Inventarisatie en evaluatie van technieken voor het polijsten van rwzi-effluent

Inleiding

Door de toegenomen kennis van het aquatische milieu is duidelijk geworden dat een groot aantal stoffen al in zeer geringe concentraties in het oppervlaktewater een nadelige invloed heeft op flora en fauna. Op basis van resultaten van ecotoxicologisch onderzoek zijn deze inzichten vertaald in zogenaamde streef- en grenswaarden voor oppervlaktewaterkwaliteit.

IR. J. RIENKS
RIZA

IR. K. MEINEMA
DHV Water BV

Samenvatting

In een studie, uitgevoerd door DHV Water BV in opdracht van het RIZA, is onderzocht of het mogelijk is het effluent van communale rioolwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi's) door aanvullende waterzuivering met bestaande technieken te laten voldoen aan de streef- en grenswaarden voor oppervlaktewaterkwaliteit. Hiertoe is een drietal hoofdvarianten en enige subvarianten geselecteerd en nader beschouwd. In de varianten is differentiatie aangebracht wat betreft de mate van zuivering. Uitgaande van de maximumgehalten aan microverontreinigingen in het rwzi-effluent volgens bij het RIZA beschikbare meetcijfers luidt de conclusie dat voor bijna alle beschouwde stoffen de streefwaarden voor oppervlaktewaterkwaliteit en desinfectie kunnen worden behaald met de variant met het hoogste zuiveringsrendement. Een uitzondering betreft de bestrijdingsmiddelen lindaan, diazinon en atrazine. Voor de andere varianten geldt dat de streefwaarden voor oppervlaktewaterkwaliteit voor veel stoffen worden onderschreden, afhankelijk van de gehaltes in het effluent van de rwzi. Voor de geselecteerde zuiveringstechnieken zijn de exploitatiekosten berekend. Ook is aandacht geschonken aan milieu-aspecten als energieverbruik en slibproduktie.

Naast industriële en diffuse bronnen van waterverontreiniging veroorzaken effluentlozingen van communale rioolwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi's) mede het overschrijden van de geldende grens- en streefwaarden voor oppervlaktewaterkwaliteit. Het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA) heeft voor een groot aantal stoffen op basis van beschikbare onderzoekgegevens onderzocht in welke concentratie ze in het effluent van rwzi's kunnen voorkomen. Het bereik in concentratie (minimum-maximum) is vergeleken met de grens- en streefwaarden voor oppervlaktewaterkwaliteit. Duidelijk is dat veel stoffen in hogere concentraties in rwzi-effluent voor kunnen komen dan de voor deze verbindingen geldende grens- en/of streefwaarden. Verwacht wordt dat het relatieve aandeel van rwzi's in de totale belasting van het oppervlaktewater door de voortgaande sanering van industriële lozingen in de toekomst nog verder zal toenemen. Op nationaal niveau leidt deze belasting van het oppervlaktewater tot knelpunten in het realiseren van de gewenste oppervlaktewater- en waterbodemkwaliteit. Dat is zeker lokaal het geval waar het effluent van een rwzi wordt geloosd op een klein ontvangend oppervlaktewater. Een verminderde belasting van het milieu door rwzi's lijkt in de toekomst derhalve onontkoombaar.
Dit kan op verschillende manieren worden verwezenlijkt, namelijk door voorkomen van verontreiniging aan de bron, optimalisatie en uitbreiding van rwzi's en ook toepassing van additionele zuiveringstechnieken, aangeduid als effluentpolijsting of quartaire zuivering. Om inzicht te krijgen in de mogelijkheden en kosten van effluentpolijsting heeft het RIZA DHV Water BV opdracht verstrekt om een inventarisatie en een evaluatie van de toepassing(-smogelijkheden) van bestaande waterzuiveringstechnieken uit te voeren. De studie bestond uit een literatuuronderzoek, gevolgd door een selectie en ontwerp van een aantal varianten voor effluentpolijsting. De studie is begin 1995 afgerond met een eindrapport. In dit artikel zijn de resultaten van deze studie beschreven.

Literatuuronderzoek

Het literatuuronderzoek is met een groot aantal trefwoorden uitgevoerd in het bestand Aqualine. Dit leverde 1800 titels op, waaruit 180 artikelen zijn aangevraagd. Verder is gebruik gemaakt van circa 50 artikelen en boeken die door het RIZA zijn geselecteerd vanuit het bestand Chemical Abstracts. Bij de verwerking van de verworven literatuur is vooral aandacht geschonken aan combinaties van zuiveringstechnieken, daar verwacht wordt dat alleen op deze wijze vergaande zuivering van rwzi-effluent mogelijk zou zijn. Een groot aantal artikelen beschrijft echter fundamenteel onderzoek van één techniek, waarbij het vaak om behandeling van oppervlaktewater voor de drinkwaterbereiding of industrieel afvalwater gaat. Uit het literatuuronderzoek is gebleken dat vooral in droge gebieden in de Verenigde Staten enkele praktijkinstallaties bij rwzi's aanwezig zijn, die zowel zwevend stof als opgeloste stoffen verwijderen. In tabel I is een overzicht gegeven van de beschreven combinaties van zuiveringstechnieken voor rwzi-effluent, waarbij ook het doel van de waterbehandeling is aangegeven. De bestemming van het vergaand gezuiverde water varieert van aanvulling van grond- en oppervlaktewater, irrigatie, produktie van proceswater voor de industrie tot produktie van drinkwater.

Uit het overzicht van tabel I kan worden geconcludeerd dat in vrijwel alle gevallen een voorbehandeling wordt uitgevoerd voor de verwijdering van gesuspendeerde stof door coagulatie en sedimentatie of filtratie. De hoofdbehandeling bestaat uit (een combinatie van) een membraanfiltratieproces, actief-koolfiltratie, chemische oxydatie of ionenwisseling. Voor de nabehandeling wordt gebruik gemaakt van conditionering (zuurgraad, hardheid) en desinfectie met chloor, UV of ozon.

