

**DER LANGSAM-SANDFILTER – EIN EXTREMBIOTOP**

M. NOLL

*Abstract*

The effect of purification by slow sand filters consists mainly of biological degradation. The non-bacterial growth of the surface is influenced by various environmental effects. This is shown by study of the biocoenoses of slow sand filters under different conditions. Three biocides: Lindane, Diuron and Dimethoate are added to water in subtoxic concentrations. This experiment shows the sensitivity of the biocoenoses of slow sand filters.

Die Langsamsandfiltration ist ein Verfahren zur Reinigung von Oberflächenwasser, bei dem das Wasser mit einer Geschwindigkeit von 0,1 – 0,2 m/h versickert, d.h. es werden höchstens 7 m/Tag, in der Regel 2,5 – 5 m durchgesetzt. Aufgrund der langsamen Fließgeschwindigkeit können intensive biologische Abbauvorgänge stattfinden. An der Oberfläche und in den oberen Zentimetern ist die stärkste Ablagerung von organischer Substanz und damit die dichteste Besiedlung mit Organismen zu finden. Dient die Langsamsandfiltration der künstlichen Anreicherung von Grundwasser, schneiden die Filterbecken den Grundwasserleiter an (Abb. 1). Den Übergang zwischen Becken und Boden bildet bei grobporigem Untergrund eine Stüttschicht aus Kies, während der eigentliche Filterkörper von 0,7-1 m Stärke aus Sand von 0,5-1 mm Korngröße besteht. Unbehandeltes oder vorfiltriertes Flußwasser wird im vorliegenden Fall über eine Belüftungskaskade auf die Filteroberfläche geleitet und zur Versickerung gebracht.

Außer physikalischen und chemischen Untersuchungen wurden schon früh biologische Untersuchungen am Langsamsandfilter durchgeführt. Es sind die Arbeiten von Stromeyer (1897) und von Kemna (1899) zu nennen. Sie beschäftigen sich weitgehend mit der Besiedlung der sog. „Schmutzdecke“, der man lange Zeit eine entscheidende Wirkung bei der biologischen Selbstreinigung zuschrieb. Die zunehmende Kenntnis der Selbstreinigung im allgemeinen und verfeinerte Methoden chemischer und mikrobiologischer Bestimmungen brachten aber eine Revision dieser Ansichten:

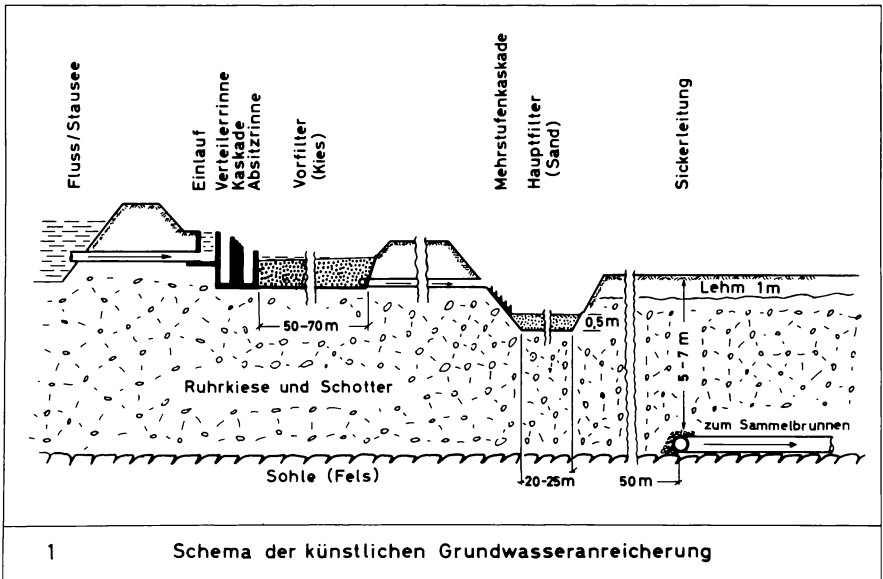
Die Sauerstoffproduktion der Algen über der Filteroberfläche kann nur unter günstigen Bedingungen als echter Gewinn angesehen werden und die ursprüngliche Vorstellung, hiermit könne auch die Keimeliminierung erklärt werden, war schon zu Beginn dieses Jahrhunderts als nicht mehr haltbar angesehen worden.

