



Fysisch/chemische voorzuivering als basis voor meer duurzame zuivering stedelijk afvalwater

W. RULKENS, LANDBOUWUNIVERSITEIT WAGENINGEN, DEPARTEMENT AGRO-, MILIEU- EN SYSTEEMTECHNOLOGIE, SECTIE MILIEUTECHNOLOGIE

J. VAN DER GRAAF, TU DELFT, FACULTEIT CIVIELE TECHNIEK EN GEOWETENSCHAPPEN, SECTIE GEZONDHEIDSTECHNIEK

A. MELS, LANDBOUWUNIVERSITEIT WAGENINGEN, DEPARTEMENT AGRO-, MILIEU- EN SYSTEEMTECHNOLOGIE, SECTIE MILIEUTECHNOLOGIE

A. VAN NIEUWENHUIJZEN, TU DELFT, FACULTEIT CIVIELE TECHNIEK EN GEOWETENSCHAPPEN, SECTIE GEZONDHEIDSTECHNIEK

In Nederland wordt nagenoeg al het stedelijk afvalwater uit het gerioleerde gebied gezuiverd in rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's). De zuivering is er in principe op gericht een effluent te verkrijgen dat voldoet aan de lozingsseisen voor zuurstofbindende en eutrofiërende stoffen. Met de huidige rwzi's, die hoofdzakelijk gebaseerd zijn op biologische processen, wordt dit doel grotendeels bereikt. Met het oog op de toekomst kan de vraag worden gesteld of de huidige installaties in milieuhygiënisch opzicht voldoende duurzaam zijn en in hoeverre er mogelijkheden bestaan tot een verbetering van de duurzaamheid¹.

In opdracht van de STOWA is door de sectie Milieutechnologie van de Landbouwwaterschap Wageningen en de sectie Gezondheidstechniek van de TU Delft een studie uitgevoerd naar de mogelijkheden om door middel van een intensieve fysisch/chemische voorzuivering te komen tot de ontwikkeling van nieuwe, meer duurzame rwzi's en aan te geven welk lange-termijnonderzoek hiervoor nodig is².

Een fysisch/chemische voorzuivering is primair gericht op de verwijdering van gesuspendeerd en colloïdaal materiaal in de eerste stap van het zuiveringsproces. Op deze wijze kan een volgende zuiveringsstap worden ontlast en compacter worden uitgevoerd. Als alle colloïdale en gesuspendeerde deeltjes worden verwijderd, voorafgaande aan een aërobe biologische zuiveringsstap, wordt ook op beluchtingsenergie bespaard. Door de toepassing van fysisch/chemische voorzuivering wordt de slibproductie in de voorzuivering gemaximaliseerd en zal de slibproductie van het gehele zuiveringssysteem in eerste instantie toenemen. Het slib vertegenwoordigt echter een hoeveelheid organisch materiaal dat nuttig kan worden toegepast als grondstoffen- of energiebron.

Randvoorwaarden, uitgangspunten en opzet van de studie

Bij het inventariseren van alternatieve, meer duurzame zuiveringsscenario's, gebaseerd op een intensieve fysisch/chemische voorzuivering, zijn de volgende randvoorwaarden en uitgangspunten gehanteerd:

- als basis dient de huidige influentkwaliteit en -kwantiteit;
- het influent bestaat uit 600 mg/l CZV, 220 mg/l BZV, 55 mg/l N_{kjeldahl}, 9 mg/l P _{totaal} en 250 mg/l zwevende stof;
- een grootschalige rwzi met een biologische en hydraulische belasting van 100.000 inwonerequivalenten;
- de hydraulische belasting is gebaseerd op een afvalwaterproductie van 150 l per inwonerequivalent per dag. Hierbij is een droogweerafvoer aangehouden van 1.000 m³ per uur gedurende 15 uur per etmaal. De verhouding tussen regenwaterafvoer en droogweerafvoer is op drie gesteld;
- het effluent van de zuiveringsscenario's moet minimaal voldoen aan de huidige lozingsseisen;
- de systeemgrenzen voor de bepaling van de milieu-ingrepen zijn direct rondom het

- zuiveringsterrein gelegd. Hierbij is de waterlijn van influentpomp tot effluent-gemaal meegenomen;
- in de voorzuivering worden als vlok(hulp)middelen ijzerchloride en poly-elektrolieten gebruikt.

