

Zuivering van afvalwater langs niet-biologische weg

1. Inleiding

Fysische en chemische methoden voor de behandeling van afvalwater zijn relatief al zeer oud. Reeds in 1740 werden deze methoden gebruikt [1]. Lange tijd zijn zij uit de belangstelling verdwenen, ten gevolge van de successen die door middel van biologische afvalwaterzuivering werden bereikt. De laatste tijd is de belangstelling voor de fysisch-chemische zuiveringsmethodes (FCZ) sterk groeiende, omdat de voordelen van de biologische zuivering (BZ), nl. eenvoudige apparatuur en lage



PROF. DR. IR.
N. W. F. KOSSEN
Laboratorium voor Fysische
Technologie, TH Delft

kosten gepaard aan een zuiveringsrendement van 70 à 90 % (betrokken op BOD), hun relevantie gaan verliezen. Dit is vooral het gevolg van het strenger worden van de eisen waaraan gebruikt water moet voldoen wil het nog op het oppervlaktewater geloosd mogen worden. Tengevolge van deze verscherpte eisen moet de BZ worden uitgebreid met extra zuiverings-trappen (voor verwijdering van P en N, en verdergaande verwijdering van BOD). Hoewel deze eisen nog niet overal van kracht zijn, is het toch nuttig om na te gaan in hoeverre FCZ kan concurreren met de BZ als zij van kracht worden. In het onderstaande zal dit nader worden uitgewerkt, waarbij de N-verwijdering buiten beschouwing blijft omdat deze door dr. ir. Dijkstra [2] is behandeld. De behandelde FCZ-methoden kunnen eventueel ook worden gebruikt als aanvulling op de BZ. Dit element is al besproken in een eerder verhaal van de auteur [3].

2. Mogelijke processen

Hoewel in principe een breed scala van processen in aanmerking komt voor FCZ, men zie hiervoor onder andere H. H. Weber [4] en Sawyer [5], zijn er slechts enkele voldoende onderzocht om een redelijke schatting van rendement en onkosten te kunnen maken. Het zijn die methoden welke Sawyer samenvat onder 'established technology'. Tabel I geeft hiervan een overzicht.

TABEL I - 'Established technologies' voor FCZ.

Coagulatie/flocculatie	Omgekeerde osmose (hyperfiltratie)
Mikrozeven	Extraktie
Adsorptie aan actieve kool	Filtratie
Elektrodialyse	Bezinking
Ionenwisseling	Centrifugeren
Destillatie	

Voor vergaande zuivering komen de volgende combinaties in aanmerking:

- primaire zuivering (zandvang etc.) gevolgd door coagulatie/flocculatie, filtratie, koolbehandeling en desinfectie;
- primaire zuivering gevolgd door coagulatie, flocculatie, filtratie en omgekeerde osmose (hyperfiltratie).

De kosten van deze processen zullen, tenzij anders vermeld, worden berekend voor een capaciteit van 10 mgd ($3,8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{dag}$). Alle bedragen zijn omgerekend van de in de literatuur gebruikte munteenheid (meestal US \$) naar f op basis van $1 \$ = f 3,20$. De prijzen hebben betrekking op de reiniging van huishoudelijk afvalwater.