Heute weiß man, daß die entscheidenden Abbauvorgänge bis zu 15 cm unterhalb der Sandoberfläche stattfinden und daß selbst in größerer Tiefe bei etwa 40 – 60 cm noch einmal höhere Keimzahlen zu beobachten sind. Nach Unter-

suchungen von Schmidt (1966) ist in der oberen aktiven Schicht eine Anreicherung von thermophilen und polytrophen Keimen festzustellen, während ab 40 cm die psychrophilen und oligotrophen Keime vorherrschen. Es liegen im Gesamttraum verschiedene Organismengesellschaften vor, die jeweils auf ihre Weise an der Selbstreinigung beteiligt sind.

Die Ergebnisse von Schmidt über die Bakterienflora der Langsandsandfilter lassen sich sehr gut mit denen von Husmann (1966) über die Besiedlung der Langsandsandfilter mit Grundwasserorganismen vereinbaren: Mesosaprobe Grundwasserorganismen ergänzen mit zunehmender Tiefe die Bakterien in der Mineralisationstätigkeit, während in der Zone der oligosapoben und psychrophilen Grundwasserbakterien oligosaprobe echte Grundwassertiere dominieren.

Über die Funktion des Langsandsandfilters läßt sich heute folgendes Bild entwerfen: Außer einer Rückhaltung von Schwebestoffen an der Oberfläche und einer physikalischen Adsorption auch gelöster Wasserinhaltsstoffe bis hin zu Umweltchemikalien, wie Pestiziden und anderen, findet im Filterkörper ein biologischer Abbau statt. Dieser wird bewirkt durch saprotrophe Bakterien, die sich als biologischer Bewuchs auf den Sandkörnern und den darauf abgelagerten kleineren mineralischen und organischen Teilchen absetzen. Mit an den Reinigungsprozessen beteiligt sind protozoische und mit zunehmender Tiefe die genannten metazoischen Grundwasserorganismen. Die so geschilderten, für die Reinigungsleistung verantwortlichen Biozönosen sind erwartungsgemäß weitgehend abhängig von den durch die Filteroberfläche auf sie einwirkenden Umweltbedingungen. So ist ein ausreichender Sauerstoffgehalt des infiltrierenden Wassers und eine nicht zu hohe organische Belastung entscheidend. Nur so sind



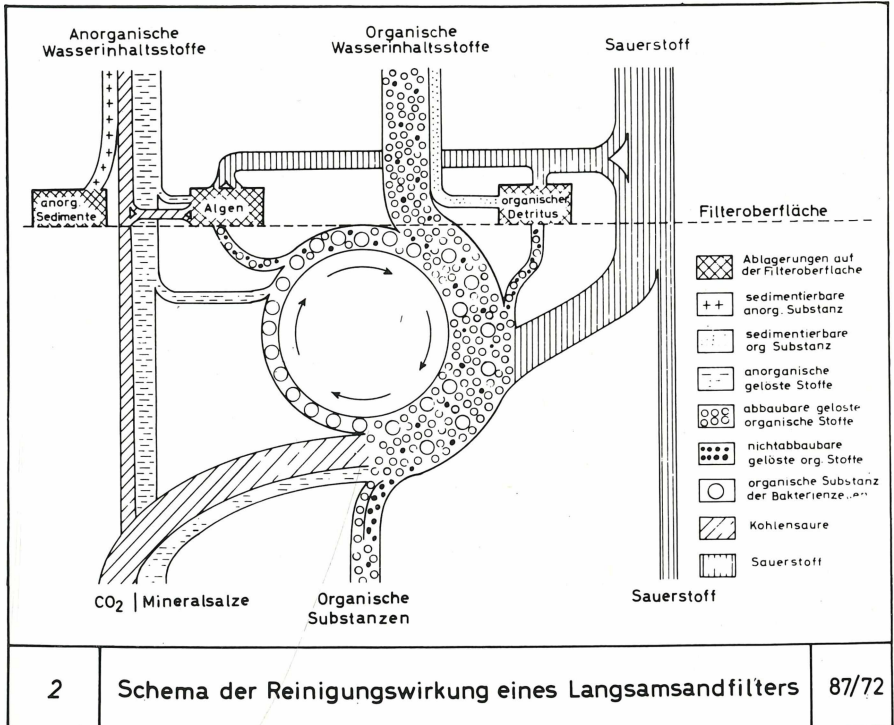
aerobe Abbauvorgänge bis zu mineralisierten Endprodukten und gelöstem Kohlendioxid möglich (Abb. 2).

Dieser Hintergrund und die Arbeiten von Strohmeier (1897), Kemna (1899) und Wautier (1949) der die Biologie der Filter zum ersten Mal unter ökologischem Aspekt untersuchte, konnten Grundlage und Vergleich sein für die Arbeiten, die im Institut für Wasserforschung der Dortmunder Stadtwerke AG. durchgeführt wurden. Es wurde die Besiedlung von Langsandsandfiltern verschiedener Betriebsweisen – überstaut, intermittierend – untersucht (Noll 1974).