In de studie is eerst een literatuurinventarisatie gemaakt van afzonderlijke zuiveringstechnieken en zuiveringsstappen. Hierbij wordt een zuiveringsstap beschouwd als een combinatie van meerdere aan elkaar geschaalde zuiveringstechnieken. Deze voor- en nazuiveringsstappen zijn gebruikt voor het opstellen van volledige zuiveringsscenario's met inbegrip van de slibverwerking. De keuze van deze volledige scenario's is gebaseerd op de te verwachten technische haalbaarheid, de mogelijke milieuverdiensten en de te verwachten kosten. Om de opgestelde zuiveringsscenario's te kunnen vergelijken met bestaande zuiveringssystemen zijn twee referentiescenario's (1 en 2) gedefinieerd. Referentiescenario 1 is gebaseerd op een laagbelast actief-slibstelsel zonder voorbezinking waarbij de slibverwerking zonder slibvergisting wordt toegepast. Bij Referentiescenario 2 is een laagbelast actief-slibstelsel gecombineerd met een voorbezinktank waarbij tevens slibvergisting plaats vindt.

Volledige zuiveringsscenario's

In de inventarisatiefase is een groot aantal bekende fysisch/chemische voorzuiveringsstappen en nazuiveringsprocessen geïdentificeerd. Daarbij zijn ook voorzuiveringsstappen beschouwd die gebaseerd zijn op een combinatie van bioflocculatie en fysische afscheiding. Deze processen worden in het algemeen aangeduid met de term A-trap. Afscheiding van colloïdale en opgeloste verontreinigingen vindt daarbij plaats door (bio)sorptie aan slib, gevolgd door een slibafschieding middels bezinking of mechanische scheiding. Bij de A-trap met slibregeneratie wordt het retour-slib, dat teruggaat naar de A-trap, voor korte tijd belucht, hetgeen in een sterke verbetering van het afscheidingsrendement van de A-trap resulteert. Bij de denitrificerende A-trap vindt geen beluchting plaats maar wordt de rol van elektronenacceptor overgenomen door nitraat. Een bijzondere vorm van bioflocculatie is het Upflow Anaerobic Solids Retention Systeem (UASR). Het afvalwater wordt hierbij door een kolom, bestaande uit een anaëroob slibbed, geleid. Gesuspendeerde en colloïdale deeltjes worden daarbij ingevangen of geadsorbeerd. Bij de nazuivering kan nog onderscheid gemaakt worden tussen fysisch/chemische methoden zoals actief-kooladsorptie en ionenwisseling en biologische methoden. Actief-kooladsorptie zal altijd gepaard moeten gaan met een regeneratie van de actieve kool. Als

meest kansrijk geachte regeneratiemethode is de thermische regeneratie naar voren gekomen. Ook ionenwisseling is alleen mogelijk als deze gecombineerd wordt met een regeneratiestap. Deze kan fysisch/chemisch of biologisch van aard zijn.

Door combinatie van voorzuiverings- en nazuiveringsstappen kunnen volledige zuiveringsscenario's worden samengesteld. Het aantal combinatie-mogelijkheden is uiteraard legio. Het aantal mogelijkheden dat in technisch/economisch en milieuhygiënisch opzicht in meer of mindere mate haalbaar wordt geacht, is beperkt. De keuze van deze scenario's is niet alleen gebaseerd op de informatie die bij de inventarisatie van afzonderlijke zuiveringsstappen is verkregen maar is voor een deel ook intuïtief. Er is bij het opstellen van de volledige zuiveringsscenario's gebruik gemaakt van een drietal hoofdzuiveringsscenario's (zie afbeelding 1 t/m 3): fysisch/chemische voorzuivering met fysisch/chemische nazuivering, fysisch/chemische voorzuivering met biologische nazuivering en fysisch/chemische voorzuivering met een combinatie van biologische en fysisch/chemische nazuivering.

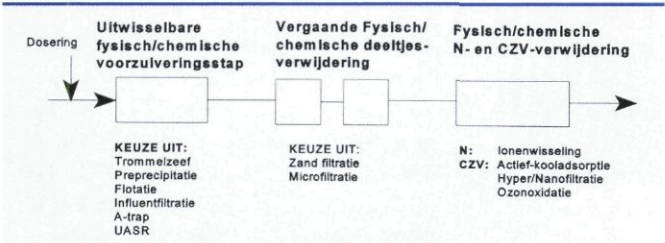
De meest kansrijk geachte en geëvalueerde volledige zuiveringsscenario's, zijn weergegeven in tabel 1.

