

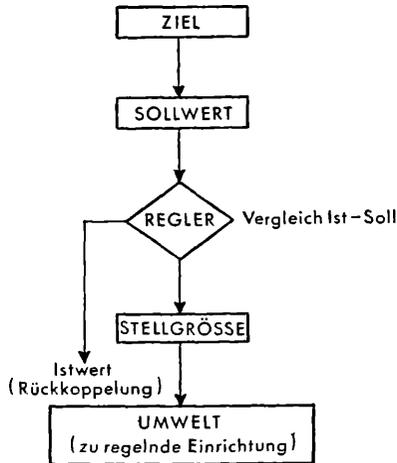
Automatisierung in der Gewässergütemessung

W.RODINGER

Die Kybernetik beschäftigt sich gemäß der Definition von Norbert WIENER (1948) mit der Regelung von Maschinen wie auch von lebenden Organismen. Bestimmte Funktionen, wie Steuerung, Regelung, Informationsübertragung und -verarbeitung bei Maschinen und Organismen, können nach gleichen Prinzipien beschrieben werden.

Eine Regelung setzt voraus, daß eine bestimmte Größe (IST-Zustand) innerhalb vorgegebener Grenzen gehalten werden kann, indem man diese Größe selbst laufend kontrolliert und bei Abweichungen durch entsprechende Maßnahmen wieder auf den SOLL-Wert bringt. Eine Regelung ist immer dort erforderlich, wo eine Größe durch einfache Steuerung nicht konstant gehalten werden kann, weil sie unter dem Einfluß von Störungen steht. Der IST-Wert der zu regelnden Größe wird daher laufend gemessen. Abweichungen vom vorgegebenen Wert veranlassen einen Regler auf die Größe so Einfluß zu nehmen, daß der SOLL-Wert wieder erreicht wird. Das Erreichen des SOLL-Wertes wird durch die Messung erkannt und demzufolge die korrigierende Maßnahme des Reglers wiederum eingestellt. Der dabei entstehende Wirkungsablauf, auch als Rückkoppelung (feed back) bezeichnet, vollzieht sich in einem geschlossenen Regelkreis. Das kybernetische Grundmodell kann schematisch folgendermaßen dargestellt werden:

Abb. 1: Darstellung des kybernetischen Grundmodells



Die Regelkreistechnik wird überall dort angewandt, wo man komplexe Zusammenhänge sichtbar machen möchte.

Dieser kleine Ausflug auf das informationstheoretische Gebiet soll auch von der nichttechnischen Seite her die Grundsätze einer automatischen Gewässergütemessung erklären und helfen, die zugrunde gelegten Prinzipien zu sanktionieren.

Die herkömmliche Gewässergütemessung, die auf biologischen, chemischen, physikalischen und bakteriologischen Stichprobenmessungen beruht, besitzt oft nur eine beschränkte Aussagekraft. Tages-, Wochen- und saisonale Schwankungen der anthropogen verursachten Kontamination und unregelmäßige Stoßbelastungen erfordern eine Erhöhung der Untersuchungsfrequenz an bestimmten Stellen des Gewässers. Sehr oft be-

steht sogar die Notwendigkeit einer lückenlosen Qualitätskontrolle. Bei Rücksichtnahme auf personelle und damit auch auf finanzielle Gegebenheiten kann eine Dauermessung nur mit Hilfe von automatischen Meßstationen durchgeführt werden.

Derartige laufende Emissions- und Immissionskontrollen auf der Basis der physikalischen und chemischen Analysetechnik sind bereits gang und gäbe. Über die von der Bundesanstalt für Wassergüte betreuten stationären Meßstationen Aschach, Hohenau und Hainburg wird im später nachfolgenden Referat noch ausführlich berichtet werden.

Im gegenständlichen Vortrag sollen die zwar nicht so allgemein bekannten aber doch wohl sehr effizienten Methoden einer kontinuierlichen biologischen Gewässerkontrolle behandelt werden. Während mittels chemisch-physikalischer Methoden die Temperatur, Elektrische Leitfähigkeit, der pH-Wert, der Sauerstoffgehalt, die Trübung, der Gesamtkohlenstoffgehalt und einige spezifische Ionen kontinuierlich gemessen und auf Schreiberstreifen aufgezeichnet werden, können übrige Ionen, Verbindungen und Summenparameter nur aus Proben analysiert werden, die entweder mengen- oder zeitproportional mittels Pumpe zu einer Mischprobe integriert werden. Wasserinhaltsstoffe, die nicht mit einer speziellen Methode nachgewiesen werden, bleiben dabei unberücksichtigt, ungeachtet der Bedeutung ihres qualitativen und quantitativen Vorkommens. Dem gegenüber kann aufgrund der Beobachtung abweichender physiologischer Reaktionen von Organismen und unter Berücksichtigung gewisser Vorbedingungen auf die mehr oder minder massive Anwesenheit von Schadstoffen im Wasser rückgeschlossen werden. Da ja die Erstellung von Grenz- und Richtwerten für chemische und

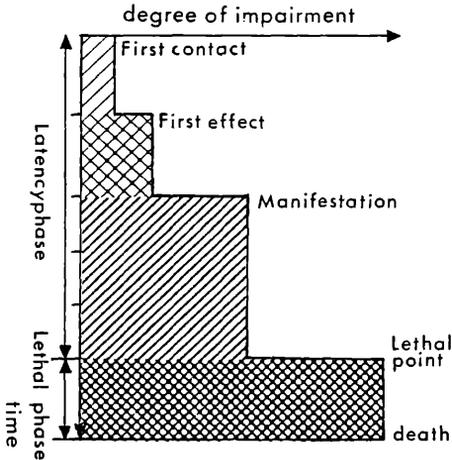
physikalische Parameter in der Mehrzahl der Fälle mit der Erhaltung der sehr komplexen aquatischen Lebewelt und zur Hintanhaltung von Schäden an Fauna und Flora begründet wird, erscheint es sehr zweckmäßig und zielführend, die Biozoenose schon in der Meßtechnik als Regelfaktor anzusehen und zumindest einen taxonomischen Vertreter der Gewässerbiozoenose als Indikator für gute Wasserqualität, bzw. als Beweis für die Einhaltung auferlegter Grenzkonzentrationen heranzuziehen. Treten bei der biologischen Methode der Immissions- bzw. Emissionskontrolle alarmierende Zäsuren im sonst normalen Erscheinungsbild der Reaktionen auf, so wird damit auf die Anwesenheit von lebensgefährdenden Schadstoffgehalten aufmerksam gemacht. Die dadurch induzierte chemische Analyse des Wassers soll dann Aufschluß über die Beschaffenheit und Menge der Störsubstanz geben.

Im folgenden soll zunächst einmal in einer Zusammenschau (Literatur, Fremderfahrung, Eigenerfahrung) auf die automatisierte Messung der Gewässergüte, die Immissionskontrolle, näher eingegangen und im Anschluß daran auch ein paar Bemerkungen über die Toxizitätstests, die "vorbeugende Emissionskontrolle" vorgebracht werden.

Im Jahre 1980 wurde von der OECD ein sehr umfangreicher Bericht über die Durchführung von Toxizitätstests im weiteren Sinn unter dem Titel "Report on the assessment of potential environmental effects of chemicals - the effects on organisms other than man and on ecosystems" herausgegeben. Unter vielen anderen vorgebrachten Gesichtspunkten wurde auch hervorgehoben, daß bei der Wahl der Testorganismen auf Fische, Kleinkrebse (*Daphnia*) und Algen zurückgegriffen werden soll, entsprechend ihrem natürlichen Vorkommen im Testland. Die Verwendung weltweit einheitlicher Pflanzen- und Tierarten wird als unpraktikabel abgelehnt.

Bei den in weiterer Folge vorgestellten Testsystemen werden Versuche mit den drei vorher erwähnten Organismengruppen zur Sprache kommen. Fische sind dabei die am häufigsten herangezogenen Testorganismen. Ihre relativ leichte Zucht, Hälterung und Verfügbarkeit, wie auch ihr leicht kontrollierbares Verhalten haben sie zu Versuchstieren gemacht, die außer den vorgenannten Eigenschaften außerdem auf Vergiftungen sehr rasch reagieren und gegenüber den meisten toxischen Stoffen erheblich empfindlicher sind als Warmblüter. Die folgende Abbildung erläutert, wie so eine Beeinträchtigung mit Schadstoffen abläuft.