Ontwerp

Het ontwerp van de quartaire zuiveringstrap wordt in de eerste plaats bepaald door de te beïnvloeden stoffen en parameters en de mate van beïnvloeding, gewoonlijk uitgedrukt als zuiveringsrendement. De keuze van te beschouwen stoffen en parameters is een complexe materie, daar er een afweging aan ten grondslag ligt die deels sterk lokatiegebonden is. Hierbij speelt vooral een rol welke (milieuhygiënische) invloed het polijsten van rwzi-effluent heeft op de oppervlaktewater- en waterbodemkwaliteit. In de uitgevoerde verkennende, technologisch gerichte studie voerde het te ver om op dit punt een uitgebreide analyse te verrichten. Derhalve zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:
- parameterkeuze op grond van een lijst met streef- en grenswaarden voor oppervlaktewaterkwaliteit uit de Evaluatienota Water (ENW) en bij RIZA beschikbare onderzoekgegevens;
- toepassing van een worst-case benadering waardoor alle in rwzi-effluent

TABEL I – *Samenvattend overzicht van buitenlandse quartaire zuiveringstrappen.*

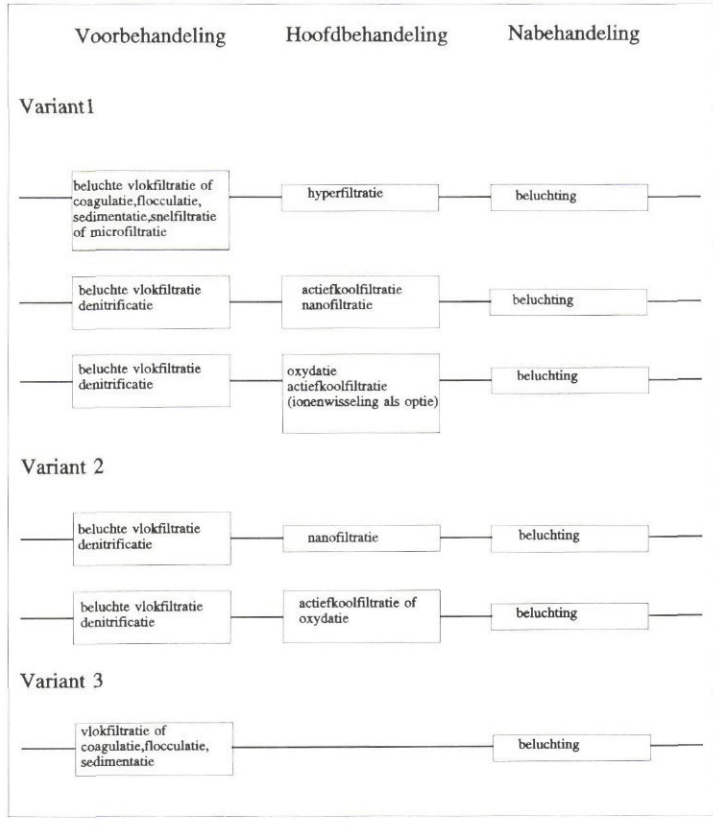
Lokatie	Voorbehandeling	Hoofdbehandeling	Nabehandeling	Doel
Singapore	filtratie kaarsenfiltratie	hyperfiltratie/ electrodialyse	ionenwisseling	produktie van proceswater
Port Elizabeth (Zuid-Afrika)	snelfiltratie chloring	hyperfiltratie	decarbonisatie pH-correctie	produktie van proceswater (demonstratie)
Verenigde Staten	–	ultrafiltratie actief-koolfiltratie	UV	hergebruik voor irrigatie
Verenigde Staten (Title 22)	coagulatie flocculatie sedimentatie	filtratie	chloring/ ozonisatie	hergebruik voor irrigatie
Verenigde Staten (Title 22)	–	coagulatie filtratie	chloring/ ozonisatie	hergebruik voor irrigatie
Berlijn, Tegler See (Duitsland)	coagulatie sedimentatie	coagulatie filtratie	–	fosfaatverwijdering
Lake Tahoe (Verenigde Staten)	filtratie	actief-koolfiltratie	chloring	grondwateraanvulling
Water Factory 21 (Verenigde Staten)	kalkdoseren luchtstrippen recarbonatie filtratie	actief-koolfiltratie hyperfiltratie	chloring	grondwateraanvulling
San Diego (Verenigde Staten)	coagulatie filtratie	hyperfiltratie	luchtstrippen actief-koolfiltratie desinfectie	produktie van drinkwater (demonstratie)
Denver (Verenigde Staten)	kalkdosering recarbonatie drukfiltratie	ionenwisseling actief-koolfiltratie ozonisatie hyperfiltratie	luchtstrippen chloring	produktie van drinkwater (demonstratie)

aangetoonde stoffen en daarmee samenhangende parameters als chemisch zuurstofverbruik (CZV) van belang worden geacht voor de oppervlaktewater(bodem) kwaliteit;
- keuze van zuiveringstechnieken uit op praktijkschaal toegepaste waterzuiveringstechnieken; de zuiveringsrendementen zijn afgeleid van literatuurgegevens en van bedrijfservaringen in vooral de drinkwaterbereiding;
- er is geen rekening gehouden met onderlinge beïnvloeding van zuiveringstechnieken (bijvoorbeeld ozon en actiefkoolfiltratie);
- als effluenteisen voor de quartaire zuivering zijn de streef- en grenswaarden voor oppervlaktewaterkwaliteit gehanteerd.

De keuze van zuiveringstechnieken is in de eerste plaats gebaseerd op zuiveringsrendementen, die benodigd zijn voor het behalen van de streef- of grenswaarden voor oppervlaktewaterkwaliteit. Het benodigde rendement is berekend uit maximaal in rwzi-effluent gemeten concentraties van stoffen en de streef- respectievelijk de grenswaarden. Uit deze berekening blijkt dat daarvoor hoge tot zeer hoge zuiveringsrendementen nodig zijn, namelijk 80 tot meer dan 95%. Dit kan alleen maar worden bereikt door zowel zwevend stof als opgeloste stoffen te verwijderen.
Bij het bepalen van de rendementen voor afzonderlijke technieken is rekening gehouden met de wijze waarop een stof in effluent voorkomt (opgelost of gebonden aan zwevend stof) en de plaats in een keten van technieken (bijvoorbeeld hyperfiltratie wordt alleen toegepast op effluent waaruit het zwevend stof verwijderd is).

