

Continue bewaking van oppervlaktewater met behulp van vissen

Inleiding

De toenemende vervuiling van het leefmilieu van de mens heeft de laatste jaren geleid tot de ontwikkeling van steeds betere en verfijnder apparatuur om de vervuulende stoffen te bepalen. Vooral die verontreinigingen, die een gevaar kunnen betekenen voor de gezondheid van de mens staan in het middelpunt van de belangstelling. Van een (klein) deel van deze toxische stoffen is de toxiciteit bekend en zijn tevens specifieke detectiemethoden ontwikkeld. In verband met enerzijds de sterk toegenomen belasting van de Nederlandse oppervlaktewateren met giftige stoffen en anderzijds een toename van het gebruik van oppervlaktewater als grondstof voor drinkwater, wordt door verschillende



DR. C. L. M. POELS
KIWA NV, Rijswijk (ZH)



J. VOORBURG
KIWA NV, Rijswijk (ZH)

instituten zoals KIWA, RID, RIV en RIZA de concentratie van een groot aantal toxische stoffen die in het oppervlaktewater voorkomen op verschillende plaatsen langs de grote rivieren bepaald. Deze dringend noodzakelijke chemisch/fysische metingen van de kwaliteit van het oppervlaktewater hebben als waarschuwingssysteem voor de aanwezigheid van gevaarlijke hoge concentratie van toxische stoffen (calamiteiten) een aantal nadelen.

Met uitzondering van enkele 'conventionele' parameters zoals pH, temperatuur, O₂-gehalte, geleidbaarheid, turbulentie, redoxpotentiaal, Cl⁻, NH₄⁺ e.d., worden de meeste metingen discontinu verricht, met een meetfrequentie van enkele uren tot dagen en weken. Hierbij is de tijd tussen monsternamen en analyse meestal lang, zodat van een effectieve bewaking geen sprake is [1]. De mogelijkheid is dus groot, dat een bepaalde gifgolp niet wordt waargenomen. Daarnaast worden slechts aan een geringe fractie van de toxische stoffen die in oppervlaktewater voorkomen, metingen verricht. Meting van alle in oppervlaktewater voorkomende gevaarlijke stoffen is technisch/economisch niet haalbaar, alhoewel de in ontwikkeling zijnde meting van groepen van overeen-

komstige stoffen hieraan enigszins tegemoet komt.

Verder is bekend dat vele stoffen de giftigheid van andere stoffen verhogen of verlagen terwijl het voorkomt dat twee stoffen die elk in een bepaalde concentratie niet toxisch zijn, te zamen wel toxisch zijn. Deze verschijnselen van antagonisme, synergisme en additie kunnen niet door apparaten gemeten worden. Bovendien geven de chemisch/fysische metingen geen uitsluitsel over de toxiciteit van de aangetoonde stoffen en is achteraf een beoordeling door een deskundige nodig aan de hand van daartoe vastgestelde maatstaven.

In de toekomst bestaat de mogelijkheid echter wel om door computers toxische gegevens en milieuomstandigheden te laten beoordelen en in geval van een ernstige samenloop van omstandigheden een alarm-signaal te geven.

Een eenvoudige methode die voor een groot deel aan bovengenoemde beperkingen van het fysisch/chemisch bepalen van toxische stoffen in oppervlaktewater tegemoet komt is een biologische methode die gebruik maakt van levende organismen.

Eisen voor een biologisch bewakingssysteem

Een biologisch bewakingssysteem voor oppervlaktewater maakt bij voorkeur gebruik van waterorganismen. Deze waterorganismen zijn voortdurend in dat oppervlaktewater aanwezig en daaraan blootgesteld. Indien een waterorganisme gevoelig is voor een in het water voorkomende toxische stof, dan reageert dit organisme daar op een bepaalde wijze op.

Een bewakingssysteem dat gebruik maakt van één of andere reactie van een levend organisme op een toxische stof, moet aan bepaalde hieronder te noemen eisen voldoen wil het systeem praktisch bruikbaar zijn.