Sc	Voorzuivering	Nazuivering
1a	Flotatie	ZF + IW (+ LS) + AK (+ thermische regeneratie)
1b	Préprecipitatie	ZF + IW (+ LS) + AK (+ thermische regeneratie)
1c	Denitrif. A-trap	ZF + IW (+ bio-regeneratie) + AK (+ thermische regeneratie)
1d	Beluchte A-trap	ZF + IW (+ LS) + AK (+ thermische regeneratie)
2a	Flotatie	Laagbelast slib-op-dragersysteem + ZF
2b	Préprecipitatie	Laagbelast slib-op-dragersysteem + ZF
2c	Beluchte A-trap	Laagbelast slib-op-dragersysteem + ZF
2d	Flotatie	Laagbelast systeem volgens de nitrietroute + ZF
2e	Préprecipitatie	Laagbelast systeem volgens de nitrietroute + ZF
2f	Beluchte A-trap	Laagbelast systeem volgens de nitrietroute + ZF
3a	Flotatie	Slib-op-dragersysteem + ZF + IW (+ LS)
3b	Préprecipitatie	Slib-op-dragersysteem + ZF + IW (+ LS)
3c	Denitrif. A-trap	Slib-op-dragersysteem + ZF + IW (+ bio-regeneratie)
3d	Beluchte A-trap	Slib-op-dragersysteem + ZF + IW (+ LS)
3e	Flotatie	Hoogbelast actief-slib + ZF + IW (+ LS)
3f	Préprecipitatie	Hoogbelast actief-slib + ZF + IW (+ LS)
3g	Denitrif. A-trap	Hoogbelast actief-slib + ZF + IW (+ bio-regeneratie)
3h	Beluchte A-trap	Hoogbelast actief-slib + ZF + IW (+ LS)

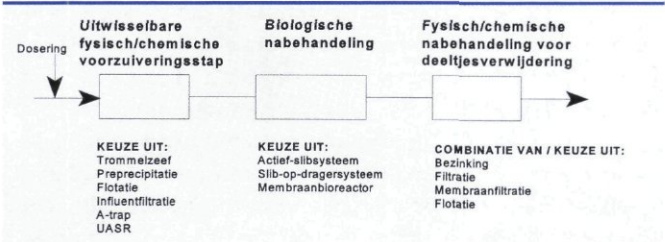
Sc = scenario; ZF = zandfilter; IW = ionenwisseling; AK = actief-koolfilter; LS = luchtstripper

Tabel 1. Kansrijk geachte en geëvalueerde volledige zuiveringsscenario's.

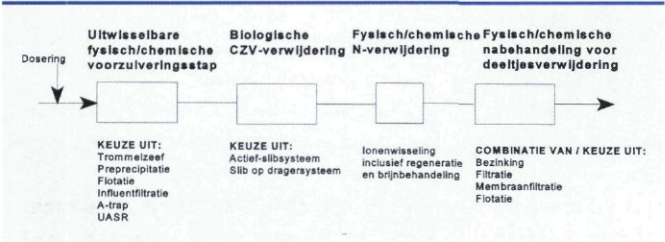
Afb. 1 Hoofdsenario 1: Fysisch/chemische voorbehandeling met fysisch/chemische nabehandeling.



Afb. 2 Hoofdsenario 2: Fysisch/chemische voorbehandeling met biologische nabehandeling.



Afb. 3 Hoofdsenario 3: Fysisch/chemische voorbehandeling met een combinatie van biologische en fysisch/chemische nabehandeling.



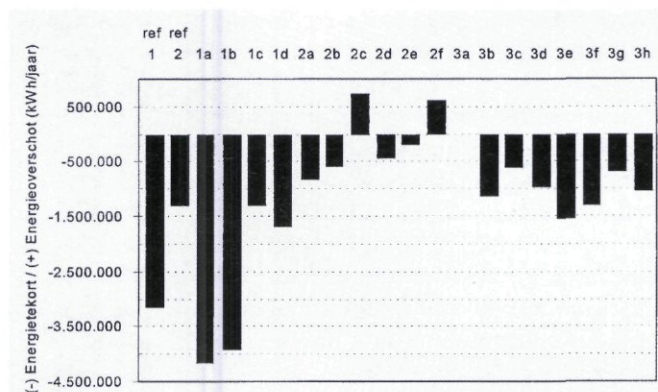
Evaluatie van de volledige zuiveringsscenario's