Voor realisatie van hoge zuiveringsrendementen is slechts een beperkt aantal technieken beschikbaar, te weten membraanfiltratie (met name hyperfiltratie), chemische oxydatie en actiefkoolfiltratie of een combinatie van deze technieken. Met membraanfiltratie of oxydatie kan het water ook vergaand worden gedesinfecteerd.
Naast het behalen van streef- of grenswaarden voor oppervlaktewaterkwaliteit voor zoveel mogelijk stoffen is ook een derde variant bestudeerd, die verwijdering van zwevend stof en daaraan gebonden verontreinigingen zoals zware metalen (voor circa 20-80% gebonden aan zwevend stof) en organische microverontreinigingen (voor circa 0-80% gebonden aan zwevend stof) tot doel heeft. Bij dosering van specifieke vlokmiddelen kunnen de rendementen voor sommige stoffen worden verhoogd. Ook kunnen hierdoor fosfaten vergaand worden verwijderd.

Op grond van de aangegeven beschouwingen zijn de volgende drie varianten onderscheiden:
1. zuivering tot streefwaarden voor oppervlaktewaterkwaliteit en desinfectie;
2. zuivering tot grenswaarden voor oppervlaktewaterkwaliteit en desinfectie;
3. zuivering tot de grenswaarden voor totaal-fosfaat en zware metalen met incidentele overschrijding voor zware



Afb. 1 - Blokschema's van de varianten.

TABEL II – *Effluentconcentraties van de quartaire zuivering, vergeleken met de grenswaarden voor oppervlaktewaterkwaliteit.*