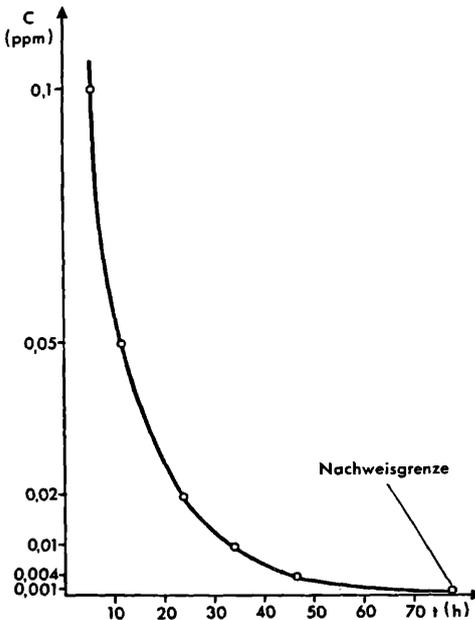
Abb. 2: Ablauf einer Giftwirkung (nach WUHRMANN u. WOKER 1948)



Das Bio-Monitorsystem bezweckt, daß es gar nicht erst zur Manifestation kommt, sondern daß bereits die ersten Verhaltensänderungen ("first effect") Abhilfemaßnahmen bewirken. Bei den Toxizitätstests wird hingegen die akute Giftwirkung erfaßt, wobei der Tod eines Individuums oft als

Kriterium gewertet wird. Wie aus der nächsten Abbildung hervorgeht, besteht zwischen der Konzentration eines Schadstoffes und der Einwirkungszeit meist keine lineare Abhängigkeit, sondern ein logarithmischer Zusammenhang, der von Substanz zu Substanz, bzw. von Abwasser zu Abwasser verschieden ist. Während beim Monitorsystem eine Reaktion unabhängig von der Expositionsdauer abgewartet wird, erfolgt bei den Toxizitätstests eine konventionelle Festsetzung der Einwirkungszeit, wobei von der Annahme ausgegangen wird, daß in den ersten 24 bis 48 Stunden die akute Wirkung zutage tritt.

Abb. 3: Wirkkonzentration - Zeitkurve von α -Endosulfan (Thiodan)



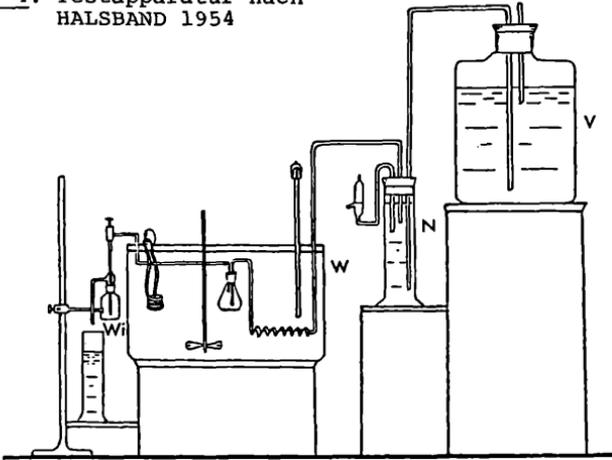
Monitorsysteme

Das Monitorsystem der automatischen Gewässergütemessung beruht auf der konstanten Kontamination von Versuchsorganismen mit unverdünntem Vorfluterwasser. Unerwünschte Reaktionen der Testorganismen bewirken via Regelung durch den Menschen (chemische Untersuchung - Behebung des Mißstandes) die Wiederherstellung des SOLL-Zustandes, also der nicht-toxischen Beschaffenheit des Lebensraumes.

Bei den ersten Versuchen einer Automation von Messungen wurde der erhöhte Sauerstoffverbrauch von Fischen und Fischnährtieren als Kriterium für Streßsituationen herangezogen. Verschiedene Fischarten, aber auch Protozoen, wurden dabei unter konstanten Licht- und Temperaturbedingungen im Durchfluß gehältert und als aus dem System abfließende, verbrauchte Testmedium auf seinen Sauerstoffgehalt hin laufend analysiert. Sobald die Tiere durch Schadstoffe beeinträchtigt wurden, erhöhte sich auch die Atmung, der Sauerstoffverbrauch wurde größer. Diese Versuche wurden im Jahre 1954 von HALSBAND unter dem Titel "Untersuchungen über die Störungsschwellen im Stoffwechsel der Fische und Fischnährtiere nach Einwirkung verschiedener Abwassergifte" beschrieben (Abb. 4).

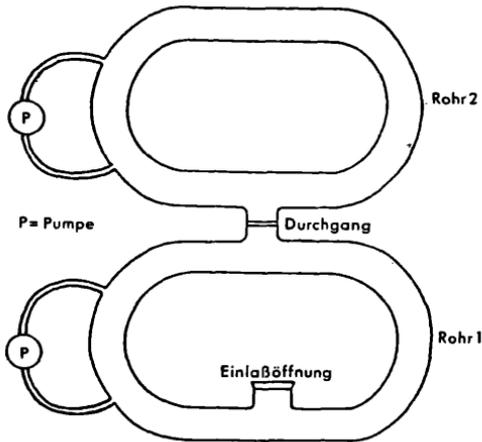
Der von HALSBAND und MEYER-WAARDEN im Jahre 1960 veröffentlichte "Elektrobiologische Test zur Bestimmung der Abwasserlast von Flüssen" nimmt das Migrationsverhalten von Fischen als Maß für den Bereich der Störschwelle von Abwassergiften und wird als Phase der unvollständigen Kompensation, in der starke Veränderungen des physiologischen Verhaltens auftreten, beschrieben. Im Freiland wandern Fische aus stark abwassergeschädigten Gewässerbezirken ab. Darauf beruhend wurden im Laborversuch nach Akklimatisation der Tiere an die Apparatur Tests mit Abwasser durchgeführt (Abb. 5).

Abb. 4: Testapparatur nach HALSBAND 1954



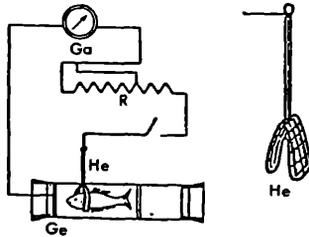
V(Vorratsgefäß), N(Niveau- u. Regelgefäß, W(Wasserbad),
Wi(Winkler-Flasche zur Sauerstoffmessung)

Abb. 5: Testapparatur nach HALSBAND u. MEYER-WAARDEN 1960



Von HALSBAND stammt weiters auch die Methode der elektrischen Registrierung der Atemfrequenz von Fischen. Die sogenannte elektromotorische Kraft, die bei der Bewegung der Kiemendeckel entsteht, wird dabei via Elektroden einem hochempfindlichen Galvanometer, dem Meßinstrument, zugeleitet. Auf elektrischem Wege wird so die Häufigkeit der Kiemendeckelbewegungen aufgezeichnet. Entsprechend der Belastung des Individuums mit einem veränderten, für den Fisch unangenehmen Umweltmilieu wird in der Regel auch die Atembewegung beschleunigt. Mit dieser Frequenzmessung wurde im Jahre 1954 der Versuch einer automatischen Messung physiologisch anomaler Gegebenheiten angestellt.

Abb. 6: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaues "Messung der elektromotorischen Kraft"; nach HALSBAND 1954

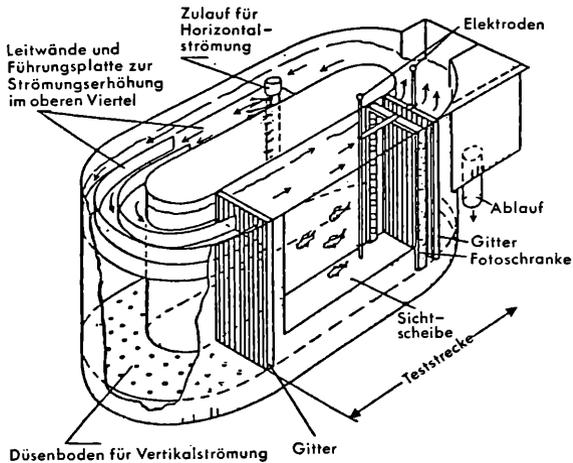


Ga (Galvanometer), R (Regler), He (Hauptelektrode),
Ge (Gegenelektrode)

Dem derzeitigen Stand der Technik entsprechen automatische Warnanlagen zum Nachweis von akut toxischen Konzentrationen von Wasserinhaltsstoffen durch Fische. Wie aus der Literatur der Jahre 1974 und 1977 hervorgeht, wurde das von BESCH und JUHNKE entwickelte Fischtestbecken mit einigen weiteren Einrichtungen sowie einer automatischen Warnanlage komplettiert, so daß ein willkürlich einzustellender Grad des Nachlassens der Schwimmfähigkeit von Fischen als Kriterium für das Auf-

treten von Stoffen in akut toxischen Konzentrationen aufgezeigt wird.