Om de verschillende zuiverings-scenario's onderling te kunnen vergelijken in technisch, milieuhygiënisch en financieel opzicht is een spreadsheetmodel ontwikkeld, genaamd DEMAS (Dimensio-nerings- en Evaluatie-Model voor Afvalwaterzuiverings-Scenario's). Daarbij is ook een standaard-slib-behandeling opgenomen. Deze behandeling bestaat uit een gravitatie-indikker gevolgd door slibvergisting. Na vergisting wordt het slib afgevoerd naar een centrale ontwatering en verbranding. Binnen dit model zijn de dimensionerings-grondslagen, de milieu-ingrepen, de zuiveringsrendementen, en de kosten van de afzonderlijke

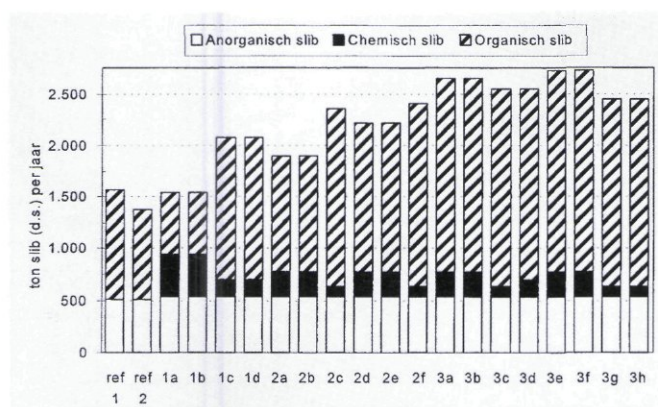
zuiveringsstappen opgenomen. Voor wat betreft de milieu-ingrepen zijn het energieverbruik, de slibproductie c.q. slibproblematiek, het gebruik aan grondstoffen (chemicaliën), de terugwinning van waardevolle componenten, de kwaliteit van het verkregen effluent en de compactheid van de zuiveringsinstallatie gehanteerd. Voor de kostenberekeningen wordt de contante-waardemethode gebruikt.

Resultaten Energiebalans

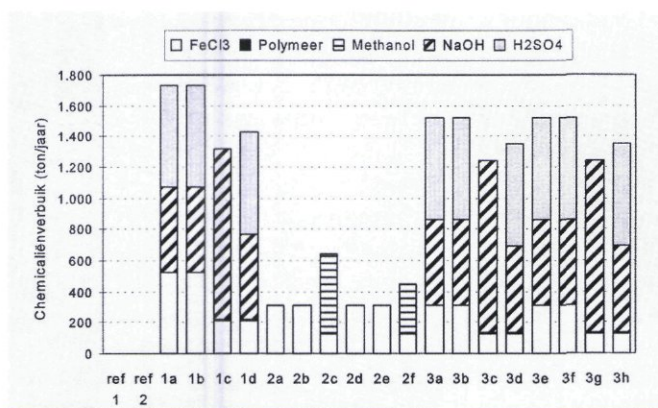
Afbeelding 4 geeft de energiebalans per zuiveringsscenario weer. De energiebalans van de referentiescenario's is in beide gevallen negatief. Het hoge energieverbruik van scenario 1a en 1b wordt veroorzaakt door het hoge energieverbruik van de regeneratiebehandeling van de ionenwisselaar en van de reactivering van de actieve kool. Scenario 1c en 1d hebben een lager energieverbruik, voornamelijk omdat door toepassing van een A-trapvoorzuivering het actief-koolfilter minder zwaar belast wordt. Daarnaast wordt in scenario 1c energie bespaard in de A-trap omdat i.p.v. zuurstof de geconcentreerde nitraatstroom, afkomstig van de ionenwisseling met biologische regeneratie, als elektronenacceptor wordt gebruikt. Voor de scenario's 2a t/m 2f wordt een relatief laag energieverbruik of zelfs een theoretisch energieoverschot berekend. Dit wordt veroorzaakt door het lage energieverbruik in de waterlijn en de hoge energieproductie in de sliblijn. De scenario's 3a t/m 3h



Afb. 4 Energiebalans van de verschillende zuiveringsscenario's.



Afb. 5 Slibafzet na slibverwerking van de verschillende zuiveringsscenario's, onderverdeeld in anorganische, chemische en organische slibfracties.