Parameter	Eenheid	Grens-waarde	Zuiveringscombinatie Effluentconcentratie					
			Variant 1a	Variant 1b	Variant 1c	Variant 2a	Variant 2b	Variant 3a
Nutrienten								
totaal fosfaat	mg P/l	0,15	0,023	0,001	0,02	0,001	0,02	0,1
totaal stikstof	mg N/l	2,2	0,23	0,405	0,73	0,45	0,81	9,0
ammonium	mg N/l	0,01	0	0	0	0	0	0
Algemene parameters								
zuurstof	mg/l	3-5	4	4	4	4	4	4
zuurgraad	-	6,5-9	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
kleur	mg/l Pt/Co	-	-	-	-	-	-	-
Microbiologische parameters								
thermotolerante coli's	MPN/ml	20	0,625-6,25	4,38-43,8	4,38-43,8	6,25-62,5	6,25-62,5	500-5000
enterovirussen (als F-spec.RNA bact.fagen)	MPN/ml	-	0	0	0	0	0	0,05-0,5
faecale streptococcen	MPN/ml	-	0,06-0,625	0,44-4,38	0,44-4,38	0,625-6,25	0,625-6,25	50-500
salmonella	MPN/ml	-	?	?	?	?	?	?
Zouten								
bromide	mg Br/l	8	0,001-0,02	0,03-0,48	0,04-0,68	0,03-0,48	0,04-0,68	0,04-0,68
chloride	mg Cl/l	200	1,25-8,75	35-245	50-350	35-245	50-350	50-350
sulfaat	mg SO4/l	100	0,75-5,0	3,0-20	30-200	3,0-20	30-200	30-200
Zwevend stof	mg/l	-	0,01	0,005	0,18	0,02	0,6	4,5
CZV	mg/l	-	0,075-0,2	0,06-0,15	0,225-0,6	0,11-0,3	0,45-1,2	15-40
Zware metalen								
cadmium	µg/l	0,2	<0,001-0,007	<0,001-0,02	<0,01-0,21	<0,001-0,02	<0,01-0,23	<0,01-0,29
kwik	µg/l	0,03	<0,001-0,035	<0,003-0,1	<0,025-1,0	<0,003-0,1	<0,03-1,1	<0,045-1,8
koper	µg/l	3	0,008-0,6	0,01-0,58	0,07-5,8	0,01-0,64	0,08-6,4	0,1-8,0
nikkel	µg/l	10	<0,02-0,35	<0,06-1,1	<0,57-11,3	<0,06-1,3	<0,63-12,6	<0,7-14
lood	µg/l	25	<0,004-0,11	<0,004-0,11	<0,04-1,1	<0,004-0,12	<0,04-1,2	<0,05-1,5
zink	µg/l	30	0,1-1,8	0,28-5,4	2,8-54	0,31-6,0	3,1-60	3,9-75
chroom	µg/l	20	<0,008-0,25	<0,01-0,24	<0,07-2,4	<0,01-0,26	<0,08-2,64	<0,1-3,3
arseen	µg/l	10	<0,003-0,03	<0,003-0,03	<0,03-0,29	<0,003-0,03	<0,03-0,32	<0,12-1,2
MAK's								
tolueen	µg/l	-	<0,01-0,05	<0,01-0,04	<0,01-0,07	<0,07-0,405	<0,12-0,73	<0,35-2,1
m- en p-xyleen	µg/l	-	<0,045	<0,09	<0,11	<0,88	<1,13	<1,4
benzeen	µg/l	-	<0,005-0,02	<0,01-0,035	<0,01-0,045	<0,09-0,35	<0,11-0,45	<0,14-0,56
ethylbenzeen	µg/l	-	<0,01-0,02	<0,02-0,04	<0,03-0,06	<0,22-0,44	<0,28-0,57	<0,35-0,7
o-xyleen	µg/l	-	<0,01-0,02	<0,02-0,04	<0,03-0,06	<0,22-0,44	<0,28-0,57	<0,35-0,7
styreen	µg/l	-	<0,01-0,045	<0,02-0,09	<0,03-0,1	<0,22-0,88	<0,28-1,13	<0,35-1,4
a-methylstyreen	µg/l	-	<0,01-0,04	<0,02-0,07	<0,03-0,09	<0,22-0,71	<0,28-0,91	<0,35-1,12
mesityleen	µg/l	-	<0,01-0,02	<0,02-0,035	<0,03-0,045	<0,22-0,35	<0,28-0,45	<0,35-0,56
propylbenzeen	µg/l	-	<0,01-0,02	<0,02-0,035	<0,03-0,045	<0,22-0,35	<0,28-0,45	<0,35-0,56
PAK's								
benzo(a)anthraceen	µg/l	0,008	<0,002	<0,001	<0,004	<0,001-0,01	<0,002-0,04	<0,003-0,06
benzo(ghi)peryleen	µg/l	0,004	<0,001	<0,001	<0,003	<0,001-0,01	<0,002-0,03	<0,004-0,06
benzo(a)pyreen	µg/l	0,005	<0,001	<0,001	<0,003	0,001-0,01	0,002-0,03	0,003-0,05
fenantreen	µg/l	0,02	<0,001	<0,001	<0,001	0,002-0,005	0,004-0,01	0,007-0,02
indeno(1,2,3-cd)pyreen	µg/l	0,004	<0,001	<0,001	<0,003	<0,001-0,01	<0,002-0,03	<0,004-0,05
benzo(k)fluorantheen	µg/l	0,02	<0,001	<0,001	<0,002	0,001-0,01	0,002-0,02	0,002-0,04
chryseen	µg/l	0,008	<0,002	<0,002	<0,005	0,001-0,02	0,002-0,05	0,004-0,08
fluorantheen	µg/l	0,07	<0,004	<0,003	<0,01	<0,001-0,03	<0,002-0,1	<0,004-0,16
EOCl								
groepsparameter	µg/l	-	<0,02-6,8	<0,04-10,8	<0,02-6,5	<0,36-108	<0,22-64,8	0,8-240
AOCl								
groepsparameter	µg/l	-	2,25-4,5	0,9-1,8	0,54-1,1	36-72	21,6-43,2	80-160
Chloorbenzenen								
1,4-dichloorbenzeen	ng/l	2000	<2,25-22,5	<2,43-24,3	<2,4-24,3	<24,3-243	<24,3-243	<90-900
trichloorbenzenen	ng/l	400	0,45-13,5	0,49-14,6	0,49-14,6	4,9-145,8	4,9-145,8	<18-540
hexachloorbenzeen	ng/l	-	<0,075-0,825	<0,08-0,89	<0,08-0,89	<0,81-8,9	<0,81-8,9	<9,0-99
PCB's								
somparameter	µg/l	-	<0,002	<0,001	<0,002	<0,01	<0,001-0,02	<0,003-0,09
Organochloorbestrijdingsmiddelen								
DDT (incl. DDD en DDE)	ng/l	-	<0,01-0,38	<0,003-0,135	<0,01-0,405	<0,03-1,35	<0,08-4,05	<0,7-35
lindaan	ng/l	10	<0,075-1,65	<0,03-0,59	<0,08-1,8	<0,27-5,9	<0,8-17,8	<7,0-154
endosulfan	ng/l	-	<0,01-1,65	<0,003-0,59	<0,01-1,8	<0,03-5,9	<0,08-17,8	<0,7-154
hexachloorbutadieen	ng/l	120	<0,01-0,105	<0,003-0,04	<0,01-0,11	<0,03-0,38	<0,08-1,1	<0,7-9,8
aldrin	ng/l	-	<0,01-0,015	<0,003-0,005	<0,01-0,02	<0,03-0,05	<0,08-0,16	<0,7-1,4
dieldrin	ng/l	2	<0,01-0,02	<0,003-0,01	<0,01-0,02	<0,03-0,08	<0,08-0,24	<0,7-2,1
Detergenten								
anionogeen en nonionogeen	µg/l	-	<0,875-26,3	<0,405-12,2	<3,65-109	<4,05-1212	<36,5-1094	<50-1500
Chloorfenolen								
dichloorfenolen (som)	µg/l	0,08	<0,002-0,02	<0,002-0,02	<0,002-0,02	<0,02-0,19	<0,02-0,19	<0,07-0,7
trichloorfenolen (som)	µg/l	2,5	<0,001-0,01	<0,001-0,01	<0,001-0,01	<0,01-0,07	<0,01-0,07	<0,04-0,25
tetrachloorfenolen (som)	µg/l	1	<0,001-0,01	<0,001-0,01	<0,001-0,01	<0,01-0,07	<0,01-0,07	<0,03-0,27
pentachloorfenol	µg/l	0,05	0,001-0,02	0,001-0,02	0,001-0,02	0,01-0,19	<0,01-0,19	<0,08-1,6
Organofosforbestrijdingsmiddelen								
dichloorvos	ng/l	2	<1,1-3,8	<0,405-1,4	<1,2-4,1	<4,05-13,8	<12,2-41,3	<45-153
diazinon	ng/l	30	1,5-4,95	0,53-1,8	1,6-5,4	5,3-17,8	15,8-53,5	58,5-198
mevinfos	ng/l	5	1,1-2,7	0,405-0,97	1,2-2,9	4,05-9,7	12,2-29,2	45-108
Overige niet-gehalogeneerde verbindingen								
fenolen (somparameter)	µg/l	2	<0,01-0,07	<0,001-0,06	<0,003-0,02	<0,095-0,57	<0,03-0,19	<0,35-2,1
minerale olie	µg/l	-	2,25-13,5	0,63-3,8	1,9-2,9	6,3-37,8	18,9-113	70-420
Triazines								
atrazine	ng/l	100	<2,25-27,0	<5,7-68	<2,4-29	<56,7-680	<24,3-292	<90-1080
simazine	ng/l	400	<2,25-20,3	<5,7-51	<2,4-22	<56,7-510	<24,3-219	<90-810
Halogeennitro-aromaten								
1-chloor-3-nitrobenzeen	ng/l	-	<0,225-9,0	<0,73-29,2	<2,2-87	<0,81-32,4	<2,43-97,2	<9,0-360,0
trifluoralin	µg/l	0,2	<0,002-0,003	<0,01	<0,02-0,02	<0,01	<0,024-0,027	<0,09-0,099
Vluchtige halogeenkoolwaterstoffen								
chloroform (trichloormethaan)	ng/l	-	<22,5-51,8	<56,7-130	<24,3-56	<567-1304	<243-559	<900-2070
1,2-dichloorethaan	µg/l	-	0,01-0,02	0,01-0,04	0,01-0,02	0,11-0,40	0,06-0,17	0,18-0,63
trichlooretheen	µg/l	2	<0,002-0,01	<0,01	<0,002-0,01	<0,06-0,11	<0,02-0,05	<0,09-0,18
tetrachlooretheen	µg/l	-	<0,002-0,045	<0,01	<0,002-0,05	<0,06-1,1	<0,02-0,49	<0,09-1,8
1,1,2,2-tetrachloorethaan	ng/l	-	20,3-180	51-454	21,9-194	510-4536	219-1944	810-7200
1,2 dichloorpropaan	µg/l	-	0,002-0,005	<0,01	0,002-0,01	0,05-0,11	0,02-0,05	0,09-0,18
som VOX	µg/l	5	<0,02-0,225	<0,06-0,57	<0,02-0,24	<0,57-5,7	<0,24-2,4	<0,9-9,0
Overige stoffen								
trichloorethylfosfaat	µg/l	-	<0,01-0,03	<0,28-0,68	<0,12-0,29	<0,28-0,68	<0,12-0,29	<0,45-1,1
triethylfosfaat	µg/l	-	<0,001-0,01	<0,03-0,28	<0,01-0,12	<0,03-0,28	<0,01-0,12	<0,045-0,45
tetrahydrofuraan	µg/l	-	<0,002-0,02	<0,06-0,57	<0,02-0,24	<0 06-0,57	<0,02-0,24	<0,09-0,9
dimethylsulfide	µg/l	-	0,002-0,03	0,03-0,34	0,01-0,15	0,06-0,68	0,02-0,29	0,09-1,1
ftalaten (som)	µg/l	-	<0,002-0,36	<0,03-4,5	<0,01-1,9	<0,06-9,1	<0,02-3,9	<0,09-14,4
2-t-butyl-4-methoxyfenol	µg/l	-	0,005-0,02	0,01-0,06	0,005-0,02	<0,11-0,57	<0,05-0,24	<0,18-0,9