Abb. 7: Perspektivische Darstellung des Testbeckens.



Zweck des Warntests ist daher der möglichst rasche Nachweis der akut toxischen Schadstoffkonzentrationen in Vorflutern, Abläufen größerer Abwasserreinigungsanlagen und in zur Trinkwasserherstellung bestimmten Uferfiltraten. Wie bereits oben erwähnt, ist die Rheomenotaxis das Testkriterium. Die Warnschwelle wird als willkürlich zu bestimmender Grad des Nachlassens der Schwimmfähigkeit in einer gerichteten Strömung definiert. Diese ist beim Warntest zusätzlich in Oberflächennähe derart verstärkt, daß diejenigen Fische, die unter der Frühwirkung nach oben schwimmen, ihr in besonders starkem Maße ausgesetzt sind. Im Verlauf des Tests wechseln Perioden starker horizontaler und sehr schwacher vertikaler Strömung bei etwa ständig gleichbleibendem Durch-

fluß einander ab, wodurch eine zunehmende Ermüdung der Fische im Testzeitraum vermieden werden kann. Zur Adaptierung der Fische an die Testbedingungen ist eine Hälterung am Versuchsort unerlässlich.

Die Warntestanlage setzt sich aus folgenden Baugruppen zusammen:

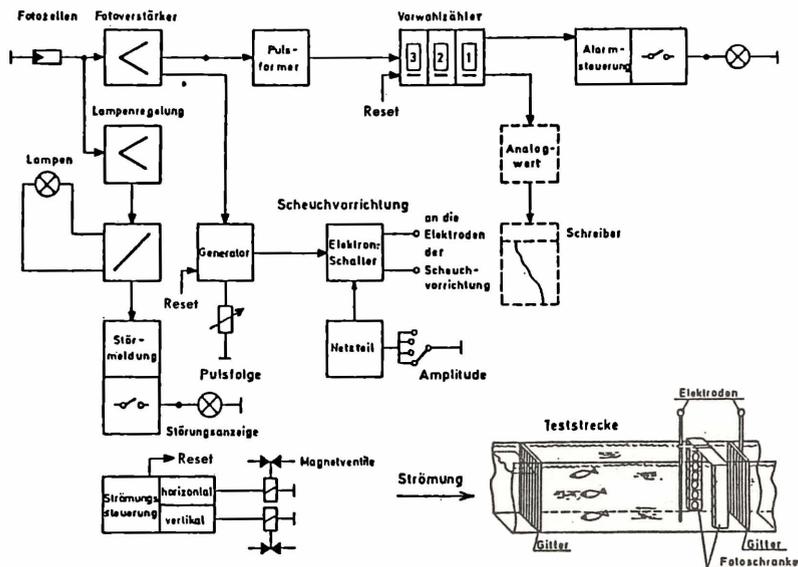
Testbecken
Wasserverteilung
Photoschranke
Schaltschrank
Elektrische Scheuchvorrichtung

Die Stärke der Horizontalströmung beträgt etwa 1/2 bis 1 Fischlänge pro Sekunde. In der Regel werden etwa fünf Minuten Streßphase und 20 Minuten Ruhephase gewählt.

Durch Schädigung geschwächte Fische, die sich nicht mehr in der Horizontalströmung halten können und auch solche, die an die Oberfläche zu gelangen versuchen, verdriften in die Nähe des Endgitters, wo sie eine Lichtschranke passieren. Die Unterbrechung des Lichtstrahles führt zur Abgabe eines Zählimpulses an eine Zählleinheit. Zugleich bewirkt dies auch eine Auslösung eines Elektroschockes mit Scheuchwirkung. Gesunde Fische lernen auf diese Art und Weise binnen kurzem den hinteren Abschnitt des Testraumes zu meiden. In der Ruheperiode ist die Scheuchvorrichtung abgeschaltet und die Fische können sich somit ungestört im Bereich der Lichtschranke aufhalten. Die Scheuchanlage ist auch dann außer Funktion, wenn stark geschädigte Fische der Strömung keinen Widerstand mehr leisten und hinter der Lichtschranke am Endgitter verweilen. Die Helligkeit der Photoschrankenlampen ist auf eine konstante Empfindlichkeit der Photozellen abge-

stimmt. Trüber werdendes Wasser führt zur Erhöhung der Lampenhelligkeit, Undurchsichtigkeit zur Störanzeige.

Abb. 8: Automatische Regelung des Warnungstests.



Steuerung zum Warnungs-Fischlest

Die Warngrenze bei Unterbrechungen der Lichtschranke wird bei 40 Passagen eingestellt, einerseits um die Chance des Auslösens von Fehlalarmen möglichst klein zu halten und andererseits um toxisch akute Vergiftungen möglichst früh erkennen zu können.

Die Testorganismen verbleiben sieben bis vierzehn Tage im Testbecken und können, sofern keine Störung vermerkt werden konnte, nach längerer Hälterungszeit abermals zum Test

herangezogen werden.

Als Testfische werden Karpfen, Goldfische, Regenbogenforellen und Goldorfen herangezogen. Abgestimmt auf die Verwendungsart ist eben die eine Fischart für den gegebenen Testfall geeigneter als die andere. Temperaturverhältnisse und Beschaffenheit des durchströmenden Wassers sind dabei die für die Wahl der Fischart ausschlaggebenden Grundbedingungen, die den Besatz mehr oder minder robuster Spezies erheischen.

Eine neuartige Konstruktion eines Fischbeckens für kontinuierliche Qualitätsprüfung des Wassers wurde in Mainz entwickelt (BURKHART, SCHARF 1979). Die Teststrecke besteht aus einem keilförmigen Becken, an dessen Ende sich der Detektor befindet. Dieser setzt sich aus einem siebartigen Förderband und einer Lichtschranke zusammen. Die durch Gift geschwächten Fische werden mit der Strömung abgedriftet, gelangen auf das Förderband und werden von diesem aus dem Wasser gehoben. Die Registrierung der Fische erfolgt in der Luft. Auf die in der vorher erwähnten Konstruktion verwendete Scheuchvorrichtung wird hier verzichtet, die Messung ist somit von der Trübe und Farbe des Wassers völlig unabhängig. Infolge der linearen Anordnung des Versuches besitzt die Apparatur weniger Platzbedarf, ist in der elektronischen Ausrüstung einfacher und daher leichter zu bedienen. Die keilartige Konstruktion gewährleistet von vornherein Bereiche mit wenig Strömung und solche mit besonders starker Fließgeschwindigkeit.

Nur wenige Stunden nach Besatz der Apparatur reichen aus um die Fische an die Verhältnisse zu gewöhnen. Wohl lassen sich die Organismen vorerst von der reißenden Strömung ver-

driften und mit dem Förderband aus dem Wasser heben, nach der Lernperiode aber halten sie sich im vorderen Teil der Anlage in geringer bis mittlerer Fließgeschwindigkeit auf und vermeiden die Detektorsektion. Die ersten 24 Stunden des Tests mit Flußwasser werden ohne Förderbandbetrieb gefahren, um eine problemlose Adaptation der Fische an das Testwasser zu ermöglichen und auch um Fehlalarme zu vermeiden (Abb. 9).

Das Monitoring dauert nicht länger als 14 Tage und wird danach mit anderen Fischen fortgesetzt. Diese werden in einem eigenen Adaptationsbecken mit Förderbandatrappe gehalten, so daß der Versuch ohne lästige Zäsur weitergeführt werden kann.

Ein weiteres Verfahren die positive Rheotaxis von Fischen, bzw. deren Verlust infolge Gifteinwirkung zu erfassen, stellt folgendes "Automatisiertes Fischtestgerät Biosens" (Modell AFT 37 Biosens-System MBB) dar (PETRY 1976), (Abb.10).