Afb. 6 Chemicaliënverbruik van de verschillende zuiveringsscenario's.

vertonen een negatieve energiebalans welke hoofdzakelijk wordt veroorzaakt door het energieverbruik van de regeneratiebehandeling van de ionenwisseling.

Slibhoeveelheid na verwerking

Afbeelding 5 geeft het aantal tonnen slib droge stof weer dat jaarlijks wordt afgezet naar de centrale ontwatering en slibverbranding. Hierbij is onderscheid gemaakt in de fractie anorganisch slib, chemisch slib (als gevolg van de dosering van FeCl_3) en organisch slib. De fractie anorganisch slib is in alle scenario's constant.

In scenario 1a en 1b wordt bij de fysisch/chemische voorbehandeling (flotatie

respectievelijk préprecipitatie) een hoge ijzerdosering toegepast om een fosfaatconcentratie in het effluent $\leq 1 \text{ mg P/l}$ te garanderen. Deze dosering resulteert in een relatief grote hoeveelheid chemische slib. In scenario 1c en 1d (toepassing A-trap) worden lagere ijzerdoseringen toegepast omdat door biomassavorming in de voorzuivering een deel van het te verwijderen fosfaat reeds wordt vastgelegd. Daardoor is de hoeveelheid chemische slib lager. Wel vindt een hogere biologische CZV-verwijdering plaats waardoor meer organisch slib wordt geproduceerd. De hoeveelheid organisch slib in de scenario's 2a t/m 2f is relatief groot als gevolg van de biologische slibproductie in de nazuivering. Bij scenario 2a en 2b wordt de slibproductie in de nazuivering enigszins beperkt door toepassing van een slib-op-dragerstelsel. De lagere hoeveelheid chemisch slib in de scenario's 2c en 2f is het gevolg van de hogere productie aan biomassa tijdens

gebaseerd op hoofdsenario 1, is hoog. De benodigde ijzerchloridedosering voor scenario 1a en 1b bedraagt $25 \text{ mg Fe}^{3+}/\text{l}$. Bij toepassing van een A-trap (scenario 1c en 1d) is deze hoeveelheid lager. Bij toepassing van ionenwisseling, in combinatie met een luchtstripper, wordt relatief veel natronloog en zwavelzuur gebruikt. Wel wordt op jaarbasis ruim 900 ton ammoniumsulfaat als bijproduct geproduceerd. Bij toepassing van ionenwisseling met biologische regeneratie is relatief veel natronloog nodig voor buffering. Het product van deze regeneratie is een geconcentreerde nitraatstroom die in de denitrificerende A-trap verder kan worden gebruikt en daardoor leidt tot een besparing op beluchtingsenergie.

In de scenario's van hoofdsenario 2 is het chemicaliënverbruik beperkt tot vlok (hulp) middelen, voornamelijk tot ijzerchloride. Omdat een biologische nabehandeling wordt toegepast kan, vergeleken met de scenario's van hoofdsenario 1, met een lagere ijzerchloridedosering worden volstaan. Het resterende fosfaat wordt biologisch verwijderd. Vanwege de lage BZV/N verhouding in het effluent van de A-trap, is, voor de scenario's waarin een A-trapzuivering is opgenomen, (2c en 2f), een externe koolstofbron in de vorm van methanol nodig.

In de scenario's van hoofdsenario 3 wordt, evenals bij de scenario's van hoofdsenario 2, een relatief lage dosering aan ijzerchloride toegepast omdat het fosfaat ook voor een belangrijk deel biologisch kan worden verwijderd in de hoogbelaste A-trap. Bij de scenario's 3a, 3b, 3d, 3e, 3f en 3h wordt weer ruim 900 ton ammoniumsulfaat per jaar geproduceerd.

Effluentverzouting door chemicaliën

De effluentkwaliteit van alle scenario's voldoet aan de gestelde uitgangspunten. Als gevolg van de dosering van zouten in de vorm van ijzerchloride in de voorzuivering en natronloog in de regeneratie van de ionenwisseling neemt het zoutgehalte in het effluent echter toe. Er is een opvallend sterke toename in natriumionenconcentratie bij scenario 1c, 3c en 3g. In alle drie scenario's wordt een biologische regeneratie van de ionenwisselaar toegepast waarbij relatief grote hoeveelheden natronloog worden verbruikt.