Legenda per stoffengroep
- geen grenswaarde
- voldoet aan grenswaarde
- voldoet gedeeltelijk aan grenswaarde
- voldoet geheel niet aan grenswaarde

metalen, alsmede verwijdering van zwevend stof.

Voor variant 1 komt, zoals gezegd, een beperkt aantal technieken in aanmerking, namelijk hyperfiltratie of actief-koolfiltratie in combinatie met nanofiltratie of oxydatie. Deze technieken vergen in het algemeen een vergaande voorbehandeling.

Hierbij kan worden gedacht aan een filtratiestap, zoals vlokfiltratie, microfiltratie of snelfiltratie voorafgegaan door coagulatie, flocculatie en sedimentatie. Aangezien vlokfiltratie voor een aantal parameters een hoger verwijderingsrendement heeft dan de combinatie coagulatie, flocculatie en sedimentatie en microfiltratie relatief duur is, is de voorkeur gegeven aan vlokfiltratie als voorbehandelingstechniek. Voor de verwijdering van stikstof tot de grenswaarde is met uitzondering van de combinaties met hyperfiltratie een denitrificatiestap noodzakelijk. Dit kan worden bereikt door toepassing van een biologisch filter. Om een voldoende hoog zuurstofgehalte te bereiken, is veelal een beluchtingsstap als nabehandeling noodzakelijk. In afbeelding 1 zijn de blokschema's voor de verschillende varianten weergegeven.

Voor de varianten en subvarianten uit afbeelding 1 zijn de concentraties van de beschouwde stoffen in het behandelde water berekend. De berekening is uitgevoerd voor zowel de minimale als de maximale concentratie van stoffen in het effluent van rwzi's. Bij concentraties kleiner dan de analytische detectiegrens is gerekend met deze waarde. Voor PAK is uit praktische overwegingen in geval van variant 1 alleen de uit de maximumconcentratie berekende waarde weergegeven.

In tabel II zijn de berekende effluentconcentraties van de quartaire zuivering weergegeven. In deze tabel is met kleur aangegeven in hoeverre voldaan wordt aan de grenswaarden voor oppervlaktewaterkwaliteit.

Uit deze tabel blijkt dat met variant 1 kan worden voldaan aan de grenswaarden voor oppervlaktewater. Uitgaande van de maximale concentraties in rwzi-effluent blijkt dat de grenswaarden voor chloride, sulfaat, coli's en zware metalen in oppervlaktewater worden overschreden in geval van subvarianten 1b en 1c. In varianten 2 en 3 neemt door het minder hoge zuiveringsrendement het aantal parameters toe dat niet altijd aan de grenswaarde voldoet.

TABEL III – *Hydraulische capaciteiten.*

Belasting (i.e.)	dwa (m^3/d)	Gemiddelde afvoer (m^3/d)	Piekafvoer (m^3/h)
10.000	1.500	2.000	450
50.000	7.500	10.000	2.250
100.000	15.000	20.000	4.500

TABEL IV – *Belangrijkste dimensies van de verschillende zuiveringsprocessen.*

		10.000 i.e.	50.000 i.e.	100.000 i.e.
coagulatie, flocculatie, sedimentatie				
benodigd $FeCl_3$ (40%)	kg/d	39	197	393
volume contacttank	m^3	90	450	900
oppervlak lamellen	m^2	900	4.500	9.000
filtratie				
filteroppervlak	m^2	30	150	300
denitrificatie (compactsysteem)				
oppervlak	m^2	22,5	112,5	225
actief-koolfiltratie				
oppervlak	m^2	45	225	450
membraanfiltratie				
oppervlak microfiltratie	m^2	4.500	22.500	45.000
oppervlak nanofiltratie	m^2	22.500	112.500	225.000
oppervlak hyperfiltratie	m^2	22.500	112.500	225.000
oxydatie met ozon				
volume contacttank	m^3	112,5	562,5	1.125
ionenwisseling				
oppervlak	m^2	45	225	450
beluchting				
lengte overstortrand	m	4,5	22,5	45

Bij een vergelijking met de streefwaarden (in dit artikel niet weergegeven) blijkt overigens dat bij variant 1 ook deze waarden voor bijna alle parameters kunnen worden bereikt. Alleen voor de bestrijdingsmiddelen lindaan, diazinon en atrazine is dit niet het geval, als wordt uitgegaan van de hoogst gemeten concentraties in rwzi-effluent.