In ihrem Motilitätsverhalten gestörte Fische treiben zum Auslaufgitter am Ende des Testraumes ab und unterbrechen dabei berührungslos eine dort installierte akustische Schranke, die im Ultraschallbereich arbeitet. Eine Verschmutzung des Meßwertgebers und Trübe des Wassers hat dabei wiederum keinerlei Einfluß auf die Registrierung und Betriebssicherheit. Zu oftmaliges Unterbrechen der Schranke löst einen Alarm aus.

Mit Hilfe des "Aquatic Activity Monitor Biopulse" werden in einem Testaquarium die Bewegungen der Fische gemessen. Das Meßprinzip beruht darauf, daß mittels eines Frequenzgenerators mit Monitor via zweier in das Wasser eingetauchter Transducer ein sonares Feld im Aquarium erzeugt wird.

Abb. 9: Fischtestbecken nach BURKHART u.SCHARF 1979

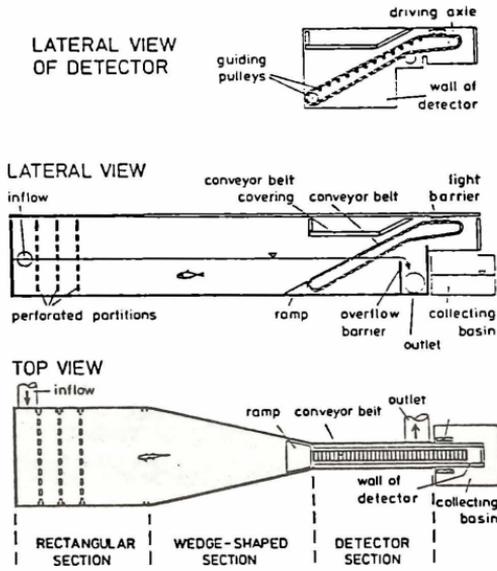
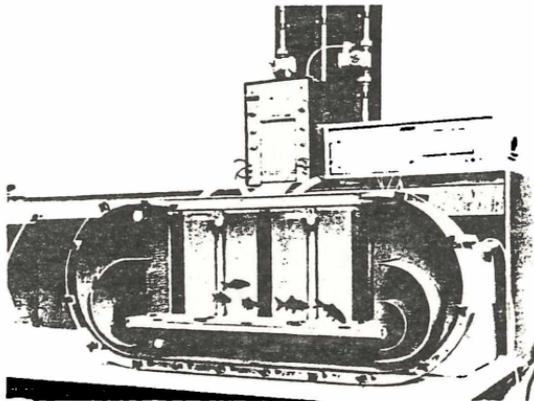
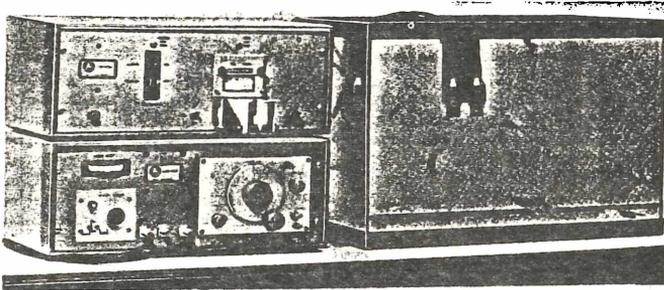


Abb. 10: Automatisches Fischtestgerät Modell AFT 37
Biosens System MBB (Werkfoto)



Die durch die Bewegung der Fische verursachten Störungen des Feldes werden in Meßimpulse umgewandelt und registriert. Fließgeschwindigkeit und optische Beschaffenheit des Wassers bleiben hier ohne Bedeutung (Abb. 11).

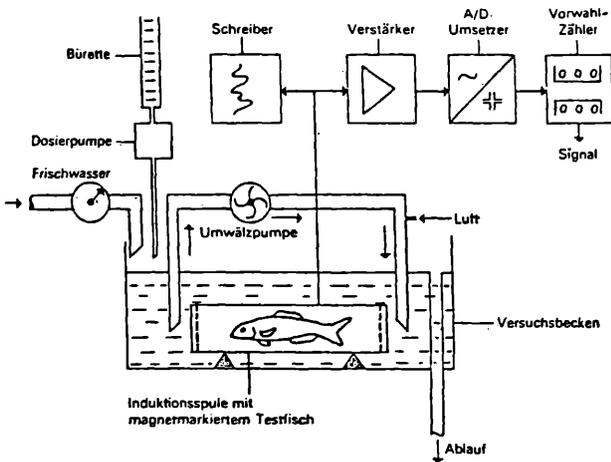
Abb. 11: Die "Aquatic Activity Monitor Biopulse"-Apparatur



Dem Prinzip der Magnetinduktion folgt ein weiteres Verfahren. Forellen werden dabei mit Permanentmagneten markiert und in eine Plexiglasröhre mit 50 cm Länge und ca. 12 cm Durchmesser eingeführt. Die Röhre ist mit zahlreichen (1000) Drahtwindungen umwickelt und ihre Enden werden mit durchlöchernten Schiebern verschlossen. Eingetaucht in ein Aquarium wird nun dieses Testgefäß vom Testwasser durchströmt. Die adaptierten Tiere gewöhnen sich nach relativ kurzer Zeit an den Magneten und das Testgefäß. Infolge der Atembewegungen - der Permanentmagnet wird äußerlich am Unterkiefer befestigt - und der Körperbewegung werden nun in der Drahtspule Spannungsstöße induziert, die als Maß für die Aktivität gemessen und registriert werden. Die Spannungsstöße werden in entsprechende elektrische Impulse umgewandelt, die von einem elektrischen Vorwahlzähler addiert werden. Am Einstellwerk des Zählers wird die empirisch am un-

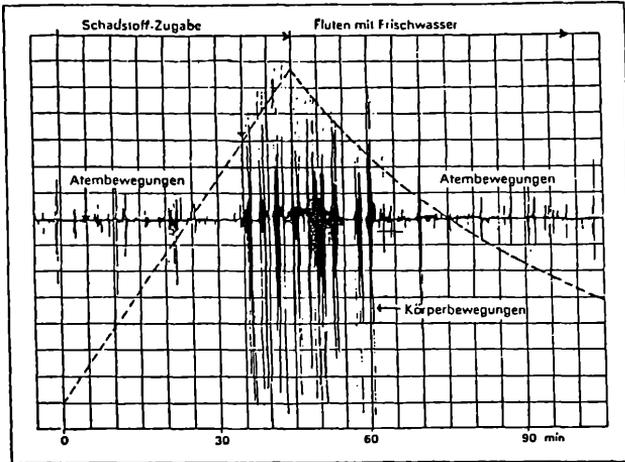
belasteten und sich körperlich ruhig verhaltenden Versuchsfisch ermittelte Impulszahl eingestellt. Nach Ablauf der Meßperiode erfolgt eine automatische Löschung des Zählerinhaltes und der Zählvorgang beginnt von neuem. Zu hohe Impulszahlen bewirken die Auslösung eines Alarmsignals.

Abb. 12: Versuchsanordnung zur Registrierung der Bewegungsaktivität von schadstoffbelasteten Testfischen mit Hilfe induzierter Spannungen



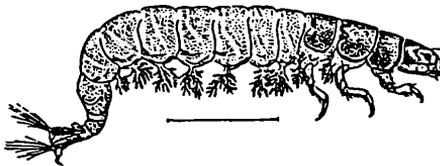
Bei Versuchen mit kontinuierlicher Zugabe von Detergentien zeigte sich ab Erreichen einer bestimmten Konzentration eine deutliche Aktivitätsreaktion, die, wie im Diagramm ersichtlich ist, erst mit der Frischwasserflutung der Apparatur und somit Absinken des Detergentiengehaltes im Wasser eingestellt wurde (Abb. 13).

Abb. 13: Mit Hilfe induzierter Spannungen registriertes Bewegungsdiagramm einer Forelle bei Belastung mit Spülmittel I



Ganz andere Organismen und Kriterien werden beim Hydro-
psyche-Toxizitätstest als Indikatoren für die Gewässer-
verschmutzung, insbesondere für Insektizidkontaminationen her-
angezogen. Hydropsyche ist eine amphibiotische Köcherfliege,
deren Entwicklungsstadien im Wasser leben und deren Voll-
kerfe die Atmosphäre besiedeln.

