

De invloed van zuurstofspanning in de gasfase op de werking van een bioschijvenfilter

1. Inleiding

In een oxydatief biologisch zuiveringsproces is zuurstof nodig voor micro-biologische afbraak van de in een afvalwater aanwezige organische verontreinigingen. Hierdoor is het handhaven van een goede toevoer van opgeloste zuurstof één van de belangrijkste eisen voor een goed lopend biologisch afvalwaterzuiveringsproces. Veel onderzoek is verricht naar de ontwikkeling van mechanische aeratie-inrichtingen met een zo gunstig mogelijke conditie van het grensvlak water-lucht. Zoals bij elk mechanisch systeem zijn er bepaalde praktische grenzen, die moeilijk door het verbeteren van de apparatuur te overschrijden zijn. In de praktijk ligt de efficiëncy van het zuurstoftransport gewoonlijk tussen 5 en 15 %.

Een geheel andere mogelijkheid om het zuurstoftransport te vergroten is de toepassing van een hogere zuurstofconcentratie in de gasfase door gebruik van zuivere zuurstof i.p.v. lucht als aeratiegas. Het massatransport van zuurstof vanuit de gasfase naar de vloeistoffase is evenredig met het zuurstofdeficiet (verzadigingsconcentratie c_s , minus de werkelijke zuurstofconcentratie c in de waterfase) en wordt weergegeven door de vergelijking

$$\frac{dQ}{dt} = A \cdot K_L (c_s - c) \quad (1)$$

waarbij $\frac{dQ}{dt}$ de hoeveelheid zuurstof

voorstelt die per tijdseenheid door oppervlakte A diffundeert (K_L wordt de bruto overdrachtscoëfficiënt genoemd). De verzadigingsconcentratie c_s in water is verder afhankelijk van de partiëlespanning p van zuurstof in gasfase.

$$c_s = \frac{H}{\gamma} P_{O_2} \quad (\text{Wet van Henry}) \quad (2)$$

De Henry-coëfficiënt H hangt af van de temperatuur, γ is de activiteitscoëfficiënt en is in zuiver water gelijk aan 1. De verzadigingsconcentratie van zuurstof in water, in evenwicht met lucht, bedraagt bij kamertemperatuur circa 9 mg/l; die van zuivere zuurstof bij 1 atmosfeer en kamertemperatuur circa 43 mg/l. Gehele of gedeeltelijke vervanging van lucht door zuurstof kan dus leiden tot een aanzienlijke versterking van de zuurstofoverdracht (vgl. 1 en 2).

De toepassing van zuurstof als aeratiegas bij het actiefslibproces is al enige jaren onderwerp van intensieve research [1]. Deze werkwijze blijkt voordelen op te leveren, vooral wat betreft de geringere slibproductie, de eigenschappen van het geproduceerde slib en de verhoogde organische verwijdering per reactorvolume. Het is van belang om het effect van verhoging van de zuurstofspanning op de micro-biologische afbraak van organisch materiaal eveneens vast te stellen bij andere biologische werkwijzen en daarom werd door ons een onderzoek uitgevoerd met een bioschijvenfilter (Tauchtropfkörper - Rotating disc process). Aan deze werkwijze werd de voorkeur gegeven i.v.m. de eenvoud van de procesvoering, de goede efficiëncy en de mogelijkheid van visuele waarneembaarheid van de biologische film. Het bioschijvenfilter werd tien jaar geleden in de praktijk van de afvalwaterreiniging geïntroduceerd en momenteel zijn reeds vele honderden installaties in binnen- en buitenland in bedrijf. Voor wat betreft de toepassing van het bioschijvenfilter in een luchtatmosfeer zij verwezen naar Pöpel e.a. [2, 3, 4, 5, 6, 7].

2. Beschrijving van de gebruikte apparatuur

Het principe van het bioschijvenfilter is afkomstig van Hartmann [3]. Een bioschijvenfilter (afb. 1) bestaat uit een aantal schijven die dicht naast elkaar op een horizontale as gemonteerd zijn. De schijven, waarop de micro-organismen zich hechten, draaien rond in een trog, waarin zij voor circa een derde deel van de diameter in het te reinigen afvalwater ondergedompeld zijn. Door de roterende schijven wordt voortdurend een waterfilm uit de trog omhooggevoerd die

langs de zijkant van de schijven naar beneden sijpelt. Door het oppervlak van deze afvalwaterfilm diffundeert de luchtzuurstof, welke nodig is voor de biologische oxydatie. Door de draaiende bewegingen van de schijven treedt een effectief contact op tussen micro-organismen op de schijven, de te verwijderen organische stoffen in het afvalwater en lucht.