Dimensioneringsgrondslagen

De dimensionering van de hiervoor genoemde varianten is gebaseerd op de volgende hydraulische uitgangspunten:
- de droogweerafvoer is 0,15 $m^3/(i.e.\cdot d)$;
- de afvoer komt in circa 10 uur aan;
- de jaargemiddelde afvoer is 0,2 $m^3/(i.e.\cdot d)$ (rwa en dwa);
- de rwa/dwa verhouding bedraagt 3.

Er is gerekend met een drietal capaciteiten van zuiveringsinstallaties. Voor deze rwzi's is in tabel III de hydraulische capaciteit weergegeven.
De dimensionering van de verschillende processen is geschied op hoofdlijnen. Onderdeel hiervan was de bepaling van een kostprijsbepalende factor. Deze factor, die voor elk proces anders is, is vervolgens als uitgangspunt gebruikt voor de bepaling van de kosten.

In tabel IV is een kort overzicht gegeven van de belangrijkste dimensies van de verschillende zuiveringstechnieken.

Kosten

Van de in beschouwing genomen zuiveringstechnieken zijn zowel de investerings- als de exploitatiekosten berekend. Voor de investeringskosten is als uitgangspunt gehanteerd een overheadfactor van 1,90 (BTW, onvoorzien, advieskosten en dergelijke, berekend over de bouwkosten). De aankoop van grond is bij de berekening niet in beschouwing genomen.

De exploitatiekosten zijn opgebouwd uit de volgende posten:
- kapitaalslasten;
- jaarlijkse kosten:
  - onderhoud;
  - energie;
  - chemicaliën;
  - bijkomende kosten (brijnverwerking, afvoer van afvalstoffen);
  - overige kosten (bedieningskosten, kwaliteitsbewaking en administratieve beheerskosten).

Van de verschillende varianten zijn in tabel V de prijzen gegeven per kubieke meter gezuiverd water en per i.e. Voor de relatie tussen piekafvoer en belasting wordt verwezen naar tabel III.

Uit tabel V blijkt dat de prijs per m^3 gezuiverd water afneemt naarmate de capaciteit van de zuivering toeneemt. Een

TABEL V – *Exploitatiekosten per m³ en per i.e.*

	450 m³/h 10.000 i.e.		2.250 m³/h 50.000 i.e.		4.500 m³/h 100.000 i.e.	
	f/m³	f/i.e.	f/m³	f/i.e.	f/m³	f/i.e.
variant 1a (vlokfiltratie, hyperfiltratie, beluchting)	11,52	841	9,72	710	9,41	687
variant 1a (coagulatie, flocculatie, sedimentatie, hyperfiltratie, beluchting)	12,34	901	10,18	743	9,82	717
variant 1a (microfiltratie, hyperfiltratie, beluchting)	19,26	1406	16,67	1217	16,27	1188
variant 1b (vlokfiltratie, denitrificatie, actief-koolfiltratie, nanofiltratie, beluchting)	12,43	907	10,52	768	10,16	742
variant 1c (vlokfiltratie, denitrificatie, oxydatie, actief-koolfiltratie, beluchting)	2,94	215	2,64	193	2,54	185
variant 1c (vlokfiltratie, denitrificatie, oxydatie, actief-koolfiltratie, ionenwisseling, beluchting)	4,14	302	3,48	254	3,28	239
variant 2a (vlokfiltratie, denitrificatie, nanofiltratie, beluchting)	11.49	839	9,71	709	9,40	686
variant 2b (vlokfiltratie, denitrificatie, actief-koolfiltratie, beluchting)	2,35	172	2,04	149	1,94	142
variant 2b (vlokfiltratie, denitrificatie, oxydatie)	1,82	133	1,64	120	1,58	115
variant 3 (vlokfiltratie, beluchting)	0,84	61	0,67	49	0,61	45
variant 3 (coagulatie, flocculatie, sedimentatie, beluchting)	1,66	121	1,13	82	1,02	74

toename in de capaciteit van 450 m³/h naar 4.500 m³/h geeft een verlaging van de kosten met circa 25%.
Daarnaast springen de varianten waarbij gebruik wordt gemaakt van een membraanfiltratieproces eruit door de hoge kosten. Dit zijn de subvarianten 1a, 1b en 2a.

Om een indruk te krijgen van de kostenbepalende factoren van de verschillende zuiveringstechnieken is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Onderzocht is hoe de exploitatiekosten worden beïnvloed door:
- de realisatie van een buffer;
- het rentepercentage;
- de energiekosten;
- de chemicaliënkosten;
- de verwerkingskosten voor gevormde nevenprodukten (slib, brijn).

De chemicaliënkosten blijken een relatief geringe invloed te hebben op de exploitatiekosten. De vier overige aspecten daarentegen hebben een aanzienlijke invloed. Een buffer kan circa 25 tot 50% kostenbesparing opleveren. Een verschil in rentepercentage van 2% kan de exploitatiekosten met circa 5 tot 10% doen wijzigen.
Een schommeling in energieprijs van 30% geeft maximaal 15% verschil in de exploitatiekosten. De exploitatiekosten kunnen tenslotte met 15% variëren door een verandering van 20% in de kosten voor de indamping van brijn.

Milieu-aspecten

Bij het verminderen van milieubelasting is het van belang dat er geen verschuiving van emissies optreedt van het ene compartiment naar het andere. Onder compartimenten worden verstaan water, bodem en lucht. Daarnaast is het verbruik van energie en grondstoffen van invloed op het milieu. Deze aspecten zijn indicatief beoordeeld.