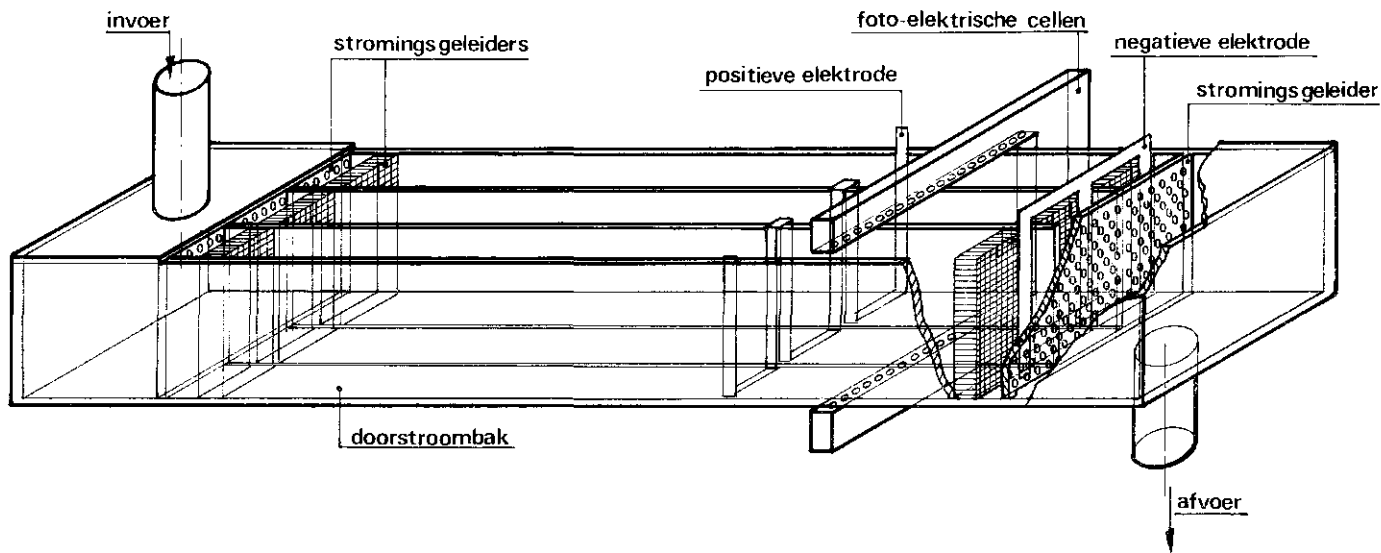
1. Er dient een zo groot mogelijk aantal toxische stoffen aangetoond te kunnen worden.
Dit is bereikbaar door:
 - a. organismen te kiezen, die voor toxische stoffen gevoelig zijn;
 - b. tegelijkertijd gebruik te maken van verschillende soorten waterorganismen met een grote spreiding in de gevoeligheid voor verschillende toxische stoffen.
2. De testorganismen moeten langdurig in het testsysteem kunnen verblijven zonder dat onder controle-omstandigheden afwijkingen in het gedrag, de stofwisseling en de gevoeligheid van het organisme optreden.

3. De testorganismen moeten gemakkelijk te kweken of te verkrijgen en in leven te houden zijn.
4. Standaardisatie van de testorganismen moet mogelijk zijn.
5. De testorganismen, de reactie hiervan op een toxische stof, en de meetmethode dienen geschikt te zijn voor continue en automatische meting, waarbij in geval van een calamiteit een alarm in werking gesteld wordt.
6. Het te bewaken oppervlaktewater dient continu door de proefopstelling te stromen.
7. De bewakingsmethode dient zodanig te zijn dat geringe storingen van buiten af geen invloed hebben op het meetresultaat.
8. De bewakingsmethode dient bij voorkeur eenvoudig van opzet te zijn, zodat hij kan worden toegepast zonder gebruik te maken van een gespecialiseerd laboratorium en speciaal opgeleid personeel.

Bij de meeste biologische bewakingssystemen wordt gebruik gemaakt van vissen die zich uitstekend lenen voor dit doel. Het merendeel van de in het verleden voorgestelde systemen voldoet echter niet aan één of meer van de bovengestelde eisen. Verreweg de meest voorkomende, maar ook onderkende, fout is dat de vissen zich in dergelijke systemen niet normaal kunnen gedragen omdat zij elektrodes in of aan hun lichaam hebben of omdat ze in zeer nauwe testaquaria moeten verblijven [2, 3, 4, 5]. Dit heeft onder andere een abnormaal gedrag (stress verschijnselen) en zeer lange aanpassingsperioden tot gevolg. Bovendien zal de vis in deze gevallen meestal geen voedsel gebruiken. Voor langdurige bewakingsdoeleinden zijn deze methoden dan ook niet bruikbaar.