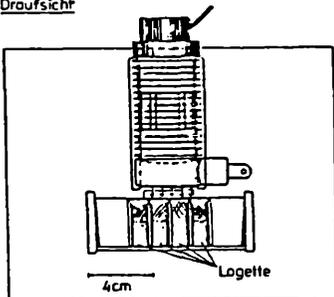
Abb. 14: Hydropsyche-Larve



Die Larve des Tieres legt in schwach durchströmenden Bachbereichen ein Netz an, dessen gesiebter Inhalt dann als Nahrungsgrundlage dient. Ähnlich dem Netz der Spinnen ist die Fangvorrichtung von Hydropsyche regelmäßig gebaut und schon geringste Konzentrationen von Pestiziden genügen, um Asymmetrien oder größere Störungen des sonst gleichmäßigen Erscheinungsbildes der Netze hervorzurufen. Als Testkriterium wird nun der Netzbau dieser Köcherfliegenlarven herangezogen. Die Tiere werden in künstliche Gehäuse von 1 cm lichter Weite, die nach oben hin offen sind, eingesetzt. Diese, nach DECHAMPS "Logettes" genannten Testeinheiten - 20 davon - werden in strömendem Testmedium zwei Tage lang exponiert. Die Tiere werden sodann aus den Logettes entfernt und die Netze nach dem Lufttrocknen photographiert. Zur Beleuchtung wird dabei eine pultartige Vorrichtung als Logette-Auflage für die Lichtquelle verwendet, die das Netz im Gegenlicht anstrahlt. Das Kippen der gesamten Vorrichtung ermöglicht es, die Netze gegenüber der Kamera in annähernd senkrechte Position zu bringen (Abb. 15).

Abb. 15: Beleuchtungsvorrichtung zum Photographieren von getrockneten Hydropsyche-Netzen in künstlichen Schlupfwinkeln ("Logettes"). Die Pfeile geben den Licht-einfall an.

Draufsicht

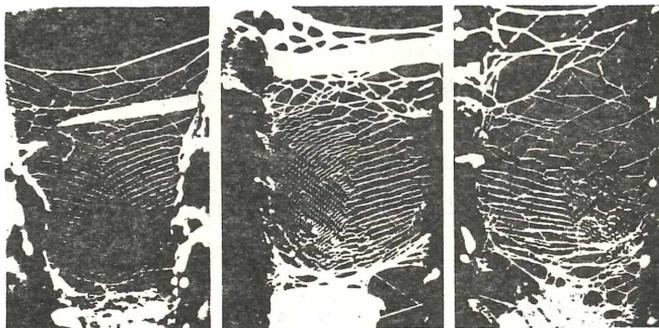


Rechte Seitenansicht

Auf den Photoabzügen wird dann die Auswertung der Netzstrukturen, entsprechend den Kennparametern vorgenommen.

Vorerst im Labor an definierten Pestiziden erprobt, wird von den Autoren vorgeschlagen, diesen Test als Freiland-Dauertest an Abwassereinleitungen einzusetzen (BESCH, SCHREIBER, HERBST 1977).

Abb. 16: A.Regelmäßige straffe Fadenführung, keine A-Fäden-Überkreuzungen (Kontrolle). B.Leicht zittrige A-Fäden-Führung. Mindestens 3 A-Fäden-Überkreuzungen im zentralen Netzteil (0,001 mg/l, einmalige Exposition). C.Beginnende Auflösung des Netzes. Starke Unregelmäßigkeiten der Maschenweiten, zahlreiche Überkreuzungen. Ziemlich große Differenzen der mittleren Abknickungswinkel (18°), (0,001 mg/l, zweimalige Exposition).



A.

B.

C.

Für die Versorgung des Stuttgarter Raumes wird Wasser aus dem Bodensee entnommen. Im Herbst 1979 wurde die Entwicklung einer dreistufigen Biotestanlage abgeschlossen, welche der Überwachung der Rohwasserentnahme auf toxische Inhaltsstoffe dient. Dieses Kombinationsmonitorsystem wurde im Labor der Bodenseewasserversorgung entwickelt, als Testorganismen

werden die einzellige Grünalge *Haematococcus pluvialis*, der Kleinkrebs *Daphnia pulex* und der Nilhecht *Gnathonemus petersi* herangezogen (GELLER, MÄCKLE 1976).

Der Biotest mit *Haematococcus* ist als statischer Test mit zwei Stunden Dauer ausgelegt, nach jedem Intervall wird automatisch ausgewertet und neu angesetzt. Eine Probe des zu untersuchenden Wassers wird dabei mit einer äquivalenten Menge der aus einer Durchflußkultur entnommenen Algensuspension vermischt. Nach der zweistündigen Reaktionszeit wird der Sauerstoffgehalt dieser Testmischung auf elektrochemischem Weg gemessen. Die Durchflußkultur ist chemostatisch geregelt und auf eine bestimmte Zellzahl pro ml eingestellt. Testmaterial gleicher Art und Menge und somit gleicher Reaktionsnorm steht damit kontinuierlich zur Verfügung.

Die Testmischung aus Algen und Testwasser wird in ein Verweilgefäß überführt. Dessen Ausführung als Glasspirale garantiert eine optimale Beleuchtungsintensität für die Testalgen. Nach der zweistündigen Verweilzeit wird die Testmischung in eine spezielle Meßkammer geleitet, wo der Sauerstoffgehalt mittels Elektrode gemessen wird. Der Meßkammerinhalt wird mittels Magnetrührer ständig in Bewegung gehalten (Abb. 17).

In der Regel wird bei jedem Zyklus derselbe Sauerstoffgehalt erreicht. Enthält jedoch das Testwasser einen Schadstoff, so wird die Sauerstoffproduktion gehemmt und die verminderte Leistung der Algen kann anhand des Schreiberstreifens erkannt werden. Wie stark sich die Hemmwirkung eines Pestizides auf die Minderung der Sauerstoffproduktion auswirkt, kann anhand der Abbildung abgelesen werden (Abb.18).

Abb. 17: Haematococcus-Test

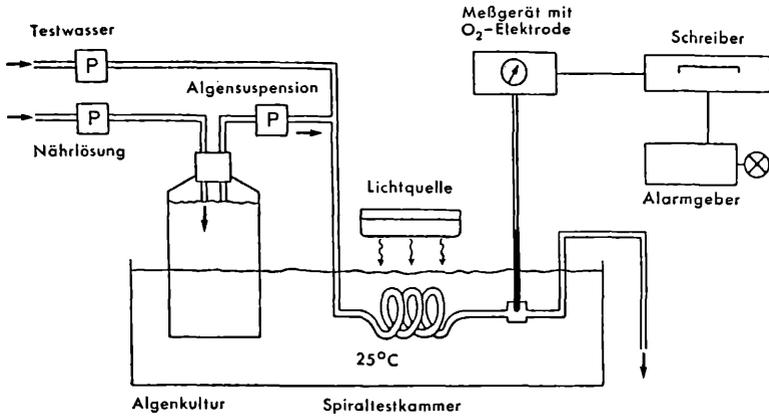
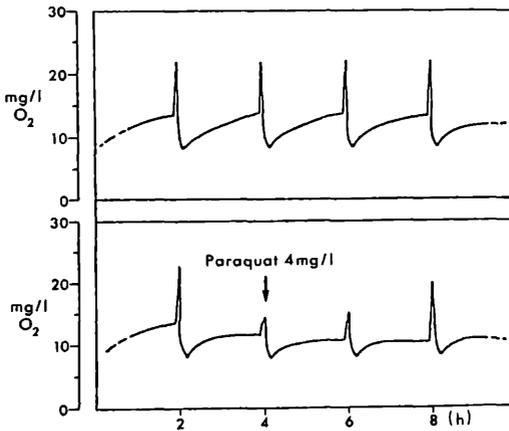


Abb. 18: Haematococcus-Test/Toxinwirkung auf O₂-Produktion



Der Daphnien-Test ist ein kontinuierlicher Test. Die Tiere werden in einer Durchflußküvette gehältert, in deren eine Seite via Glasfaseroptik ein Lichtstrahl eingeleitet wird. Dieser wird am anderen Ende der Küvette gespiegelt und so über die Faseroptik wieder aus der Kammer geführt. Die Daphnien bewegen sich in der sonst abgedunkelten Kammer aufgrund ihrer phototaktischen Reaktion in den Lichtstrahl hinein. Das an die Faseroptik angeschlossene Photometer zeigt die Unterbrechungen der Lichtschranke durch die schwimmenden Daphnien an. Auf dem angeschlossenen Schreiber wird die lebhafteste Schwimmaktivität der Testtiere registriert. Sobald die Kleinkrebschen infolge einer Beeinträchtigung schwimmunfähig auf den Boden der Testkammer sinken, bleiben die Zackenausschläge aus und der Kurvenzug des Schreibers wird zu einer geraden Linie. Als Alarmgeber dient ein elektronischer Zähler, der die Spannungsimpulse auswertet und bei Unterschreiten einer Mindestzahl von 30 pro Minute Alarm auslöst (Abb. 19).