De voorbehandelingstechnieken vlokfiltratie en coagulatie/flocculatie vereisen dosering van vlokmiddelen. Daarmee samenhangend ontstaat slib en een zoutbelasting van het effluent met chloride ter grootte van circa 12,5 mg/l voor varianten zonder membraanfiltratie. Het vlokmiddel dient zo min mogelijk nevenverontreinigingen, zoals bijvoorbeeld zware metalen, te bevatten. Actieve kool kan na reactivatie worden hergebruikt (energieverbruik hier niet meegerekend), waarbij circa 10% nieuwe kool moet worden toegevoegd.
Vooral de membraanfiltratietechnieken kenmerken zich door een hoog energieverbruik door het drukverlies over de membranen. Daarnaast is energie benodigd voor het indampen van het brijn. Na indampen resteert ook een hoeveelheid 'slib'. De opwekking van ozon kost eveneens relatief veel energie.
De totale slibproduktie van de quartaire zuiveringstrap varieert, afhankelijk van de variant van 10 tot 17 ton droge stof per jaar voor 10.000 i.e. Het energieverbruik per m³ behandeld water exclusief afvalstoffenverwerking varieert afhankelijk van de variant van 1100 Wh/m³ (1a), 560 (1b), 200 (1c) tot circa 32 Wh/m³ voor variant 3.

Uitgaande van een gemiddeld energieverbruik van 300 Wh/m³ en een gemiddelde slibproduktie van 150 ton droge stof voor 10.000 i.e. per jaar voor de huidige rwzi's, kan een vergelijking worden gemaakt met de verschillende varianten voor de quartaire zuivering.
Het blijkt dat er 7 tot 11% extra slib wordt geproduceerd. Het energieverbruik neemt 10 tot 300% toe, afhankelijk van de variant. Als het brijn wordt ingedampt, neemt het energieverbruik nog eens met 20 kWh/m³ behandeld water toe. Dat is een factor 70 hoger dan de huidige rwzi aan energie verbruikt om een m³ water te zuiveren.

Leemten in kennis

Tijdens het onderzoek is een aantal kennisleemten geconstateerd. De voornaamste leemten in kennis betreffen de zuiveringsrendementen bij sterk variërende lage concentraties, de onderlinge beïnvloeding van technieken en praktijkervaring met quartaire behandeling van rwzi-effluent.
De verwerking van brijn van membraanfiltratietechnieken is een belangrijk knelpunt voor eventuele toepassing van deze technieken.

Conclusies en aanbevelingen

Op grond van praktijkervaringen met rwzi-effluent in het buitenland en drinkwaterbereiding in Nederland lijkt het mogelijk om effluenten van rwzi's vergaand te zuiveren, waarbij voor bijna alle beschouwde stoffen zelfs streef- en grenswaarden voor oppervlaktewaterkwaliteit kunnen worden bereikt. In de

• *Slot op pagina 549.*

TABEL VI – *Milieu-aspecten voor de verschillende zuiveringstechnieken*

Techniek	Energieverbruik (Wh/m³)	Type chemicalie	Verbruik t/jr (10^4 ie)	Slibproduktie tds/jr, 10^4 ie
coagulatie, flocculatie, sedimentatie	4	$FeCl_3$	16,3	7,7
vlokfiltratie	12	$FeCl_3$	16,3	9,9
denitrificatie	20	methanol	1,7	
actief-koolfiltratie	8	actieve kool	3,2	
microfiltratie*	200			11
nanofiltratie*	200			11
hyperfiltratie	1000			11
oxydatie (ozon)	125			
ionenwisseling	8			
beluchting	24			

*exclusief indampen van brijn, hiervoor is circa 100 kWh/m³ brijn benodigd. Per m³ behandeld water wordt ongeveer 0,2 m³ brijn geproduceerd, zodat circa 20 kWh/m³ behandeld water nodig is.

TABEL II – *Bruto-bedbelasting en benodigd droogbedoppervlak.*

	Spoelwater-slib	Coagu-latieslib	Onthar-dingsslib
bruto-bedbelasting kg d.s./m²/jaar	100-200	50-100	500-700
droogbedareaal m²/10⁶ m³	40- 80	300-600	100-300

TABEL III – *Dimensioneringsgrootheden gravitatie-indikker.*

Slibsoort		Belasting [kg/m² · uur]	D.s.-gehalte gewichts-%
coagulatieslib	goed indikbaar	3 - 5	10 - 20
	slecht indikbaar	0,1 - 0,2	< 5
ijzerhoudend slib	zonder hulpstoffen	n.b.	6 - 15
	met hulpstoffen	3 - 5	6 - 15
kalkhoudend slib		10	15 - 25

2% afgescheiden. Dit slib wordt batchgewijs in droogbedden gebracht, waar het na een half jaar met een droge-stofgehalte van circa 50% wordt afgevoerd naar een stortplaats;
2. indikking + droogbedden, bijvoorbeeld pompstation Nuland (RNH): jaarproduktie van 150 ton droge stof aan ijzerhoudend spoelwaterslib wordt via twee batchgewijs bedreven bezinkbassins met een droge-stofgehalte van 1 à 2% afgescheiden. Dit slib wordt via een slibindikker, waar het droge-stofgehalte verhoogd wordt tot circa 10% in droogbedden gebracht. Na een half jaar wordt het slib met een droge-stofgehalte van circa 35% afgevoerd naar een stortplaats;
3. indikking + kunstmatige ontwatering uitbesteden, bijvoorbeeld pompstation Seppe (WNWB): jaarproduktie van 630 ton droge stof aan spoelwaterslib, bestaat uit 80% carry-over uit de reactor en 20% ijzerhoudend spoelwaterslib. Dit slib wordt met een droge-stofgehalte van circa 6% in een betonnen bassin gebracht. Van tijd tot tijd wordt het slib ontwaterd met mobiele ontwateringsapparatuur tot een droge-stofgehalte van 30%. Eindbestemming is afhankelijk van de 'markt': in het verleden is een deel van het ijzerhoudend slib toegepast in de afvalwaterzuivering, een deel is getest in de baksteenindustrie, een deel is afgevoerd naar Frankrijk voor toepassing in de bosbouw en een deel is gestort;
4. indikking + conditionering + kunstmatige ontwatering, bijvoorbeeld voorzuivering Katwijk (EWR): 500.000 m³ ijzerhoudend flotatieslib wordt met een droge-stofgehalte van 0,15% continu gevoed aan een flotatie-indikker, die het droge-stofgehalte verhoogd tot 1,5 à 3%. Het ingedikte slib wordt via 2 parallel opgestelde decanteercentrifuges ontwaterd tot 25 à 30% droge stof. Alhoewel de droge-stofproduktie slechts 750 ton per jaar bedraagt en de eindbestemming storten is, is niet gekozen voor de toepassing van droogbedden. Vanwege de ligging in de duinen is echter gekozen voor de minder landschapsontsierende toepassing van kunstmatig ontwateren.