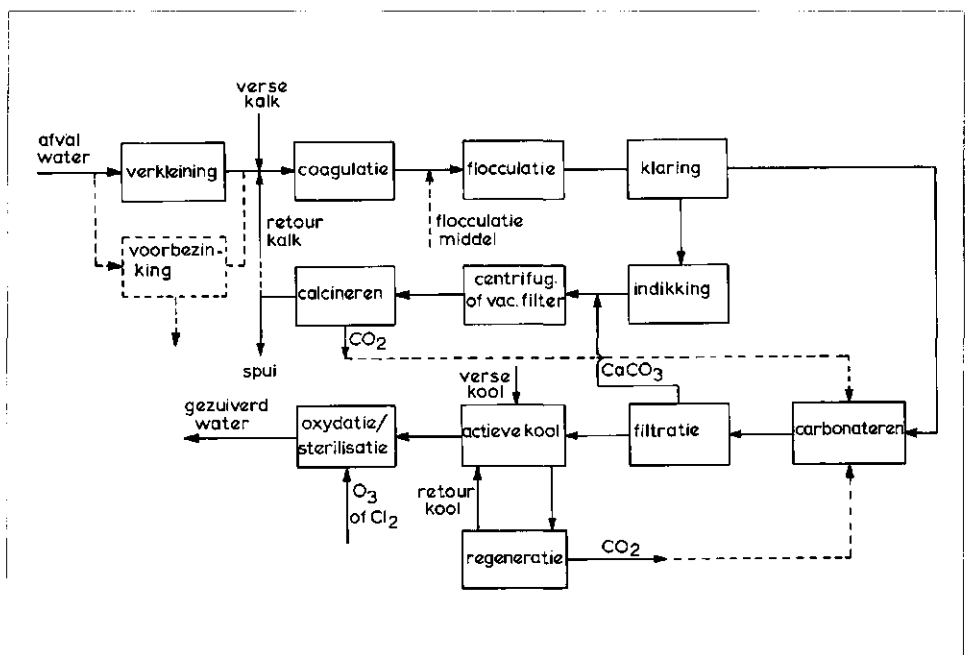
2.1. Combinatie A

Deze wijze van FCZ wordt in de literatuur het meest beschreven. Er is veel onderzoek gedaan op laboratorium- en semitechnische schaal. Ook praktijkresultaten beginnen ter beschikking te komen. Een goed recent overzicht geeft Cohen [6]. Andere overzichten zijn [7, 8, 9, 5, 10, 11, 12, 13]. Iets minder recent, maar wel breed van opzet is het werk van Culp [14]. Resultaten op pilot plant schaal geeft o.a. Weber [15], resultaten op praktijkschaal zijn te vinden in een uitgebreid verslag over de installatie bij Lake Tahoe [16]. Middleton [1] geeft een overzicht van de research die op dit terrein nog gewenst is. Afb. 1 is een blokschema van een mogelijke FCZ, die veel in de literatuur wordt

genoemd. Er zijn ruwweg 4 onderdelen te onderscheiden:

- *Voorzuivering*: hier kan of een vóórbezinking worden gebruikt of het afgevangen grofvuil wordt vermalen en toegevoegd aan de volgende stap.
- *Coagulatie/flocculatie/filtratie*: aangenomen is dat wordt gewerkt met kalk ('lime'). Deze wordt als suspensie toegevoegd. Ook ijzer- of aluminiumverbindingen zijn bruikbaar mits men in een nauw pH-traject (pH 4 à 6) werkt. Er vindt verwijdering plaats van P, SS, van colloïdale stoffen en, ten gevolge van adsorptie, van opgeloste stoffen. Het ontstane slib wordt geflocculeerd na toevoeging van een hulpmiddel (polymeer). Daarna vindt klaring, indikking en centrifugeren of vacuümfiltratie plaats. In een oven worden geadsorbeerde organische stoffen verbrand tot CO_2 , de kalk wordt geretourneerd. Daar bij de coagulatie calciumfosfaat wordt gevormd, dat in de oven niet ontleedt, is een spui nodig. De vloeistof die uit de klaring komt heeft een hoge pH (ca. 11). Door carbonateren (CO_2 doorleiden) wordt de pH in twee stappen teruggebracht tot pH = 9,3 resp. 7,0. Het hierbij ontstane kalkneerslag wordt gefiltreerd en uiteindelijk naar de kalkoven gevoerd.
- *Koolbehandeling*: In het schema is gebruik gemaakt van gegevens over korrelkool. De laatste tijd verschijnen publicaties over de toepassing van poederkool die regenererbaar is [17].

Afb. 1 - FCZ volgens methode A.



