. en Bogte, J. J. (1985). *Beoordelingssysteem Nieuwe Stoffen: Uitvoerverwachting Fotochemicaliën. Rapport nr. 850412*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven.
- Ros, J. P. M. (1985). *Beoordelingssysteem Nieuwe Stoffen: Uitvoerverwachting Papierchemicaliën. Rapport nr. 738620002*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven.
- Ros, J. P. M. (1985). *Beoordelingssysteem Nieuwe Stoffen: Uitvoerverwachting Textielkleurstoffen. Rapport nr. 851502001*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven.
- DBW/RIZA (1985). *Oriënterend onderzoek naar het gedrag van niet-zuurstofbindende en milieuvriendelijke stoffen in rioolwaterzuiveringsinstallaties. Nota Nr. 86.06*. Dienst Binnen Wateren /Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater, Lelystad.
- Heide, B. A. (1984). *Niet-zuurstofbindende en milieuvriendelijke stoffen in afvalwaterstromen. Rapport nr. A 163*. Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek-TNO, Delft.
- Roghair, C. J. (1988). *Beoordelingssysteem Nieuwe Stoffen I: Produktie- of marktvolume tussen 1 en 100 ton/jaar. Rapport nr. 678701001*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven.
- Nijls, A. C. M. de, Knoop, J. M. and Vermeire, T. G. (1988). *Risk Assessment of New Chemical Substances: System Realisation and Validation. Rapport nr. 718703001*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven.
- Holman, W. F. (1981). *Estimating the Environmental Concentrations of Consumer Product Components. Aquatic Toxicology and Hazard Assessment: Fourth Conference. ASTM STP 737*.
- D. R. Branson and K. L. Dickson, Eds., American Society for Testing and Materials, pp. 159-182.
- Rapaport, R. A. (1988). *Prediction of Consumer Product Chemical Concentrations as a Function of Publicly Owned Treatment Works, Treatment Type and Riverine Dilution. Env. Tox. And Chem., Vol 7*, pp. 107-115.
- Leeuwen, K. van, Roghair, C., Greef, J. de en Nijls, T. de. (1990). *Wasverzachters II, Resultaten van een aanvullend onderzoek. H₂O, (23) nr. 11*.
- Csanady, G. T. (1973). *Turbulent Diffusion in the Environment*. Geophysics and Astrophysics Monographs, vol. 3, D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, The Netherlands.
- Brock Neely, W. (1982). *The Definition and Use of Mixing Zone. Env. Science and Technol., 16*, 9:519A-5121A.
- Mazijk, A. van. (1983). *Dispersie in de Nederlandse Maas. Rapport nr. 8-83*. Technische Hogeschool, afd. der Civiele Techniek, Vakgroep Vloeistofmechanica, Delft.
- Mazijk, A. van. (1987). *Verspreiding van Stoffen in de Rijn en de Consequenties voor de Representativiteit van Meetpunten. H₂O, 20*, pp. 207-212.
- Fischer, H. B., Imberger, J., List, E. J., Koh, R. C. Y., Brooks, R. H. (1979). *Mixing in Inland and Coastal Waters*. Academic Press, New York.
- Noppeney, R. M. (1988). *Gevoeligheidsonderzoek Alarmmodel Rijn: De invloedslengte van samen-vloeiingen bij dispersie. Mededelingnr. 20*, Technische Universiteit Delft, Fac. Der Civiele Techniek, Vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeheersing, Nederland.
- Noppeney, R.M. (1988). *Gevoeligheidsonderzoek Alarmmodel Rijn: De invloed van 'Nearfield' Processen op 'Farfield' Dispersieverschijnselen. Mededelingnr. 22*, Technische Universiteit Delft, Fac. der Civiele Techniek, Vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeheersing, Nederland.
- Yotsukura, N., Cobb, E. D. (1972). *Transverse Mixing of Solutes in Natural Streams. US Geol. Survey Prof. Paper, 582C*.
- Harden, T. O. en Shen, T. H. (1979). *Numerical Simulation of Mixing in Natural Streams. Am. Soc. Civ. Eng. J. Hydraul. Div. Proc., 105*, pp. 393-408.
- Harris, C.J. (ed). (1979). *Mathematical Modelling of Turbulent Diffusion in the Environment. Proc. Conf. on Mathematical Modelling of Turbulent Diffusion in the Environment, Liverpool University, Liverpool, U.K., 12-13 September 1978*. Academic Press, London.
- Greef, J. de and Nijls, A. C. M. de (1990). *Risk Assessment of New Chemical Substances. Dilution of effluent in The Netherlands. Rapport nr. 670208001*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven.

• • •

Aquatech 92: Vijfentwintig jaar watertechnologie

Aquatech, de grootste vakbeurs op het gebied van watertechnologie, wordt in 1992 voor de vijfentwintigste keer georganiseerd. Op de beurs en tijdens diverse lezingen wordt thematisch ingegaan op een kwart eeuw watertechnologie als basis voor de toekomst. Aquatech 92 vindt plaats van 1 tot en met 4 september 1992 in het RAI Tentoonstellings- en Congressentrum in Amsterdam.

Aquatech 92 bestrijkt alle sectoren van de waterindustrie. Het expositieprogramma omvat de gehele watercyclus: winning, transport, distributie, opslag en behandeling. Deze presentatie van watertechnologie vindt voor de veertiende keer plaats. In 1992 is het vijfentwintig jaar geleden dat de eerste Aquatech werd gehouden.

De vakbeurs kan wederom rekenen op internationale belangstelling. Er is al bekend dat er landeninzendingen uit Denemarken, Duitsland, Finland, Frankrijk, Groot-Brittannië, de Verenigde Staten en Zwitserland aanwezig zullen zijn.

Congressen

Internationale en nationale instanties uit de waterindustrie organiseren tijdens Aquatech 92 een aantal congressen en symposia. In de meeste Europese landen is het noodzakelijk dat de riolerings-systemen gemoderniseerd worden. Daarom houden the International

Association of Water Pollution Research and Control (IAWPRC), the European Water Pollution Control Association (EWPCA), de Nederlandse Vereniging voor Afvalwaterbehandeling en Waterkwaliteitsbeheer (NVA) hierover een congres 'Sewage into 2000'.

Naast riolering komt ook de verbetering van afvalwaterbehandeling aan de orde. Een tweedaagse Europese conferentie 'Recently identified pollutants in water resources' besteedt aandacht aan de behandeling van oppervlaktewater, oeverfiltraat en grondwater. De conferentie wordt georganiseerd door de commissie Water Resources and Desalination and Reuse van de International Water Supply Association (IWSA).

Voor meer informatie over Aquatech 92 of de congressen kunt u contact opnemen met de RAI Persdienst, mevrouw A. Kanters, Europaplein, 1078 GZ Amsterdam, telefoon 020 - 54 91 212.



Amsterdam **rai**