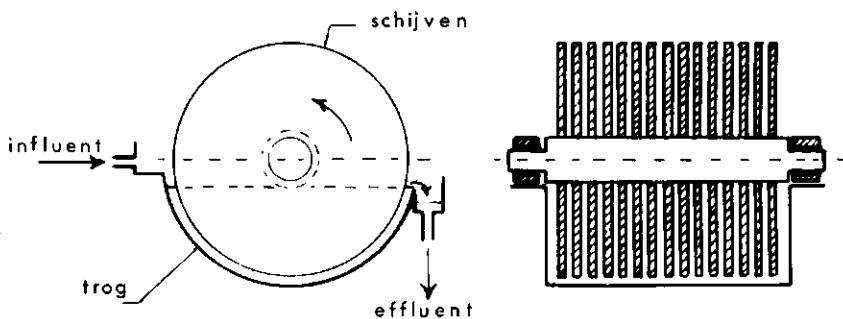
Tijdens het zuiveringsproces groeit de biologische laag op de schijven continu aan. Als de laag te dik wordt zal ten gevolge van de zwaartekracht en de krachten veroorzaakt door de rotatie van de schijven door het water een deel van de biologische slibmassa afkalven. De afgestoten bio-massa wordt met het effluent meegevoerd naar het bassin van nabezinking waarin het door gravitatieafscheiding kan worden verwijderd.

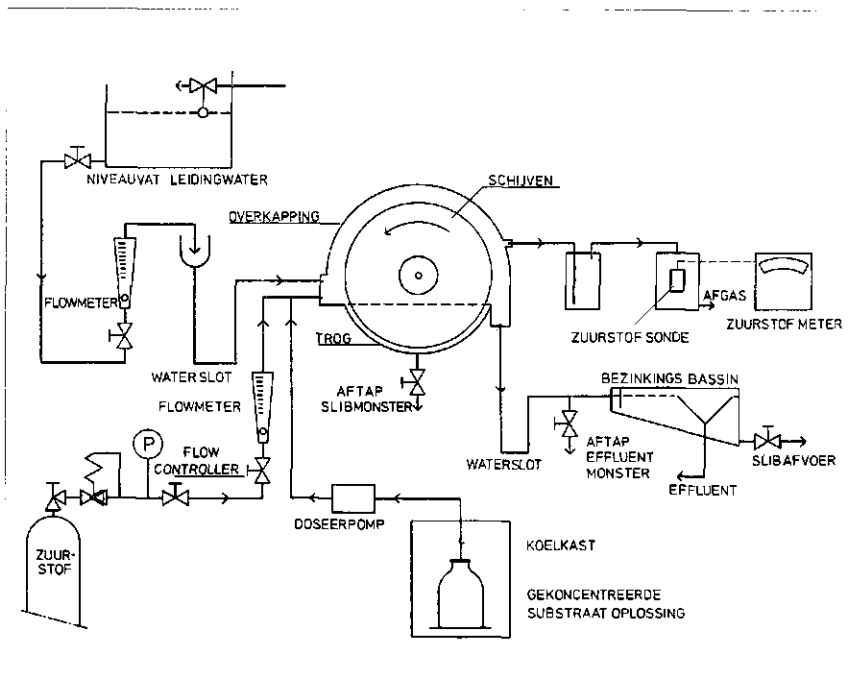
Voor ons onderzoek werden twee identieke bio-schijvenfilters naast elkaar gebruikt, waarbij één van de bio-schijvenfilters geheel overkoepeld is, zodat binnen de overkoepeling een bepaalde zuurstofspanning kan worden gehandhaafd (afb. 2). Daartoe werd technische zuurstof via een fijn regelventiel en een flowmeter in het compartiment geleid.

Het bio-schijvenfiltermodel bestaat uit een pakket van tien polystyreen schijven met een diameter van elk 60 cm en een dikte van 2 cm. De onderlinge afstand bedraagt 2 cm en de totale oppervlakte der schijven circa 6 m². De inhoud van de trog is 28 liter. De nabezinkingsinrichting heeft een volume van 45 liter.