Hiermee komt ook deze mogelijkheid economisch binnen bereik. Het filtraat van de carbonatatie wordt over koolkolommen geleid waar een vergaande verwijdering van organische stoffen plaatsvindt. De kool kan worden geregenereerd waarbij een verlies optreedt van 5 à 10 % per behandeling. Hier is een verlies van 9 % aangenomen.

— *Oxydatie/sterilisatie*: zowel chloor als ozon kunnen worden gebruikt. Bij gebruik van chloor kan tevens ammoniak verwijderd worden. Zowel bij gebruik van chloor als ozon kan organisch materiaal verder worden afgebroken, vooral als een katalysator of UV-licht wordt toegevoegd [11]. Het gebruik van ozon heeft een aantal voordelen ten opzichte van het gebruik van chloor [18]:

- snellere reactie;
 - geen vorming van ongewenste bijproducten;
 - vorming ter plaatse, dus geen transport van giftige chemicaliën.
- De hoge kosten van de ozonbehandeling (10 à 20 cent/m³) vormen een nadeel. Het is op dit moment niet te voorspellen of de voordelen opwegen tegen de hoge prijs.

In afb. 2 is een overzicht gegeven van de bovengenoemde stappen. In deze afbeelding is tevens per trap en per 'stof' (BOD, SS, P enz.) het zuiveringsrendement weergegeven, alsmede het totaalrendement per stof.

Tenslotte is, wederom per stap, de kostprijs vermeld. Alle getallen zijn gemiddelden van de gevonden literatuurwaarden. Bij beschouwing van afb. 2 vallen een aantal zaken direct op:

- de totale zuiveringsrendementen zijn zeer hoog;
- de kosten (21 cent/m³) zijn hoger dan voor een klassieke BZ (16 à 19 cent/m³) maar vergelijkbaar met de kosten van BZ met zgn. derde trap (18 à 22 cent/m³).

Bottlenecks

Uiteraard rijst de vraag of de genoemde methodes alle zover zijn ontwikkeld dat de gehele installatie voldoende storingsvrij werkt. Voor de eerste twee stappen is dit zeker het geval. Weliswaar kan het werken met kalksuspensies e.d. moeilijkheden geven maar in de procestechnologie is voldoende ervaring aanwezig om deze problemen op te lossen. Voor de koolbehandeling ligt het iets moeilijker. De twee belangrijkste problemen zijn hier:

- *Regeneratie van de kool*. De cijfers in afb. 2 zijn gebaseerd op een verlies van 9 % kool per regeneratie [16]. Een verlies van 5 % op technische schaal is mogelijk [16, 6], soms vindt echter een veel groter verlies plaats, nl. 25 % [6]. Nader onderzoek lijkt hier op zijn plaats [1], vooral gezien de invloed van de regeneratieverliezen op de kosten van de koolbehandeling, nl. 8 cent bij 9 % verlies en 18 cent bij 50 % verlies [19].

— *Biologische activiteit in de koolkolommen*. Dit kan een voordeel zijn (extra BOD-verwijdering en denitrifikatie) of een nadeel (dichtgroeien, H₂S ontwikkeling onder anaerobe omstandigheden, toename aantal mikro-organismen in het effluent). Ook hier zou onderzoek op zijn plaats zijn [1].

Een voorlopige konklusie voor de FCZ met behulp van bovengeschetste methode luidt dus dat deze kan concurreren met de BZ als deze is uitgerust met een zgn. 3e trap.

2.2. Combinatie B

Kombinate B wijkt in zoverre af van combinatie A, dat de koolbehandeling en de desinfectie zijn vervangen door hyperfiltratie. Alleen aan de hyperfiltratie zal daarom enige aandacht worden besteed.