Het door het KIWA ontwikkelde doorstroomsysteem

Het op het KIWA beproefde systeem voor de continue bewaking van oppervlaktewater is schematisch weergegeven in afb. 1. Dit systeem is een combinatie van de methoden zoals die door Zahner [6], Junke & Besch [7] en door Vivier [8] toegepast zijn. Hierbij is gebruik gemaakt van de voordelen van elk van deze methoden, terwijl voor de nadelen gunstige compromissen konden worden verkregen. Als proeforganismen werden regenboogforellen gebruikt omdat die aan de in de vorige paragraaf gestelde eisen voldoen. Daarnaast bezitten forellen in stromend water een sterke positieve rheotaxis.



Afb. 1 - Schema van het doorstroomsysteem voor vissen t.b.v. de continue bewaking van oppervlaktewater.

Dit is de eigenschap dat zij zich tegen de stroom in zwemmend op een bepaalde plaats in die stroom kunnen handhaven. Deze eigenschap maakt de forel bijzonder geschikt voor bewakingsdoeleinden in een doorstroomsysteem. Indien men oppervlaktewater met een laag zuurstofgehalte gebruikt moet men overschakelen op karper als testorganisme of het ingevoerde water beluchten. Dit laatste dient kort vóór de doorstroombak te geschieden daar anders de toxiciteit van het water te veel kan veranderen.

De plexiglas doorstroombak waarin de forellen verblijven is 2 meter lang, 50 cm breed en 25 cm hoog terwijl de waterhoogte 15 cm bedraagt.

Door middel van speciaal geconstrueerde stromingsgeleiders wordt de turbulentie van de inkomende waterstroom genivelleerd en heeft het water in het zwembad van de vissen over het gehele dwarsprofiel nagenoeg dezelfde snelheid.

De doorstroombak is in de lengte door middel van 2 doorzichtige plexiglas schotten in 3 compartimenten van 16 cm breedte verdeeld in elk waarvan één forel verblijft.

De stromingssnelheid van het water is variabel en zal aangepast worden aan de lengte van de vissen. Voor forellen geldt als vuistregel dat, indien de vis x cm lang is, de watersnelheid niet meer dan $\frac{1}{2} x$ cm/sec mag bedragen om bij langdurig verblijf in stromend water vermoeidheid van de vis te voorkomen.

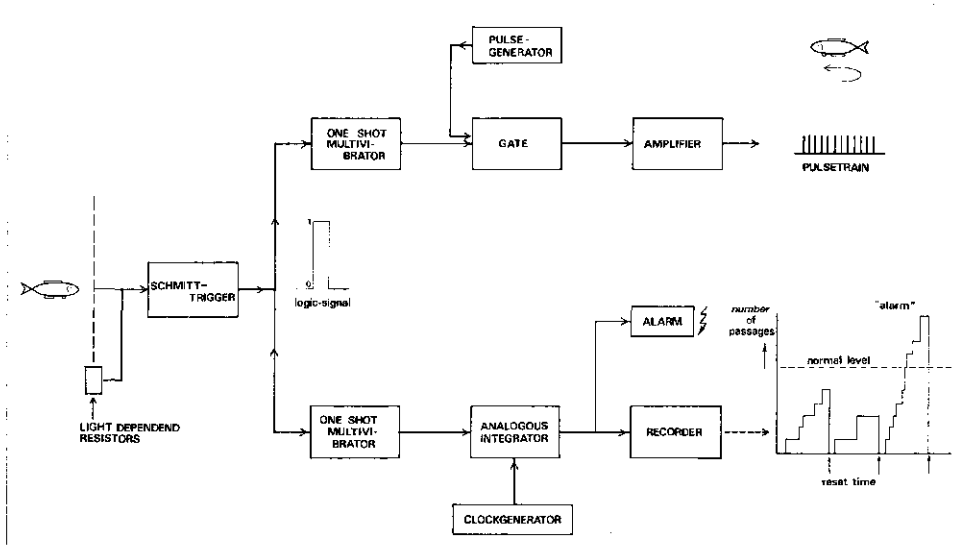
Om stressverschijnselen tegen te gaan moet de forel zich gemakkelijk kunnen keren. De forel mag in dit geval dus 15 - 16 cm lang zijn. De watersnelheid mag dan maximaal 8 cm/sec bedragen wat overeen-

komt met een hoeveelheid water van ongeveer 21 m³/uur. Indien een toxische stof in het water de forellen in het doorstroomsysteem bereikt, kunnen zij hierop op 2 wijzen reageren.