De bij ons onderzoek gebruikte flow van het water was zodanig dat de gemiddelde verblijftijd 2¼ uur bedroeg. De schijven roteerden met een snelheid van 9,4 rpm. Bij deze rotatiesnelheid

Afb. 1 - Schema bioschijvenfilter.





Afb. 2 - Schema van de gebruikte apparatuur.

wordt de inhoud van de trog zo effectief geroerd, dat deze als een ideaal geroerde tankreactor functioneert, hetgeen door ons werd vastgesteld aan de hand van metingen over de verblijftijd-spreiding. Als modelstof voor de in het afvalwater aanwezige verontreinigingen, werd natrium caseïnaat gebruikt (proteïnegehalte minimaal 95 %), dat via een slangenpomp in geconcentreerde vorm naar de filters gevoerd werd. Verdunningswater werd toegevoerd via een flowmeter uit een vat (1 m³) waarin het water op een constant niveau gehouden wordt. De geconcentreerde substraatoplossing werd in een vat van 50 liter bewaard in een koelkast, bij een temperatuur van enkele graden boven het vriespunt. Aan de voorraadoplossing was een hoeveelheid loog toegevoegd voor het handhaven van een gunstige pH voor de afbraakprocessen in de schijvenfilters; tevens werd een vroegtijdige biologische activiteit in de geconcentreerde substraatoplossing door de hoge pH tegengegaan.

Voor een goed functioneren van de biologische processen in afvalwater is een bepaalde hoeveelheid stikstof en fosfor t.o.v. organisch materiaal noodzakelijk. Uit de literatuur en uit eigen onderzoek blijkt, dat de gebruikte modelstof voldoende stikstof en fosfor bevat voor een optimale werking in een microbiologische afbraak.

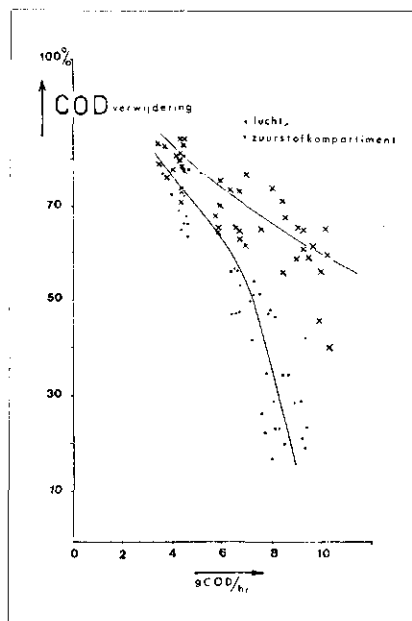
Bij de experimenten werd er naar gestreefd om een aantal reeksen metingen en analyses uit te voeren bij verschillende COD-belastingen en constante toevoer van de zuurstof (serie I) en bij variabele toevoer van zuurstof en een constante COD-belasting (serie II).

3. Metingen, analyses en analysemethoden

Van de effluënten van zuurstofcompartiment (ZK) en luchtcompartiment (LK) werden na filtratie de volgende metingen en analyses verricht:

- De Chemical Oxygen Demand (COD) volgens methode ASTM D 1252-67.
- Het fosfaat, nitraat, nitriet en ammoniumgehalte m.b.v. colorimetrische methoden volgens resp. ASTM D515-65T (methode c), ASTM D992-52, NEN 3235 6.3 en ASTM D1426-58.

Afb. 3 - Percentage COD-verwijdering als functie van de COD-belasting bij constante zuurstofdoserings (1,6 g O₂/m²hr).



c. Het totaal fosfaatgehalte volgens Kats [8].

d. Voorts werden de pH en temperatuur van de effluënten bepaald. De zuurstofgehalten van het afgas van het ZK en van de effluënten van beide compartimenten werden gemeten m.b.v. een Beckmann Process Oxygen Analyser. Eveneens werd de slibindex gemeten. De slibproductie werd nagegaan door het verzamelen van het slib van de schijven, troggen en bezinkingsbassins.

De influentconcentraties werden berekend uit analyses verricht aan een verdunning van de geconcentreerde substraatoplossing. Het natriumcaseïnaat heeft een BOD₅²⁰-equivalent van 0,870 g BOD/g; terwijl de BOD₅/COD factor volgens analyse 0,65 bedroeg. Bij het onderzoek van influent en effluentmonsters werd uitsluitend volstaan met COD-bepalingen daar deze bepaling sneller en reproduceerbaarder is dan de BOD-bepaling.