Hyperfiltratie

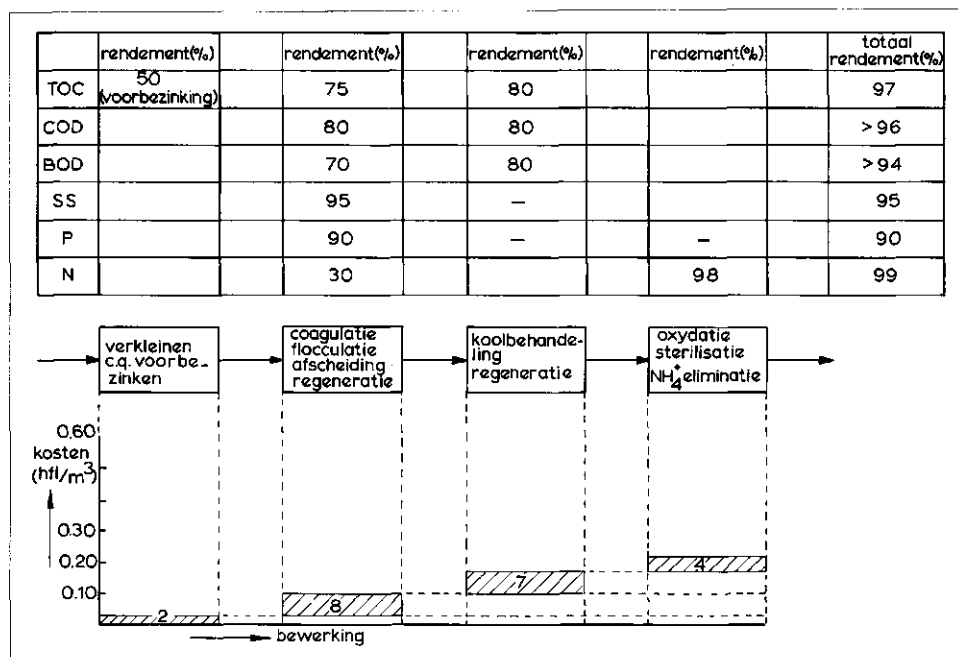
Bij hyperfiltratie wordt water onder een overdruk door een membraan geperst dat min of meer ondoorlatend is voor de in het water opgeloste stoffen. De stoffen die voor meer dan 90 % kunnen worden verwijderd zijn weer gegeven in tabel II (zie ook [20]).

TABEL II - Verbindingen die door middel van omgekeerde osmose zijn te verwijderen.

- Gesuspenderde materialen.
- Elektrolyten.
- COD.
- Hoogmoleculaire organische verbindingen.

De kondities waaronder dit gebeurt variëren nogal. De druk bijvoorbeeld bedraagt, afhankelijk van het type membraan, 25 tot 70 atm. De efficiëntie van de scheiding is geen funktie van de concentratie [21], maar wel van de stroomsnelheid langs de membranen [22]. Vervuiling van de membranen doet de waterstroom er doorheen snel afnemen [22]. Dit is te voorkomen door handhaving van hoge snelheden van de vloeistof langs het membraan [22]. De vervuiling kan goed worden verwijderd met behulp van een enzymoplossing [6] of door spoelen [21]. De waterstroom door de membranen bedraagt ca. 1,5 m³/m² dag, zodat een groot oppervlak nodig is. Dit is wel in kleine apparaten onder te brengen, o.a. door de ontwikkeling van de 'hollow fiber' techniek (membranen in de vorm van buisjes van ca. 50 µ uitwendige diameter). De ingedikte verontreiniging zit na het proces opgelost in een hoeveelheid water die tussen de 5 en 20 % van de ingaande stroom bedraagt. Het is nog de vraag wat hiermee verder moet gebeuren. De kosten zijn hoog. Gegevens hierover zijn schaars, maar liggen boven de

Afb. 2 - Gegevens FCZ met koolbehandeling.