Die Tiere werden über eine zeitgesteuerte Dosierpumpe im Abstand von zwei Stunden mit Futter versorgt und leben mehrere Wochen im Testsystem, pflanzen sich dort fort und erreichen eine Populationsdichte von etwa einer Daphnie pro ml. Eine Revision der Anlage erfolgt alle zwei Wochen.

Der Fischtest mit *Gnathonemus* kommt mit einer sehr einfachen technischen Anordnung aus. Da der Fisch ständig physiologisch elektrische Impulse von etwa 1 Volt abgibt, besteht das Detektorsystem nur aus den ableitenden Elektroden in der Testkammer und einem Lautsprecher oder Impulszähler als Anzeigegerät. Die Alarmvorrichtung besteht aus einer Impulszählung über einen bestimmten Zeitraum mit Alarmauslösung bei Unterschreitung eines Mindestwertes (Abb.20).

Abb. 19: Daphnien-Test

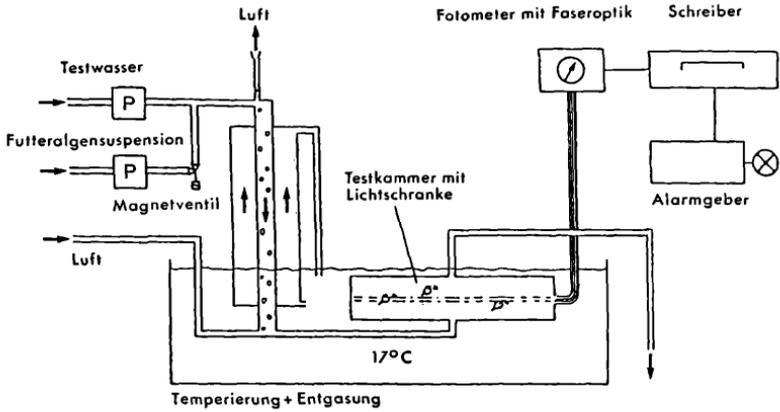
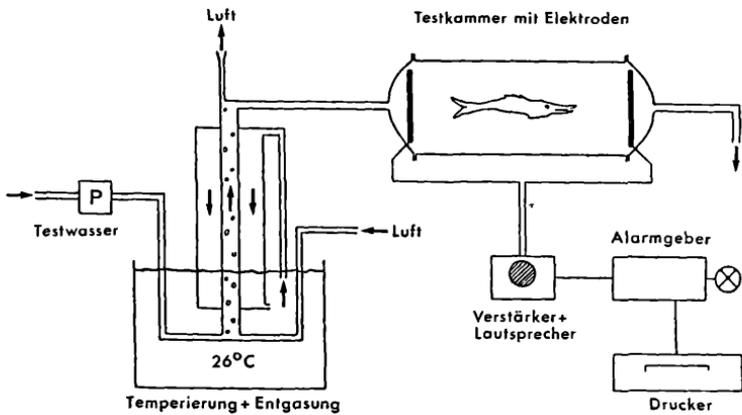


Abb. 20: Gnathonemus-Test



Die wichtigsten Daten zur Funktionsweise und zum Testablauf des Kombinationsmonitorsystems sind in der folgenden Abbildung einander vergleichend gegenübergestellt.

Abb. 21: Funktionsweise des Kombinationsmonitorsystems nach GELLER u.MÄCKLE 1976

	Algen-Test	Daphnien-Test	Gnathonemus-Test
Temperatur (°C)	25	17	27
Testkammer- volumen (ml)	15	50	2 000
Durchfluß (ml/h)		200	12 000
Testkammer- austausch (h ⁻¹)		4	6
Detektorprinzip	Δ -O ₂ -Prod.	Lichtschranke	Eigenimpulse elekt.
Meßgröße	O ₂ -Geh.	Zählg.d.Foto- metermeßwert- änderungen $\Delta U \geq 5$ mV	Zählg.d.elekt. Impulse > 500 mV
Alarmbedingung	$\Delta O_2 \geq 2$ mg/l	Impulszahl/ 30min ≤ 10	Impulszahl/ 30 min ≤ 10
Ansprechzeit	konstant 120 min.	variabel; 30min. - 14d	variabel; 30min.-7d

Bei der Trinkwasserüberwachung muß die Ansprechzeit eines Tests auf wenige Stunden (zwei bis vier) verkürzt werden, ohne daß dadurch die Empfindlichkeitsschwelle gefährlich hoch ansteigt. Die folgende Abbildung zeigt die Empfindlichkeit des Daphnientests und des Haematococcus-Tests nach durchgeführten Versuchen mit definierten Substanzen und stellt diesen die für Menschen akut toxischen Konzentrationen gegenüber. Es zeigt sich, daß Herbizide erwartungsgemäß vom Algentest wesentlich eher erfaßt werden als durch den Daphnien-Test. Umgekehrt reagieren aber Daphnien oft auf Toxine wesentlich früher als Algen. Der Nilhecht zeigt eine Empfindlichkeit, die etwa der von Guppies entspricht.

Abb. 22: Empfindlichkeit der einzelnen Testorganismen des Kombinationsmonitorsystems nach GELLER u.MÄCKLE 1976

Stoff µg/l	Haematoococcus- warntest ΔO ₂ /2h	Daphnia LC ₅₀ /24-48h	Daphniawarntest LC100/ < 4h	Mensch (70 kg)		Fische
				LD/21	"akut tox.Grenze"	
Hg ²⁺	10 ³	5	100	3,5	10 ³	8
Cu ²⁺	2 · 10 ⁴	5 - 10	4 · 10 ³	2,8	10 ⁵	(1 - 5) · 10 ³
Cd ²⁺	10 ⁵	55 - 65	2 · 10 ⁴	2,5	10 ⁶	(2 - 3) · 10 ²
Zn ²⁺		40 - 100	> 10 ⁴	1,3	10 ⁶	10 - 10 ³
CN ⁻	< 5 · 10 ³	10 - 100	1,5 · 10 ³	3,5	10 ⁴	(0,1 - 3) · 10 ³
Diuron	10 ²	(160)	> 10 ⁴	1,8	10 ⁷	10 ² - 10 ⁶
Paraquat	4,2 · 10 ³	(3,7 · 10 ³)	(10 ⁵)	1,8	10 ⁵	10 ³ - 10 ⁵
Parathion	2 · 10 ⁴	(0,4 - 12)	50	6	10 ³	10 - 10 ⁴
Thiodan	> 5 · 10 ⁴	5 - 240	(10 ² - 10 ³)	8,4	10 ⁵	0,1 - 30
2,4-D	> 10 ⁵	10 ⁴	(10 ⁶)	1,3	10 ⁷	(0,8 - 3) · 10 ³
MCPA	> 10 ⁵	2 · 10 ³	(10 ⁵)	1,8	10 ⁷	10 ³ - 10 ⁵
DDVP	> 4 · 10 ⁴	0,07 - 10	(10 - 100)	1,8	10 ⁵	(0,7 - 10) · 10 ³
o-Kresol	> 10 ⁵	10 ⁴	(10 ⁵)	1,8	10 ⁶	(1 - 3) · 10 ³
Dinitrophenol	> 5 · 10 ³	6 · 10 ³	> 10 ⁴	1,8	10 ⁵	(0,5 - 38) · 10 ⁵

Neuesten Pressmeldungen zufolge haben Mitarbeiter der Pariser Curie-Universität festgestellt, daß die Geruchsinns-homologen Hirnstrombilder von Forellen für verschiedene Chemikalien deutlich verschieden sind und daß bereits wenige Nanogramm pro Liter genügen, um eine entsprechende Neuronenaktivität auszulösen. Charakteristische Bilder für landwirtschaftliche Schädlingsbekämpfungsmittel, wie z.B. Lindan, Malathion und methyliertes Quecksilber wurden bereits aufgezeichnet. Wenn man die Elektroden des Mikroenzephalographen mit einem kleinen, etwa 3 g schweren Radiosender verbindet, dessen Signale von einem Empfangsgerät zu Lande registriert werden, kann man derart ausgerüstete Forellen als "Spürhunde" zur Ausfindung von Verunreinigungen in Trinkwasserauffangbecken, Fischzuchtanstalten usw. einsetzen. Die Forellen können jedenfalls bereits weit weniger als die höchstzulässigen Konzentrationen vieler Chemikalien im Trinkwasser riechen. An der Perfektion dieses Verfahrens wird noch gearbeitet.