Literatuur

1. VEWIN-Milieuplan (1991). *Besluit van de Algemene Ledenvergadering van de VEWIN op 22 maart 1991.*
2. DHV Water BV (1993). *Manual Spoelwaterverwerking Hubert BV.* Amersfoort, april 1993.
3. Milfac BV (1993). *Manual Drinkwaterslibverwerking Hubert BV.* Leeuwarden, oktober 1993.
4. Verberne, A. J. P. (1992). *Hergebruik van drinkwaterslib voor defosfatering haalbaar?* H_2O (25) 1992, nr. 18, p. 478-485.
5. Koppers, H. M. M. en Heijman, S. G. J. (1992). *Oplossingsrichtingen voor reststoffen van waterleidingbedrijven.* KIWA-mededeling 119, mei 1992.
6. Cornwell, D. A. en Koppers, H. M. M. (1990). *Slib, Schlamm, Sludge.* American Water Works Association Research Foundation KIWA Ltd.
7. Oostelbos, P. G. J. M. *et al.* (1993). *Toepassen van ijzerhoudend drinkwaterslib voor conditionering rioolwaterzuiveringsslib is aantrekkelijk.* H_2O (26) 1993, nr. 10, p. 265-269.
8. Graveland, A. *et al.* (1987). *Slibproblematiek bij waterleidingbedrijven.* KIWA-mededeling 98; januari 1987.
9. Meijers, A. P. *et al.* (1984). *Vergelijkend onderzoek van vlokmiddelen.* Kiwa-mededeling nr. 70: juli 1984.
10. Noorthoorn van der Kruijff, J. F. *et al.* (1979). *Stora-rapport, slibontwatering ten opzichte van meer dan 40% droge stof.* Literatuuronderzoek.
11. Veldkamp, R. G. (1980). *Slibindikking door zwaartekracht*(I): theoretische grondslagen.* H_2O (13) 1980, nr. 13, p. 300-308.
12. Veldkamp, R. G. (1980). *Slibindikking door zwaartekracht (II): ontwerpgrondslagen.* H_2O (13) 1980, nr. 17, p. 394-399.
13. de Moel, P. J. (1980). *Ontwatering van drinkwaterslib op slibdroogbedden.* Kiwa-mededeling 63; maart 1980.
14. KIWA-onderzoek SWO 90.314. *(milieu-)technische en economische evaluatie van mechanische slib-ontwatering bij het zuiveringsbedrijf Andijk (PWN).*
15. Roest, H. F. van der, Salome, A. A. en Koornneef, E. (1991). *Slibontwatering met een nieuwe generatie zeefbandpersen en decanteercentrifuges.* H_2O (24) 1991, nr. 12.

• • •

Rwzi-effluent

• *Vervolg van pagina 549.*

beschreven studie is een aantal varianten geselecteerd waarmee verschillende kwaliteiten effluent kunnen worden behaald. De varianten bestaan steeds uit een aantal combinaties van zuiveringstechnieken.
In de exploitatiekostenberekening zijn op de grondkosten na alle kosten in rekening gebracht. Voor een rwzi met een capaciteit van 100.000 i.e. variëren de exploitatiekosten van f 45,–/i.e. (f 0,61/m³) voor vlokfiltratie en cascadebeluchting tot f 1.188,–/i.e. (f 16,27/m³) voor de combinatie van microfiltratie, hyperfiltratie en cascadebeluchting.
De variant 1c bestaande uit vlokfiltratie, denitrificatie, chemische oxydatie met ozon en actief-koolfiltratie combineert een hoog verwijderingsrendement met relatief lage kosten, f 185,–/i.e. (f 2,50/m³).

Vooral membraanfiltratietechnieken blijken tot hoge kosten te leiden vanwege de hoge kapitaalslasten en de verwerking van de geproduceerde volumineuze afvalstroom, het brijn genaamd.
Door toepassing van een buffer kan naar schatting een kostenbesparing worden verkregen variërend van 25 tot 50%. Daar staat wel tegenover dat enkele malen per jaar niet het gehele aanbod van rwzi-effluent kan worden verwerkt.

Wat betreft de milieu-aspecten scoort vooral membraanfiltratie minder door het hoge energieverbruik, de brijnproduktie en -verwerking. Vlokfiltratie heeft grondstoffen nodig in de vorm van vlokmiddelen en produceert een hoeveelheid slib, circa 10% van de slibproduktie van de huidige rwzi.
Aangezien de milieu-aspecten indicatief beoordeeld zijn, verdient het aanbeveling deze diepgaander te analyseren, bijvoorbeeld door een levenscyclusanalyse (LCA).

Voordat eventuele toepassing in de praktijk overwogen wordt, verdient het aanbeveling om voorafgaand onderzoek op semi-praktijkschaal uit te (doen) voeren.

• • •

Workshop GIS-Analyse

Het expertisecentrum Geo-informatiekunde Nederland (GEON) organiseert een workshop GIS-Analyse. De workshop vindt plaats op 2 november 1995.
Nadere inlichtingen: GEON,
Postbus 3037, 9701 DA Groningen,
telefoon 050 - 74 97 60.