4. Resultaten

4.1 COD-verwijdering

Afb. 3 en 4 bestrijken een onderzoeksperiode van enige maanden, waarin bij een constante zuurstofdoserings (1,6 g O₂/m²hr), de belasting gevarieerd werd (serie I). In afb. 3 valt duidelijk te constateren dat de afbraakcapaciteit in het LK bij hoge belastingen beduidend geringer is dan die in het ZK. Bij lage belastingen treedt er geen essentieel verschil op tussen LK en ZK. Aangenomen kan worden dat daar de zuurstoftoevoer nog geen beperkende factor is. De lijnen in de afbeeldingen zijn slechts schetsmatig getrokken om een bepaalde tendens te verduidelijken. In afb. 4 komt het verschil tussen LK en ZK nog duidelijker tot uiting. Ondanks de dalende afbraakcapaciteit in het ZK, neemt de absolute verwijdering met toenemende belasting toe. De afbraakcapaciteit van het LK is beperkter; reeds bij een belasting van 6 à 7 g COD/hr blijkt deze optimaal, daarna neemt de absolute verwijdering zelfs af.

In afb. 5 is het percentage COD-verwijdering en de zuurstofdoserings in g O₂/g COD uitgezet, bij een constante COD-belasting (1,4 g COD/m²hr). Hieruit blijkt een geringe toename van het COD-verwijderingspercentage bij toenemende zuurstofdoserings (serie II).

4.2 Slibindex

De afgevalen biomassa wordt in het bezinkingsbassin aan een gravitatie-scheiding onderworpen. Deze scheiding gaat des te beter naarmate de bezinkbaarheid van het slib groter is. Als maat voor deze bezinkbaarheid hebben we de slibindex gebruikt (het slibvolume na één uur bezinking gedeeld door het drooggewicht van het bezonken slib). Gedurende het onderzoek in serie I is

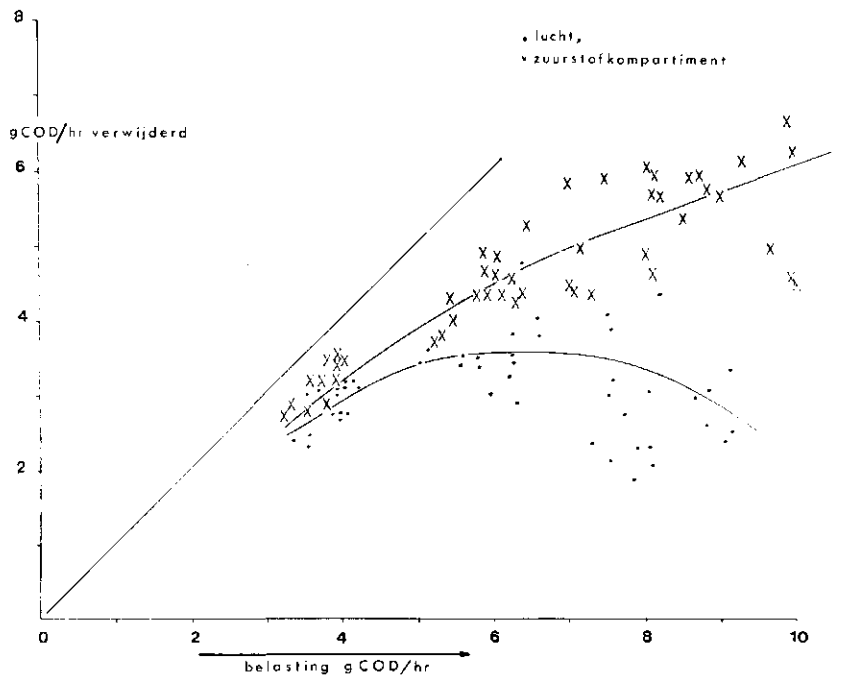
is besteed aan de slibproductie van beide compartimenten.

Gedurende en na de periode van vier maanden (serie I) is het slib verzameld van de troggen, schijven en bezinkbakken. Bij het LK blijkt over deze periode 0,44 gr slib per verwijderd g COD gevormd te zijn. Het ZK geeft over dezelfde periode een waarde van 0,16 g slib per verwijderd g COD, hetgeen dus aanzienlijk minder is.