- De vissen nemen de toxische stof waar en trachten voor deze gifgolf te vluchten. Als enige vluchtreactie is mogelijk dat de vis zich omkeert en tracht het gif te ontwijken, door met de stroom mee te zwemmen.
- De vissen nemen de toxische stof niet waar en vertonen geen vluchtreactie. Na kortere of langere tijd echter zal hun conditie aangetast worden en zijn zij niet meer in staat tegen de stroom in te zwemmen.

Zowel de uiterst gevoelige vluchtreactie als de conditievermindering leiden tot het zich stroomafwaarts bewegen van de vissen. Dit gegeven kan gebruikt worden voor het aantonen van toxische stoffen. Dit geschiedt volgens de methode van Vivier [8] met behulp van fotocellen en elektrische prikkels. Een eerste eis hierbij is dat een alarm slechts afgegeven wordt wanneer er inderdaad een toxische stof aanwezig is. Hiertoe is het noodzakelijk dat elke passage van de vissen langs de fotocellen door andere oorzaken dan onder invloed van toxische stoffen tot een zo laag mogelijk niveau wordt teruggebracht. Dit geschiedt met behulp van elektrische prikkels die afgegeven worden wanneer de vis de lichtbundel van een fotocel

Afb. 2 - Elektronisch schema voor de registratie van het gedrag van de testforellen.



verbreekt. De elektroden waartussen de laagspanning wordt aangebracht (zie afb. 1) staan aan weerszijden van de fotocellen waarbij de positieve elektrode stroomopwaarts van de fotocellen geplaatst is. Dit laatste is belangrijk aangezien vissen in een elektrisch veld naar de positieve pool zwemmen. Na het ervaren van de elektrische prikkels zal de vis trachten in het stroomopwaarts van de fotocellen gelegen deel van de bak te blijven zwemmen. De elektronische registratie en alarmering worden als volgt uitgevoerd (zie afb. 2).

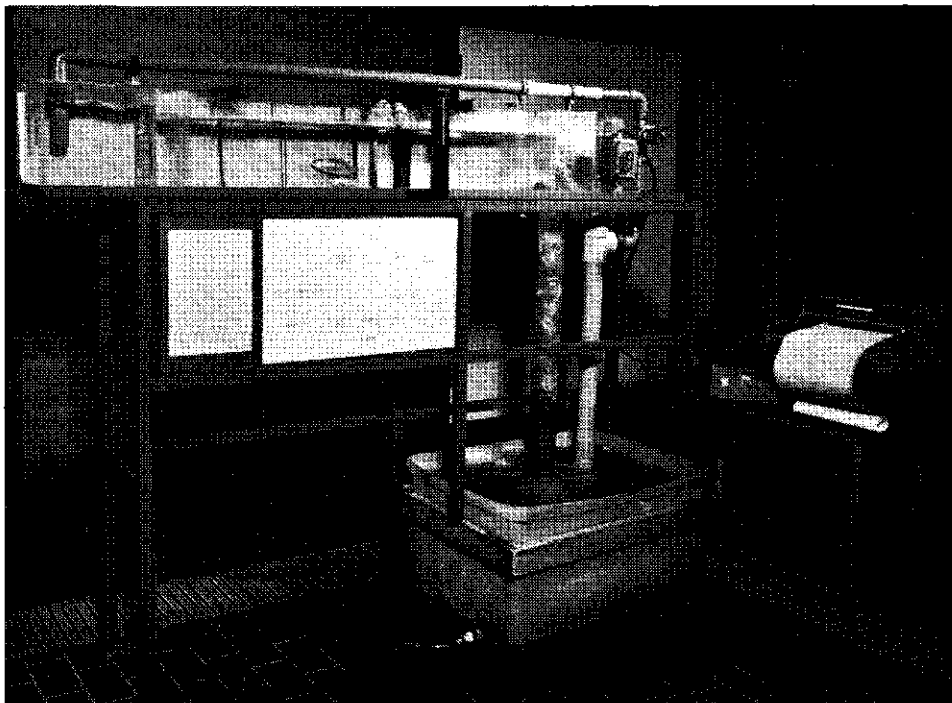
De door een aantal kleine lampen en lenzen (\varnothing 18 mm, onderlinge tussenruimte 3 mm) gevormde lichtbundels worden door een even groot aantal fotocellen opgevangen. Het door de fotocellen afgegeven signaal zal onderbroken worden wanneer een vis de serie foto toestellen passeert. Deze willekeurige onderbreking van het signaal wordt door middel van een 'Schmitt-trigger' omgevormd tot een logisch signaal. Dit logische signaal, dat een variabele tijdsduur heeft die afhankelijk is van de onderbrekingstijd van de lichtbundel door de vis, wordt door middel van een zogenaamde 'on shot multivibrator' een gedefinieerde tijdsduur gegeven.