Ruimteverbruik

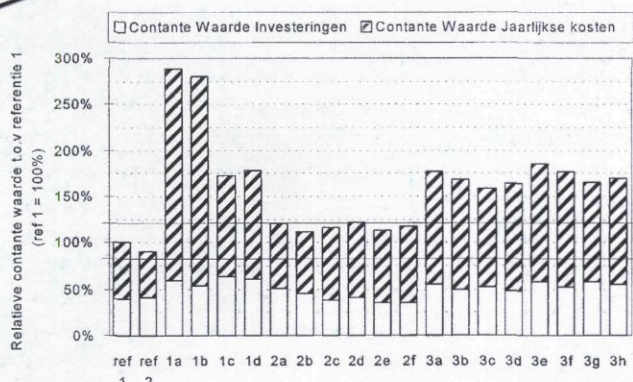
Het ruimteverbruik van alle scenario's is kleiner dan dat van de referentiescenario's. In geval van volledig fysisch/chemische zuivering kan het vereiste oppervlak zelfs worden beperkt tot één vijfde van het oppervlak van de referentie scenario's. De scenario's waarbij

de biologische nazuivering waardoor meer fosfaat biologisch kan worden vastgelegd en minder ijzer hoeft te worden gedoseerd. De scenario's van hoofdsenario 3 vertonen een relatief hoge productie aan organisch slib. Dit is het gevolg van de relatief hoge slibproductie in de hoogbelaste nazuivering. Bij de scenario's, waarin een A-trap als voorzuivering is opgenomen, wordt een lagere productie aan chemisch slib waargenomen.

Chemicaliënverbruik

Afbeelding 6 geeft het chemicaliënverbruik per scenario weer. In de referentie-scenario's worden geen chemicaliën toegepast.

Het chemicaliënverbruik in de scenario's,



Afb. 7 Relatieve vergelijking van de contante waarden van de verschillende zuiveringsscenario's ten opzichte van referentiescenario 1 (totale contante waarde van dit scenario = 100%).

een actief-slibstelsysteem is opgenomen als nazuivering hebben een ruimtebeslag dat circa twee maal zo groot is als dat van de volledige fysisch/chemische scenario's. De oorzaak hiervan is vooral de grootte van de nabezink-tanks.

Kosten

Afbeelding 7 geeft de relatieve contante waarde van de zuiveringsscenario's ten opzichte van Referentiescenario 1. De contante waarde van dit referentiescenario is daarbij op 100 procent gesteld. In de figuur wordt onderscheid gemaakt tussen de contante waarden die betrekking hebben op de civiele en elektro-mechanische investeringskosten en de contante waarden die betrekking hebben op de jaarlijkse operationele kosten. Wat de totale kosten betreft, kan zeer globaal onderscheid worden gemaakt tussen zuiveringsscenario's die circa 2,8 maal zo duur zijn dan Referentiescenario 1 (scenario 1a en 1b), scenario's die circa 1,7 maal zo duur zijn dan Referentiescenario 1 (scenario 1c, 1d, 3a t/m 3h) en scenario's waarvan de contante waarde 10 à 20 procent hoger ligt dan die van Referentiescenario 1 (scenario 2a t/m 2f).

Discussie en conclusies

Uit de resultaten, besproken in het vooraf-gaande en aangevuld met de resultaten van een gevoeligheidsanalyse, blijkt dat door een vergaande deeltjesverwijdering in de voorzuivering, in combinatie met een juiste keuze van de overige zuiveringsstappen, de gehele waterzuiveringsroute compacter en energie-zuiniger kan worden bedreven. Als mogelijke fysisch/chemische of gecombineerd fysisch/chemische/biologische voorzuiveringsstappen kunnen worden genoemd: trommelzeef met vlokmiddeldosering; voorbezinking met vlokmiddeldosering (préprecipitatie); flotatie met vlokmiddeldosering; directe influentfiltratie met of zonder vlokmiddeldosering; A-trap met slibregeneratie en/of

vlokmiddeldosering (bioflocculatie); denitrificerende A-trap (eventueel met vlok-middeldosering).

De kosten van zuiveringsscenario's, waarbij een fysisch/chemische voorzuivering wordt gecombineerd met een biologische nazuivering, kunnen potentieel worden beperkt tot de kosten van het huidige zuiverings-proces. De onder-zochte volledige

fysisch/chemische zuiveringsroutes zijn relatief duur vanwege de hoge kosten voor regenera-atbehandeling van de ionenwisseling en de thermische reactivering van het actief-koolfilter.