4.4 Ammonium, nitriet en nitraat

De hoeveelheden ammonium, die in de effluenten van beide compartimenten aanwezig zijn, zijn hoofdzakelijk afkomstig van de ammonificatie van de organische stikstofverbindingen van de modelstof, omdat de hoeveelheden ammonium aanwezig in het influent slechts gering zijn. De concentratie van ammonium in het effluent van het ZK ligt gemiddeld hoger dan die in het LK. De nitrietconcentratie van het effluent van het ZK is eveneens hoger dan die van het LK, terwijl het influent geen nitriet bevat. Het influent bevat overigens wisselende hoeveelheden nitraat afkomstig van het leidingwater, dat gebruikt wordt als verdunningswater voor de geconcentreerde natriumcaseïnaatoplossing (zie tabel I). Het natriumcaseïnaat bevat zelf geen nitraat.

Het verloop van de nitraateffluentconcentratie is aldus samen te vatten: Bij lage belastingen wordt in het ZK meer nitraat in het effluent gevonden dan in het effluent (nitrifikatie). Bij het LK is er sprake van een afname van het nitraatgehalte (denitrifikatie), de nitraatconcentratie is in vele gevallen nul. Bij hoge organische belasting daalt ook bij het ZK de nitraatconcentratie van het effluent tot onder de influentconcentratie, maar dit effect is beduidend minder dan



Afb. 4 - Hoeveelheden COD-verwijdering als functie van COD-belasting bij constante zuurstofdoserings (1,6 g O₂/m²hr).

gebleken dat bij lage belastingen de slibindex in beide gevallen ongeveer hetzelfde is. Naarmate de belasting hoger wordt, wordt de bezinkbaarheid van het slib van het ZK beter. Het slib van het ZK bij hoge belastingen maakt op het oog een „compactere” indruk, zoals te zien is op de foto's (afb. 6a en 6b), welke genomen zijn van slibmonsters uit ZK (slibindex 50 ml/gr) en LK (110 ml/gr).

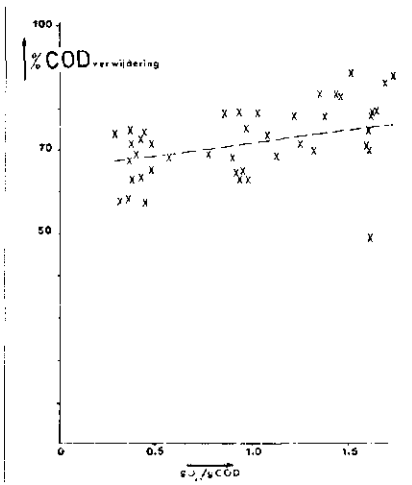
Het verloop van de slibindex bij varia-

bele zuurstofdoserings bij gelijke belasting is weergegeven in afb. 7. De slibindex vertoont een minimum tussen de 1,0 en 1,3 g O₂/g COD. Bij hogere zuurstofdoserings wordt de bezinkbaarheid slechter.

4.3 Slibproductie

De slibproductie vormt in de praktijk een groot probleem dat in de toekomst nog groter zal worden. Dit is de reden waarom ook bij dit onderzoek aandacht

Afb. 5 - Percentage COD-verwijdering als functie van de verhouding toegevoerde hoeveelheden zuurstof en COD (1,4 g/m²hr).



TABEL I - Gemiddelde ammonium-, nitriet- en nitraatgehalte van in- en effluenten van LK en ZK bij verschillende COD-belastingen en constante zuurstofdoserings (1,6 g O₂/m²hr).

	Luchtkompartiment		Zuurstofcompartiment	
	belasting 3,8 g COD/hr		belasting 3,6 g COD/hr	
	influent	effluent	influent	effluent
NH ₄ ⁺ mg/l	1	37	0,8	49
NO ₂ ⁻ mg/l	0	0,16	0	0,83
NO ₃ ⁻ mg/l	5	0,5	5	6
	belasting 6,0 g COD/hr		belasting 5,8 g COD/hr	
	influent	effluent	influent	effluent
NH ₄ ⁺ mg/l	2	51	2	59
NO ₂ ⁻ mg/l	0	0,09	0	0,11
NO ₃ ⁻ mg/l	2	0,5	2	2
	belasting 8,1 g COD/hr		belasting 8,4 g COD/hr	
	influent	effluent	influent	effluent
NH ₄ ⁺ mg/l	4	52	5	96
NO ₂ ⁻ mg/l	0	0,01	0	0,03
NO ₃ ⁻ mg/l	8	0	8	1,5



a. uit luchtcompartiment.

b. uit zuurstofcompartiment.