Toxizitätstest im Labor

Versuche mit Chemikalien wie auch Abwässern einerseits und Organismen andererseits werden im Labor durchgeführt, um den Grad der Toxizität einer Substanz oder eines Abwassers kennenlernen, beschreiben und die Wirkungsweise bekannter Wasserinhaltsstoffe definieren zu können. Bei Kontamination eines Vorfluters mit dem betreffenden Stoff im Zuge von betriebsmäßigen Einleitungen erhält die Behörde mit den Informationen aus den Toxizitätstests die Möglichkeit, Auflagen (Richtlinien, Beschränkungen) zu erteilen und sie im Sinne des Gewässerschutzes als vorbeugende Emissionsbeschränkung zu begründen. Die Toxizitätstests im Labor werden meist statisch durchgeführt. Bei manchen Testsubstanzen wird es

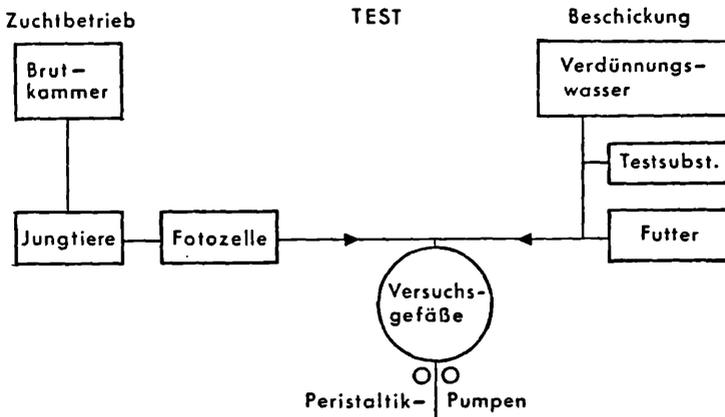
aber notwendig sein, einen kontinuierlichen Austausch des Testmediums vorzunehmen, um Veränderungen - welcher Art sie auch immer sein mögen - tunlichst hintanhaltend zu können. Die Durchführung dieses Tests verlangt eine weitgehende Automatisierung der Dosierung von Testsubstanz und Verdünnungswasser, da die Versuchstiere den unterschiedlich konzentrierten Medien tagelang ununterbrochen ausgesetzt sein müssen.

Am Beispiel der Versuchsanlage der Bundesanstalt für Wasser-
güte soll nun die Funktionsweise des dynamischen Toxizitäts-
tests, so der terminus technicus, näher demonstriert werden.
Mit Hilfe der fördervolumsregulierbaren Kugelventilpumpen
können sieben Aquarien (einschließlich Kontrollaquarium)
mit unterschiedlichen Substanzkonzentrationen im Dauerbe-
trieb befüllt werden. Ein Überlauf sorgt in jedem Versuchs-
gefäß für ein stets gleichmäßiges Niveau. Sauerstoffgehalt
und pH-Wert werden laufend mit den Meßgeräten kontrolliert
und die Ergebnisse auf Schreiberstreifen aufgezeichnet. Für
die Konstanz der Temperatur sorgt ein via Kontaktthermo-
meter und Heizstäbe erwärmtes Wasserbad, das ständig von
Leitungswasser durchflossen wird. Die Testaquarien werden
außerdem leicht belüftet, um eine gute Durchmischung des
Testmediums und einen im ganzen Testgefäß gleichmäßigen
Sauerstoffgehalt zu gewährleisten. Als Testfische werden
Forellen verwendet, deren Länge 5 ± 1 cm beträgt und die
einen Korpulenzfaktor größer als 1 besitzen. Es muß aber
auch der Umstand Erwähnung finden, daß bei dieser Testart
der Testmedienverbrauch recht hoch ist und dessen umwelt-
freundliche Beseitigung oft Kopfzerbrechen bereitet.

In den USA, die weitaus schärfere Bestimmungen bezüglich
der Beseitigung von Sonderabfällen besitzen, wurde aus
diesem Grund ein Durchflußtest für Kleinkrebse entwickelt.

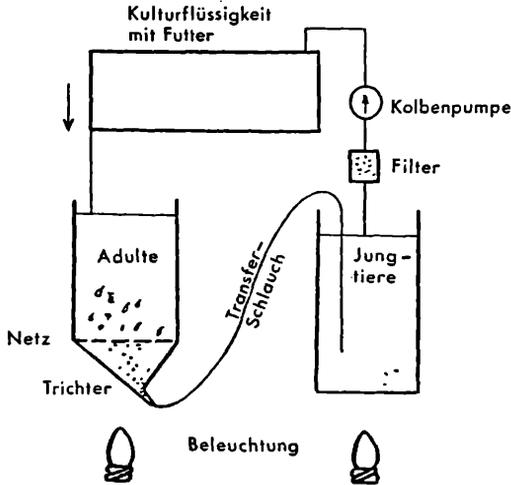
Daphnia pulex und die ihr verwandte *Bosmina longirostris* kommen dabei zum Einsatz. Zuchtbetrieb, Beschickung mit dem Testwasser und eigentlicher Testbetrieb wurden dabei weitgehend automatischen Verfahren unterworfen (NOVAK et al, 1982).

Abb. 23.: Schematische Darstellung des automatischen Kleinkrebs-Durchflußtests nach NOVAK et.al.1982



Aus dem Zuchtbecken werden mit Hilfe eines Einschubnetzes Muttertiere und Jungtiere, die Testorganismen, voneinander abgesondert. Beruhend auf der positiven Phototaxis der Organismen werden die Jungtiere zur Lichtquelle am Boden des Gefäßes gelockt und von hier mittels Transferschlauch in ein gesondertes Gefäß transportiert. Das überstehende Zuchtwasser wird im Kreislauf geführt, über ein Filter gereinigt, mit Futteralgen angereichert und anschließend in das Zuchtbecken zurückgeleitet (Abb. 24).

Abb. 24: Automatischer Zucht-, Fütterungs- und Auswahlbetrieb bei Kleinkrebschen nach NOVAK et.al. 1982



Das jungtierhältige Zuchtwasser und das Testwasser werden in der Mischvorrichtung miteinander vermischt, die Mischung passiert danach eine Photozelle, in der die verfrachteten Testorganismen gezählt werden. Tiere und Testmedium gelangen anschließend in die fest verschlossenen Testgefäße. Über einen Sinterglas-Knopf wird das überstehende Testmedium abgesaugt und neues Testmedium gleichzeitig ständig angesaugt. Das neue Testmedium wird vor den Testgefäßen mit der Nahrungssuspension gemischt und mit Luft angereichert; ein sogenannter "Debubblor" sorgt für den blasenfreien Weitertransport zu den Versuchsgefäßen. Luftblasen und die damit auftretenden Probleme mit der Oberflächenspannung und den Daphnien werden somit vermieden (Abb. 25 u. 26).

Die Anzahl der demobilisierten Kleinkrebschen dient als

Meßkriterium für die toxische Wirkung der Prüfsubstanz.