Door een fysisch/chemische voorzuivering wordt meer (organisch) slib geproduceerd, dat nuttig kan worden (her)gebruikt. In de opge-stelde scenario's vindt gedeeltelijk hergebruik plaats door de productie van biogas. De fysisch/chemische voorzuivering en de gecombineerd fysisch/chemische en biologische voorzuivering leiden echter ook tot een grotere hoeveelheid reststof na verbranding als gevolg van de productie van chemisch slib.

Na de fysische/chemische voorzuivering resteert een nagenoeg deeltjes- en fosfaatvrij effluent. Het effluent bevat nog opgelost CZV en opgeloste stikstof. Het CZV is relatief eenvoudig te verwijderen door toepassing van biologische processen. De stikstofverwijdering bepaalt in sterke mate de economische en technische haalbaarheid van zuiveringsscenario's. Indien er vanuit wordt gegaan dat een BZV/N verhouding van minimaal 2,5 nodig is voor stikstofverwijdering door middel van nitrificatie/denitrificatie, kan, na een intensieve voorzuivering in sommige gevallen nog net een biologische stikstofverwijdering worden toegepast. In de scenario's, waar de A-trap wordt gecombineerd met een biologische nabehandelingsstap, zal wel een te lage BZV/N-verhouding ontstaan, waardoor een extra koolstofbron (methanol) moet worden gedoseerd. Omdat denitrificatie na een intensieve voorzuivering kritisch of niet mogelijk wordt zonder methanoldosering, wordt een techniek als ionenwisseling mogelijk interessant.

De intensieve fysisch/chemische voorzuivering, in combinatie met biologische nabehandeling, kan bij de afvalwaterzuivering

leiden tot energiebesparing. Afhankelijk van het zuiveringsscenario blijkt dat een laag netto energiegebruik of zelfs een positieve energiebalans voor de zuiveringsinstallatie theoretisch mogelijk is. Daar staat tegenover dat bij de toepassing van volledig fysisch/chemisch zuiveringsscenario's de regenera-atbehandeling van de ionenwisseling en de thermische reactivering van het actief-kool een hoog energieverbruik veroorzaken.

Bij de onderzochte fysisch/chemische voorzuiveringsstappen dient in de meeste gevallen een vlokmiddel te worden gedoseerd om vergaande deeltjesverwijdering te realiseren. In de haalbaarheidsstudie is voornamelijk gekozen voor ijzerchloride t.b.v. vlokvorming en fosfaatverwijdering. Als gevolg van de dosering van grote hoeveelheden ijzerchloride is het chemicaliënverbruik in de fysisch/chemische voorzuiveringsstappen echter aanzienlijk. Dit komt tot uitdrukking in de zuiveringskosten, de hoeveelheid geproduceerd chemisch slib en de verzouting van effluent.

De waterlijn kan niet los gezien worden van de sliblijn. De kosten van de opgestelde scenario's bestaan voor een belangrijk deel (een derde tot de helft) uit de kosten van slib-verwerking. Slibgisting op de zuivering is volgens de kostencalculaties goedkoper dan directe afvoer naar een ontwaterings- en verbrandingsinstallatie.

Voor de verdere ontwikkeling van meer duurzame zuiveringsmethoden, gebaseerd op een fysisch/chemische voorzuivering, is het nodig een aantal knelpunten/kennisleemtes nader te onderzoeken. Als belangrijkste kunnen worden genoemd:

- Alternatieven voor het gebruik van anorganische vlokmiddelen voor de vlok-vorming: bioflocculatie, flocculatie met organische polymeren.
- Afscheidingstechnieken voor het bij de vlok-vorming ontstane slib: flotatie, afscheiding in een denitrificerende A-trap, direct influentfiltratie, directe membraan-filtratie.
- Stikstofverwijdering m.b.v. ionenwisseling.

Aan deze aspecten wordt momenteel in opdracht van de STOWA verder onderzoek verricht. ■

LITERATUUR

- 1) STOWA (1996). Het zuiveren van stedelijk afvalwater in het licht van duurzame milieuhygiënische ontwikkeling, rapportnr. 96-15.
- 2) STOWA (1998). Fysisch/chemische voorzuivering van afvalwater. Identificatie en evaluatie van zuiveringsscenario's gebaseerd op fysisch/chemische voorzuivering, rapportnr. 98-29.