25 cent/m³ - 30 cent/m³ volgens Weber [4] en 25 à 50 cent/m³ volgens Culp [14]. Daar de omgekeerde osmose in ieder geval vooraf moet worden gegaan door een voorzuivering (bezinken + eventueel coagulatie [20]) worden de totale kosten erg hoog. Het zuiveringsrendement is zeer goed, ook voor zouten (elektrolyten). In afb. 3 is het zuiveringsproces, met rendementen en kosten, uitgezet. De rendementen zijn gemiddelden van literatuurwaarden. Bij de totale rendementen zijn de gegevens voor stikstof niet ingevuld, omdat deze niet vergelijkbaar waren.

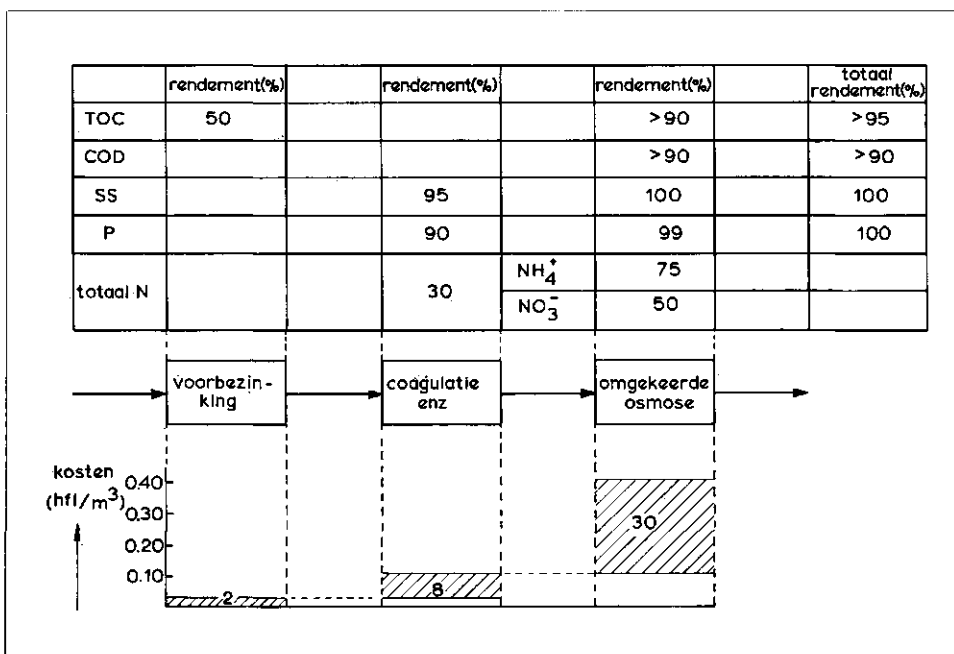
Bottlenecks

Het grote probleem bij omgekeerde osmose is de vervuiling van de membranen. Daarnaast zijn de geringe filtratiesnelheid (1,5 m/dag) en de kans op breuk, problemen, zij het van mindere orde. Beide methoden (A en B) overziende, dringt zich de konklusie op dat methode A de voorkeur verdient boven methode B, vooral vanwege de veel lagere kosten. Alleen wanneer zeer strenge eisen gaan worden gesteld aan het fosfaatgehalte, of het zoutgehalte in het algemeen, heeft methode B een kans.

3. Verdere afweging van BZ tegen FCZ

Nu gebleken is dat de FCZ onder toepassing van koolkolommen qua kosten en rendement zeker kan concurreren met een BZ waaraan een derdetraps zuivering is toegevoegd, is het nuttig om andere voor- en nadelen van beide methodes te vergelijken (zie tabel III).

Afb. 3 - Gegevens FCZ met omgekeerde osmose.



TABEL III - Voor- en nadelen van de FCZ.

voordelen	nadelen
geen slib direkt bedrijfsklaar flexibel hoog zuiveringsrendement ongevoelig voor giften gering grondoppervlak	gebruik chemicaliën iets gekompliceerder dan BZ meer controle apparatuur dan BZ kans op H ₂ S-vorming in de koolkolommen hoger energieverbruik

De nadelen zijn gemakkelijk op te vangen, de FCZ is te vergelijken met een eenvoudig chemisch bedrijfje, waar één of twee bedieningsvakmensen de installatie gemakkelijk kunnen bedienen. Uiteraard zal het personeel voor een FCZ wel enige scholing moeten hebben gehad in het bedienen van een chemisch proces.