Abb. 25: Zuchtautomatik

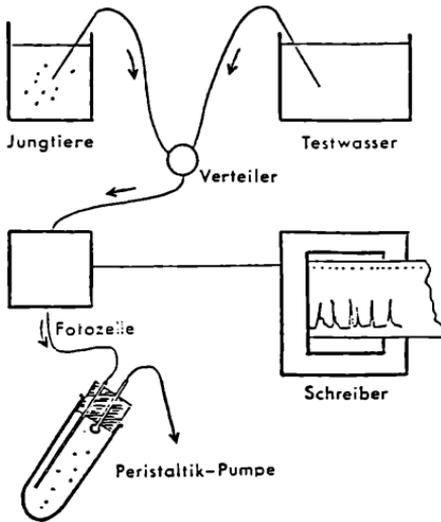


Abb. 26: "Debubbler"

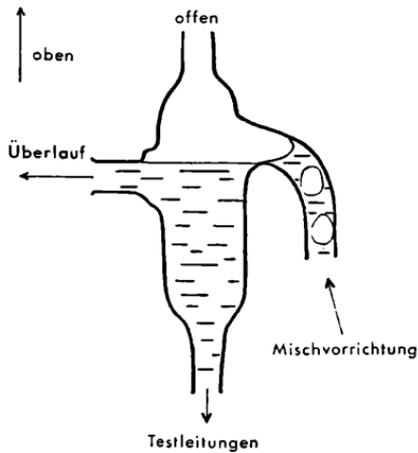
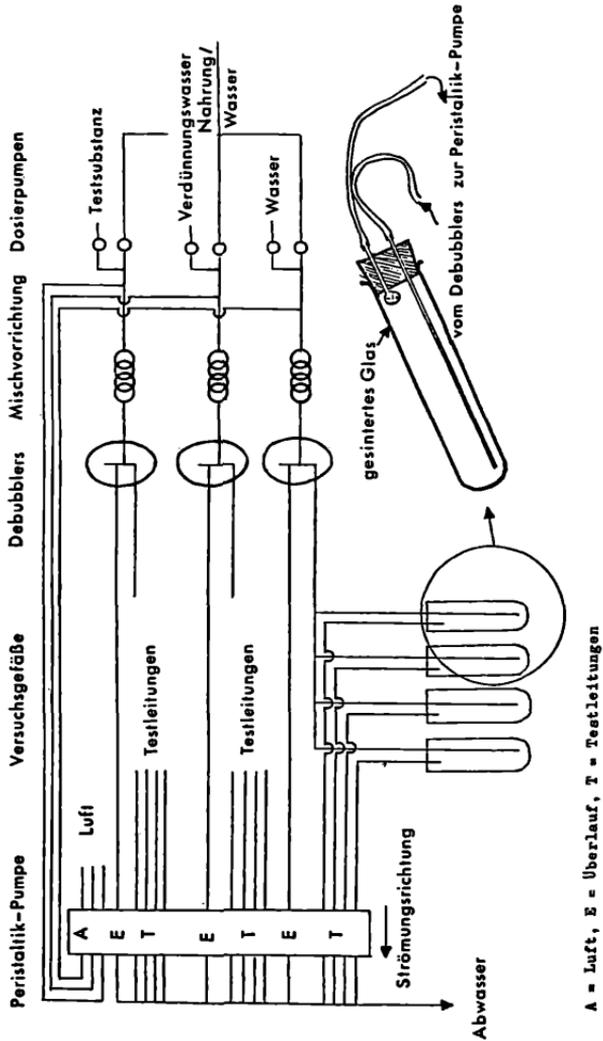


Abb. 27: Überblick über die Testanlage für Kleinkrebse



Schlußbemerkungen

Zum Abschluß dieser Zusammenschau soll noch ein Argument für die Anwendung biologischer Monitorsysteme vorgebracht werden. Im Sinne des Gewässerschutzes sollte nämlich jede Kontamination des Wassers mit Fremdstoffen vermieden werden, die vorgestellten Biotests bieten nämlich die Möglichkeit, die Anzahl der chemischen Bestimmungen weitgehend reduzieren zu können. Fließgewässeruntersuchungen chemischer Natur sind ja an der Stelle der Durchflußtests mit Organismen nur bei Störungen des physiologischen Verhaltens notwendig. Aufgrund der beschriebenen Testanordnungen - Strömen des Testmediums und stationäre, lebende Reaktionsmechanismen - wird die Abgabe von toxischen, oft schwer abbaubaren Analysesubstanzen an die Umwelt, einen Vorfluter, somit für längere Zeit hintangehalten. Die universelle Erfassung von Schadstoffen in Gewässer durch Bio-Monitorsysteme wird stets dort notwendig sein, wo lebensbedrohende Konzentrationen von Gewässerfremdstoffen auftreten können; einen vollständigen Ersatz für alle anderen Analysenverfahren stellen sie jedoch nicht dar. Trotz der großen Bedeutung und Aussagekraft der Tests mit Organismen muß aber dennoch darauf hingewiesen werden, daß die Betreuung der Anlagen und der Organismen trotz weitgehender Automatisierbarkeit noch immer sehr große Kosten und einen nicht unerheblichen Personalaufwand erfordert. Zucht und Betreuung der Testorganismen, Heranziehen von lebenden Futtermitteln für die Versuchstiere, periodische Wartung und Reinigung der Testanlagen sowie eine mindestens tägliche Versuchskontrolle sind Aufwendungen, die bei der Einrichtung jedes der vorgestellten Systeme in Betracht zu ziehen sind.

Danksagung

Für das unbürokratische Bereitstellen von Dias und Filmmaterial durch Herrn Doz. Dr. RYVARDEN sowie für die fachliche Beratung durch Herrn Dr. F. GROß, beide von der Hygienisch-bakteriologischen Untersuchungsanstalt der Stadt Wien, wird - ebenso wie meinem Vater für das Anfertigen des übrigen Projektionsmaterials - herzlicher Dank gesagt.

Literatur

- BESCH, W.K., JUHNKE, I., KEMBALL, A. (1972): Zur Standardisierung des Fischwarntests.- Schr.Reihe Ver.Wasser-, Boden- u. Lufthygiene, Berlin-Dahlem, H. 37, G.Fischer-Vlg., Stuttgart.
- BESCH, W.K., LOSERIES, H.G., MEYER-WAARDEN, K., SCHMITZ, W. (1974): Eine automatische Warnanlage zum Nachweis von Giften in akut toxischen Konzentrationen durch Fische.- gwf/Wasser-Abwasser, Jg.115, H.11, 501-503.
- (1974): Warntests zum Nachweis akut toxischer Konzentrationen von Wasserinhaltsstoffen.- Arch.Hydrobiologie, Bd. 74, H. 4, 551-565.
- BESCH, W.K., KEMBALL, A., MEYER-WAARDEN, K., SCHARF, B. (1977): A Biological Monitoring System Employing Rheotaxis of Fish.- American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Spec.Techn.Publ. 607, 56-74.
- BESCH, W.K., SCHREIBER, I., HERBST, D. (1977): Der Hydro-psyche-Toxizitätstest, erprobt an Fenethcarb.- Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, Vol.39, 69-85.
- BURKHARD, W., SCHARF, W. (1979): A fish test alarm device for the continual recording of acute toxic substances in water. - Arch.Hydrobiol., Bd.85, H.2, 250-256.
- GELLER, W., MÄCKLE, H. (1976): Über ein automatisches Biotestsystem zur Wasserüberwachung auf toxische Stoffe.- Vortrag, gehalten auf der Tagung deutschsprachiger Limnologen der IVL vom 4.-9.Oktober in Innsbruck.

- HALSBAND, E., HALSBAND, I. (1954): Untersuchungen über die Störungsschwellen im Stoffwechsel der Fische und Fischnährtiere nach Einwirkung verschiedener Abwasser"gifte".- Archiv für Fischereiwissenschaft, Bd. 5, 119-132.
- HALSBAND, E., MEYER-WAARDEN, P.F. (1962): Entwicklung eines elektrobiologischen Tests zur Bestimmung der Abwasserlast von Flüssen.- Archiv für Fischereiwissenschaft, 13. Jg., H.3, 139-141.
- JUHNKE, I., BESCH, W.K. (1971): Eine neue Testmethode zur Früherkennung akut toxischer Inhaltsstoffe im Wasser.- Gewässer und Abwasser, H.50/51, 107-114.
- NOVAK, A.J., BERRY, D.F., WALTERS, B.S., PASSINO, D.R. (1982): A New Continuous - Flow Bioassay Technique for Small Crustaceans.- Bull. Environm. Contam.Toxicol.29,253-260.
- PETRY, H. (1976): Versuche zur meßtechnischen Erfassung von Fischgiften.- Fisch und Umwelt, G.Fischer Vlg., Stuttgart, H.2, 175-181.
- PETRY, H. (1975): Motilitätsmessungen an Forellen mit Hilfe induzierter Spannungen im Hinblick auf eine kontinuierliche Gewässerkontrolle.- Tierärztliche Praxis, Hans Marseille Verlag, München, 3, 93-98.

Anschrift des Verfassers: Ob.Koär Dr. Wolfgang RODINGER, Bundesanstalt für Wassergüte, Schiffmühlenstraße 120, A-1223 Wien.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Wasser und Abwasser](#)

Jahr/Year: 1984

Band/Volume: [1984](#)

Autor(en)/Author(s): Rodinger W.

Artikel/Article: [Automatisierung in der Gewässergütemessung 135-169](#)