Het door MV 1 geleverde signaal met een tijdsduur van 0 - 10 sec stuurt een poort open waardoor een golfvormig signaal (pulsbreedte = 1 ms, freq. = 20 Hz) via een spanningsversterker en een amplitude-regelaar aan de elektroden wordt toegevoerd. De amplitude wordt aangepast aan de soort en de lengte van de vis. De door MV 2 geleverde impulsen (circa 10 ms breed) worden door een analoge integrator, die iedere 6 minuten in de nulstand teruggeschakeld wordt, geïntegreerd. Het uitgangssignaal, dat op een recorder geregistreerd wordt (afb. 2), is dan analoog met het aantal onderbrekingen van de lichtbundels door de vissen.

Indien het aantal passages binnen 6 minuten na het einde van de laatste periode boven een bepaald, van te voren ingesteld aantal uitgaat, wordt door middel van een comparator een alarm ingeschakeld.

De gehele opstelling is weergegeven in afb. 3, terwijl een detail van de foto-elektrische cellen in afb. 4 wordt gegeven. In leidingwater passeren onder normale omstandigheden 3 vissen per 24 uur over de gehele periode verspreid gemiddeld 10 - 20 maal de fotocellen.

In het geval dat er een giftige stof in het water aanwezig is en de vissen een vluchtreactie of een conditievermindering vertonen, zullen zij, indien zij de fotocellen passeren, teruggestuurd worden door de elektrische prikkels, wederom de fotocellen passeren en teruggestuurd worden enz. . .



Afb. 3 - Overzicht van de proefopstelling in het laboratorium, waarbij leidingwater via een voorraadvat wordt rondgepompt.

Het aantal passages langs de fotocellen zal dus sterk toenemen waardoor het alarm in werking wordt gesteld.

De waarde van het continue bewakingssysteem

Het grote voordeel van het beschreven systeem is, dat gebruik wordt gemaakt van veel gevoeliger criteria voor het aantonen van toxische stoffen dan sterfte. Een indicatie van het verschil in gevoeligheid tussen het dynamische, continue bewakingssysteem waarbij gebruik is gemaakt van conditievermindering en een statisch systeem (aquarium met stilstaand water) waarbij gebruik is gemaakt van sterfte als criterium voor de aanwezigheid van een toxische stof, volgt uit een aantal experimenten, uitgevoerd door Besch, e.a. [9]. Zij toonden aan dat een acuut toxische concentratie van $50 \mu\text{g}$ DDT door eenjarige karpers in een doorstroomsysteem in 190 minuten werd aangetoond terwijl dat in een statisch systeem pas na 2900 minuten het geval was. Overeenkomstige resultaten werden met andere toxische stoffen verkregen.

Maatgevend voor de waarde van dit bewakingssysteem is het verschil in gevoeligheid voor toxische stoffen tussen vissen enerzijds en warmbloedige dieren en de mens anderzijds.

Uit een literatuurstudie, uitgevoerd door het 'Hygiëne-Institut des Ruhrgebiets' te Gelsenkirchen, waarin de acute toxiciteit

van bijna 1000 stoffen voor vissen en kreeftachtigen enerzijds en voor warmbloedige dieren en de mens anderzijds op grond van proeven met elkaar vergeleken werden, bleek dat in 97 % van de gevallen de waterorganismen gevoeliger waren (Jung [10]). Hierbij moet opgemerkt worden dat de experimentele gegevens ontleend aan proeven met waterorganismen op een enkele uitzondering na, op de minder gevoelige statische toxiciteitstest berusten.

Samenvattend mag men uit de literatuurgegevens concluderen dat verwacht mag worden dat het met het beschreven doorstroomsysteem in een groot aantal gevallen mogelijk is een vroegtijdige waarschuwing te verkrijgen dat een acuut hoge concentratie van toxische stoffen in het water aanwezig is. Als extra veiligheid is hierbij de geringere gevoeligheid van de mens voor toxische stoffen en de zuivering van het gebruikte oppervlaktewater te vermelden.