De voordelen zijn zeer belangrijk, vooral het eerste. Het feit dat geen slib wordt gevormd betekent nl., dat de negatieve waarde die aan de slibverwerking meestal moet worden toegekend (ca. f 7,—/i.e. of, omgerekend, 7 cent/m³, zie [23]), de ekonomie van de FCZ alleen maar gunstiger maakt.

Het energieverbruik per m³ is enige malen hoger dan bij BZ (in verband met regenerate van kalk en kool) zoals zich laat berekenen uit de gegevens van Lake Tahoe [16]. Dit punt verdient zeker nadere aandacht.

4. Konklusies en aanbevelingen

De literatuur overziende kan men niet ontkomen aan de indruk dat FCZ van afvalwater een reëel alternatief is ten

opzichte van BZ, wanneer strengere eisen gaan worden gesteld aan P en N-gehalten in het effluent.

Ervaring op het gebied van de FCZ als vervangend proces ontbreekt in Nederland vrijwel geheel. Gezien de grote aandacht voor de FCZ in de USA is het sterk aan te bevelen om in Nederland tenminste één groep onderzoekers met deze methode ervaring te laten opdoen. Op die manier is men in staat snel te profiteren van de in de USA bereikte resultaten. Genoemde groep onderzoekers zou moeten zijn samengesteld uit mensen uit de civiele gezondheidstechniek en mensen uit de chemische procestechniek.

Literatuur

- Middleton, F. M., Stenborg, R. L., J. San. Eng. Div. SA3 (1972) 515.
- Dijkstra, F., Voordracht vakantiekursus 1974 (verschijnt in H₂O).
- Kossen, N. W. F., Voordracht Kommissie Hydrologisch Onderzoek, februari 1973.
- Weber, H. H., Chemie Ing. Technik 44 (1972) 659.
- Sawyer, G. A., Chemical Engineering, July 1972, 120.
- Cohen, J. M., Kugelman, I. J., JWPCF 45 (1973) 1027.
- Characklis, W. G., Busch, A. W., Chem. Engng/Deskbook Issue, Mag 8, 1972, 61.
- Hager, D. G., Reilly, P. B., JWPCF 42 (1970) 794.
- Middlebrooks, E. J. et al, Public Works August 1972, 80.
- Shuckrow, A. J. et al, Water Research 6 (1972) 619.
- Sontheimer, H., Vom Wasser 47 (1970) 171.
- Stephan, D. G., Convery, T. T., Proces Techniek 10 mei 1972, 327.
- Lewicke, C. K., Env. Sci & Technol. 6 no. 9 (1972), 782.
- Culp, R. K., Culp, G. L., Advanced Wastewater Treatment (van Nostrand Reinhold Cy, N.Y. 1971).
- Weber, W. J. et al, JWPCF 42 (1970) 83.
- Advanced Wastewater Treatment as Practiced at South Tahoe EPA, Proj. 17010 ELQ (WPRD 52-01-67) (US Government Printing Office, Wash. D.C. 20402, 1971).
- Koches, C. F., Smith, S. B., Chem. Eng. 79 (9) (1972), 46.
- Sliter, J. T., JWPCF 46 (1974) 4.
- Burns, D. E., Shell, G. L., JWPCF 46 (1974) 148.
- Kuiper, D., Wechsler, R., Hergebruik van water (KIWA NV 1973).
- Hamoda, M. F. et al, JWPCF 45 (1973) 2146.
- Thomas, D. G., Mixon, W. R. Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop. 11 (1972) 339.
- Heyn, J. P., Karper, R., H₂O 6 no. 14 (1973) 367.