Afb. 6 - Fotografische opname van slib bij hoge COD-belasting.

TABEL II - Gemiddelde nitraatgehalte van in- en effluent van ZK bij constante COD-belasting (1,4 g COD/m²hr) en variabele zuurstofdoserings.

Zuurstofdoserings g O ₂ /m ² hr	Nitraatgehalte mg/l	
	influent	effluent
0,6	8	0,3
1,1	8	0,5
2,1	7	2

in het LK (zie tabel I). Bij eenzelfde organische belasting blijkt een hogere zuurstofdoserings aanleiding te geven tot een toename van het nitraatgehalte in het effluent (zie tabel II).

4.5 Orthofosfaat, totaalfosfaat

Uit de orthofosfaatbepalingen werd geen duidelijk inzicht verkregen tussen ZK en LK door de grote onderlinge spreiding van de meetresultaten. De zuurstofdoserings is waarschijnlijk niet van invloed op het orthofosfaatgehalte van het effluent.

Het ZK geeft evenwel een hogere totaalfosfaatverwijdering dan het LK. Ook bij de totaalfosfaatanalyse is bij constante belasting geen invloed te bemerken van een hogere zuurstofdoserings.

4.6 Temperatuur

Het blijkt dat het ZK gemiddeld een hogere effluenttemperatuur heeft dan het LK. Het temperatuurverschil bedraagt meestal 2 à 3 °C. Het verschil kan waarschijnlijk worden toegeschreven aan de aanwezigheid van een overkapping bij het ZK. Hierdoor wordt verdamping van het water tegengegaan, terwijl inkomende straling na omzetting in mindere mate worden uitgestraald (broeikas effect). Ludzack [9] vermeldt, dat bij het actief-slibproces de COD-verwijdering bij 30 °C circa 10 % hoger is dan bij 5 °C. Hartmann [3] stelt echter dat tussen 12 °C en 30 °C nauwelijks een merkbaar effect optreedt.

Het temperatuurverschil kan het verschil in afbraakcapaciteit tussen ZK en LK daarom slechts voor een klein deel verklaren.

4.7 pH

Tijdens de biodegradatie van organische stoffen daalt, grotendeels door het gevormde CO₂, de pH van het afvalwater. Het toevoegen van natrium of kaliumhydroxide aan de geconcentreerde substraatoplossing is noodzakelijk voor het handhaven van een gunstige pH in de trog. Deze pH-daling van het afvalwater in het ZK is sterker dan in het LK. Bij het onderzoek varieerde de pH van het effluent in het LK tussen 7,8 - 8,0. Bij het ZK was dat tussen 6,5 - 6,7. De sterkere pH-daling kan verband houden met:

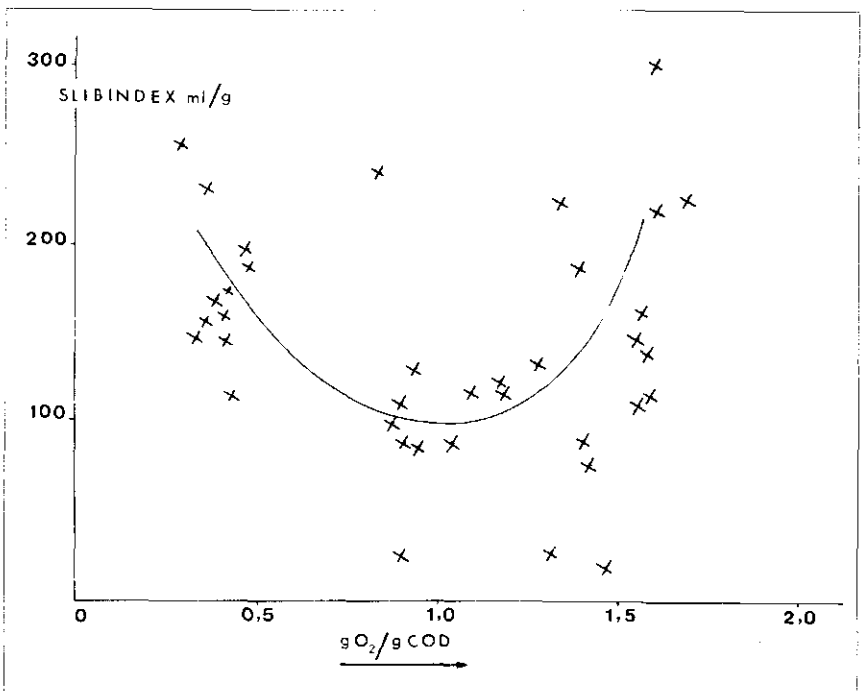
1. Een grotere CO₂-productie ten gevolge van een hogere COD-verwijdering.
2. De vorming van meer CO₂ per omgezette hoeveelheid COD.
3. Een langzamer verloop van de CO₂-desorptie door de relatief hogere CO₂-concentratie van de bovenstaande gasfase.