Toepassing in de praktijk

Per doorstroomsysteem worden 3 forellen ingezet. In geval van een alarm moet in eerste instantie door middel van visuele waarneming vastgesteld worden of door een onbekende oorzaak een afwijkend gedrag van één van de forellen is opgetreden. Indien meerdere forellen een afwijkend gedrag vertonen, is de oorzaak zeer waarschijnlijk gelegen in de kwaliteit van het water. Om enkele oorzaken die direct de stofwisseling van vissen beïnvloe-

den en die niet direct toxisch zijn voor de mens uit te kunnen sluiten, dienen in het doorstromende water continu de pH, temperatuur, zuurstofgehalte en ammoniakgehalte gemeten te worden. In geval van alarm moeten monsters genomen worden voor chemisch onderzoek naar de identiteit van de toxische verontreiniging en dienen de van dat oppervlaktewater gebruikmakende waterleidingbedrijven gewaarschuwd te worden zodat zij hun waterinname kunnen stoppen.

Om statistisch meer zekerheid te verkrijgen over de realiteit van een alarm is een tweede doorstroombak aan te bevelen. Indien hierin als testorganismen bijvoorbeeld karpers worden gebruikt, heeft men tevens een grotere spreiding in de gevoeligheid voor toxische stoffen.

De continu doorstroomde bakken kunnen op verschillende plaatsen ingezet worden om de kwaliteit van water te bewaken. Waterleidingbedrijven die oppervlaktewater verwerken zouden met dit bewakingssysteem hun voordeel kunnen doen indien de bakken enkele kilometers stroomopwaarts (afhankelijk van de stroomsnelheid van het water) van hun waterinname aan de rivier geplaatst zouden worden. Een andere goede toepassingsmogelijkheid zou zijn dat deze doorstroomaquaria op enkele strategische punten aan de grote rivieren worden geplaatst zoals bijv. bij Lobith en Eysden. Ook aan spaarbekkeninlaten alsmede vóór de innamepunten van waterleidingbedrijven uit de spaarbekkens (in verband met de mogelijke aanwezigheid van blauwwiertoxines die in enkele gevallen vissterfte kunnen veroorzaken), zouden de visbewakingssystemen toegepast kunnen worden. Tenslotte zouden deze doorstroombakken als zeer goede toepassingsmogelijkheid aan de effluenten van fabrieken en rioolzuiveringsinstallaties geplaatst kunnen

worden zodat lozing van toxisch afvalwater snel aangetoond en gestopt kan worden. In het KIWA-laboratorium aan het Lekkanaal te Nieuwegein zullen de doorstroombakken in de praktijk aan oppervlaktewater getest worden ten einde gedurende een geheel jaar inzicht te verkrijgen over de gedragingen van forellen en de bruikbaarheid van het bewakingssysteem. Hoopgevend is het resultaat dat de forellen zich in het beproefde systeem met leidingwater, gedurende ten minste 10 weken normaal gedragen en normaal eten.

Literatuur

1. Kroon, D. J., Chem. Weekblad W12 (1973).
2. O'Hara, J., Water Res. 5, 143 (1971).
3. Spoor, W. A., Neiheisch, T. W., Drummond, R. A., Trans Amer. Fish Soc., 100, 22 (1971).
4. Sparks, R. E., Cairns, J., McNabb, R. A., Glenn Suter, J. J., Hydrobiologia, 40, 361 (1972).
5. Cairns, J., Dickson, K. L., Sparks, R. E., Waller, W. T., JWPCF, 42c, 685 (1970).
6. Zahner, R., Vom Wasser, 29, 142 (1962).
7. Junke, I., Besch, W. K., Gewässer und Abwasser, 50/51, 107 (1971).
8. Vivier, A., Paper nr. 21, presented at the 6th International Water Pollution Research Conference (1972).
9. Besch, W. K., Junke, J., Kembal, A., Schr. Reihe Ver. Wass-, Baden-Lufthyg. Berlin, 37, 31 (1972).
10. Jung, K. D., G. W. F.-Wasser/Abwasser, 114, 232 (1973).



Afb. 4 - Detailopname met foto-elektrische cellen (in tegenstelling tot hetgeen op afb. 1 te zien is, zijn de foto-elektrische cellen horizontaal t.o.v. de lichtbron geplaatst). Uiterst rechts de foto-elektrische cellen; links daarvan de positieve elektrode. Op de achterwand van het aquarium zijn de oriëntatielijnen voor de vissen te zien.