4.8 Zuurstofconcentratie van effluenten en afvoergas

Het verloop van zuurstofconcentratie van het effluent en afgas van het ZK bij constante zuurstofdoserings (1,6 g O₂/m²hr) is, als functie van de verhouding toegevoerde hoeveelheden zuurstof en COD, weergegeven in tabel III.

Hoe groter de hoeveelheid zuurstof is

Afb. 7 - Slibindex als functie van de verhouding toegevoerde hoeveelheid zuurstof en COD (1,4 g/m²hr).



Is een regulering van de lage afvoer van de Rijn mogelijk?

In juli van dit jaar wordt in Ottawa het 23e internationale scheepvaartcongres gehouden en er is aanleiding om voor de lezers van dit tijdschrift te signaleren, dat daarvoor een rapport is uitgebracht, dat onder bovenstaande titel kan worden ingeleid.

Voor de Sectie Binnenvaart was een der onderwerpen, waarover rapporten worden gevraagd: „Vooruitgang in de voorspelling van rivierafvoeren, in het bijzonder lage en hoge afvoeren; maatregelen ter verbetering.”

Hier verdient het Duitse rapport bijzondere aandacht. Het is uitgebracht door vier auteurs, vertegenwoordigers van de Wasser- und Schifffahrt-direktion Freiburg en van de Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.

Het rapport beschrijft het bijzondere belang voor de scheepvaart om de passage door de „Gebirgsstrecke” bij Kaub te verbeteren; voor het verkeer naar de Boven-Rijn ligt hier de drempel. Besproken worden nu de mogelijkheden om een voorraad water achter te houden in de Bodensee door het peil hiervan te verhogen door middel van een beweegbare stuw bij de uitgang van de Unter See. Er wordt als voorbeeld een ter beschikking komende voorraad ge-

noemd van ongeveer 200 miljoen m³, waarmee het mogelijk zou zijn om gedurende 20 à 30 dagen de rivierafvoer bij Kaub met 90 m³ per seconde en aldus de vaardiepte met 0,15 m te vergroten. Gelet op de oppervlakte van de Bodensee, welke ongeveer 500 km² bedraagt, zou de stuwhoogte dan slechts 0,40 m bedragen.

Het effect voor de scheepvaart is in het gegeven voorbeeld gering, indien aan jaren van langdurige lage afvoer wordt gedacht.

Volgens het rapport heeft de Zwitserse federale administratie opdracht gegeven tot het uitwerken van een plan voor deze stuw. Gegeven de maximum afvoer, die in de buurt ligt van 6000 m³/s, is dat natuurlijk geen kleinigheid. Maar volgens de opdracht moet vooral rekening gehouden worden met de maximum toelaatbare peilen van de Bodensee en met de gewenste minimum peilen in de zomer voor het toeristenverkeer, voorts met de mogelijkheden om het peil in het voorjaar snel te kunnen opzetten en met de wens om tegelijkertijd de hoogwaterafvoeren bij Basel te verlagen.

Denkt men over dit programma na, dan is het haast identiek met de eisen, die gesteld moeten worden bij het opzetten

van het peil van ons kleine IJsselmeer in de zomers van de toekomst.

Het manipuleren met de stuw zal een grote stochastische operatie zijn, waarbij een immense hoeveelheid rekenwerk door computers moet worden verricht om elk jaar met de grootste waarschijnlijkheid het juiste programma van opvullen en aflaten te bepalen, te meer omdat het kritieke punt voor de scheepvaart vijf dagen afstromingstijd beneden de stuw ligt.

Maar hetgeen ik wilde signaleren is de kans, dat onze zeer lage Rijn-afvoeren, vooral in droge jaren, wellicht in betekende mate zullen kunnen worden verhoogd.

Dat zal overigens nodig zijn, want er is ook een slechte kans in het spel. Het voornemen om de nieuwe grote elektrische centrales aan de Rijn uit te voeren met een subsidiair systeem van luchtkoeling, dat bij lage rivierafvoer de waterkoeling zal moeten vervangen, gaat de lage Rijnafvoeren wegens verdamping verlagen. Een schatting van die verlaging komt al spoedig bij 50 m³/s. De Rijn is een zodanig belangrijke bron voor de uitvoering van het structuurplan voor de drink- en industrie-watervoorziening, dat Nederland goede nota moet nemen van alle manipulaties, die het achterland in het oog vat.

ir. C. Biemond Sr.

TABEL III - Invloed van de zuurstof en COD-belasting op de hoeveelheden zuurstof in effluent en afgas van ZK.

g O ₂ /g COD	zuurstofconcentratie effluent mg/l	zuurstofconcentratie afvoergas %
1,1	12,1	54,0
1,5	13,7	61,1
2,3	16,9	71,3

t.o.v. het organisch materiaal des te groter is de zuurstofconcentratie in effluent en afgas, zoals ook te verwachten is. In dezelfde onderzoeksperiode varieerde de zuurstofconcentratie van het effluent in het LK tussen de 0,6 - 5,6 mg/l.

5. Economische aspecten

Het doel van deze publicatie is om een procesevaluatie in te leiden voor het gebruik van zuurstof in het bioschijvenfilter. Het werken met zuurstof, zoals door ons beschreven is, kan wellicht economisch aantrekkelijk worden. Door sterkere COD-reductie bij hoge belastingen kan de zuiveringsinstallatie bij eenzelfde belasting kleiner zijn; eveneens kan door de betere bezinkbaarheid van het slib met kleinere bezinkbassins worden volstaan. Bovendien hoeft aanzienlijk minder slib verwerkt te worden. Tegenover deze voordelen staan de zuurstofkosten en de kosten van overkap-

ping. Wat de zuurstofkosten betreft, deze zijn afhankelijk van o.a. de wijze van levering, transportkosten en afgenomen hoeveelheden [10]. De zuurstof van het afgas kan eventueel gereinigd worden en in het proces worden teruggevoerd. Voor het actief-slibproces claimt de Union Carbide Corporation dat het economische voordelen biedt zuurstof in plaats van lucht te gebruiken [11].

6. Conclusie

Bij een vergelijkend onderzoek over het effect van respectievelijk lucht en zuivere zuurstof als aeratiegas bij het bioschijvenfilter, waarbij natriumcaseïnaat als modelstof werd gebruikt, kwamen de volgende significante verschillen naar

voren van het zuurstofcompartiment t.o.v. het luchtcompartiment:

1. betere COD-verwijdering bij hoge belastingen;
2. lagere slibproductie;
3. betere bezinkbaarheid van het slib bij juiste zuurstofdoserings;
4. hogere zuurstofconcentratie van het effluent.

De invloed van de zuurstof op de biologische afbraak van een organische stof blijkt zo gunstig te zijn dat toepassing van het systeem in de praktijk niet denkbeeldig geacht mag worden. Het heeft daarom zin het onderzoek vooral wat betreft de economische aspecten te verruimen en te verdiepen.

Literatuur

1. Ball, J. E., Humenick, H. J., J. Water Pol. Con. Fed. 44, 1972, 65.
2. Pöpel, F., *Leistung, Berechnung und Gestaltung von Tauchtropfkörperanlagen*. Kommissionsverlag R. Oldenbourg München 1964.
3. Hartmann, H., *Untersuchungen über die biologische Reinigung von Abwasser mit Hilfe von Tauchtropfkörpern*. Kommissionsverlag R. Oldenbourg, München 1960.
4. Joost, R. H. Proceedings of the 24th Purdue Industrial Waste Conference 1969, 365.
5. Antonie, R. L., Welch, F. M., Proceeding of the 24th Purdue Industrial Waste Conference 1969, 115.
6. Antonie, R. L., Water AICE CEP, Symp. Ser. 1970, 585.
7. Hanisch, B., *Der Tauchtropfkörper*, Stichting Postakademiale Vorming Gezondheidstechniek 1965 - 1966.
8. Kats, W., H₂O 2, 1969, 132.
9. Ludzack, F. J., Schaffer, R. B., Ettinger, M. B., J. Water Pol. Con. Fed. 33, 1961, 141.
10. European Chemical News, December 5, 1969, 26.
11. Chemical Engineering, november 29, 1971, 66.