Physikalische Bedingungen, wie Strömungsverlangsamung, eine leichte Strömung nach unten infolge der Versickerung und ein günstigeres Lichtangebot infolge der Sedimentation von Trübstoffen wirken einerseits bestimmend für die Besiedlung, andererseits aber werden ständig Nährstoffe zugeführt und Exkretstoffe abgeführt (Abb. 3).

Dies ist eine Tatsache, die Schmidt (1966) bei der Beschreibung des Langsandsandfilters als offenem biologischen System unter dem Gesichtspunkt der Eutrophierung herausgestellt hat.

Unter den von Wautier eingegrenzten Bedingungen bildet sich bei einem Überstau von 1 m, der über längere Zeit erhalten bleibt, ein Lebensraum aus, der dem eines Teiches entspricht. Sind die Becken sehr lang gestreckt (zwischen 400 und 1000 m), so kann bei Beschickung von einer Seite infolge des langsamen



Durchströmens des Wassers sogar eine meßbare Selbstreinigung an der Oberfläche stattfinden. Dies dokumentiert sich in einer sichtbaren Artenverschiebung (Noll 1972).

Unter den geschilderten Bedingungen bildet sich ein komplexes Gefüge von Lebensgemeinschaften aus: Das Freiwasser wird von einem echten Teichplankton besiedelt (Abb. 4). Hier wird der Produzentenanteil vom Herbst bis zum Frühjahr von Kieselalgen bestimmt (*Asterionella*, *Synedra*, *Fragilaria* sp.). Im Sommer dominieren je nach Reinheitsgrad protococcale Grünalgen (*Scenedesmus*, *Richteriella*, *Ankistrodesmus* spec.) oder Blaualgen (*Oscillatoria*, *Merismopedia*, *Microcystis*). Ist der pH-Wert niedrig, sind zu allen Jahreszeiten Geißelalgen, und zwar einzellige (*Peridinium*, *Cryptomonas* spec.) wie auch kolonienbildende (*Synura*, *Dinobryon*) anzutreffen. Die gesamten photoautotrophen Organismen spielen je nach ihrer Dominanz eine Rolle für die Ernährung der tierischen Planktonfresser.

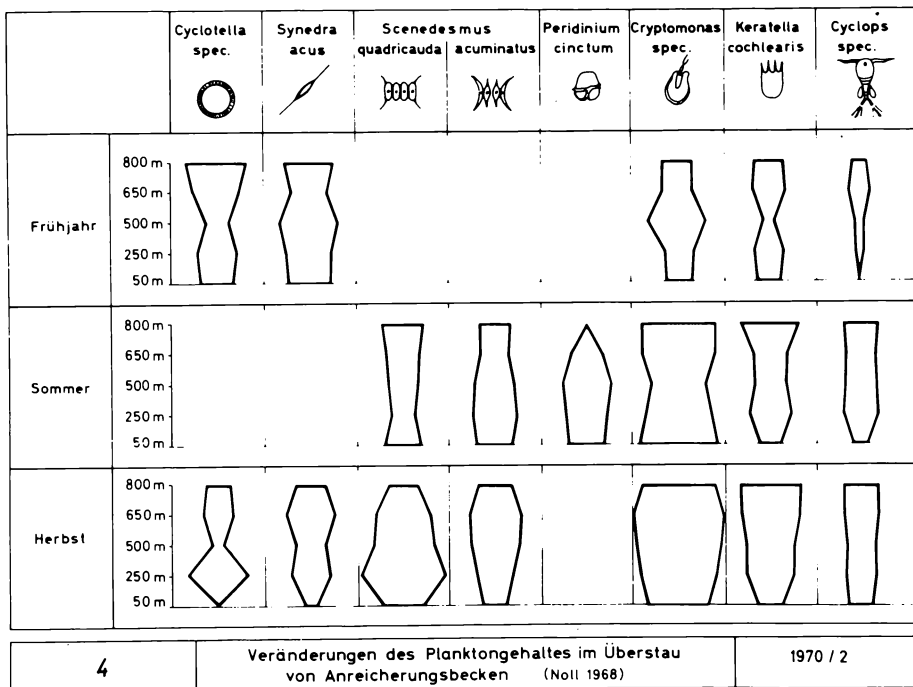
Der überstaute Langsamsandfilter enthält also trotz der erwähnten Extrembedingungen noch sehr komplexe Biozosen, wobei lediglich mit abnehmender Überstauhöhe Formen, die dem Sog nach unten weniger aktiv entgegenwirken und auch nicht zur benthischen Lebensweise übergehen können, verschwinden. Damit entwickeln sich dann solche Organismen, die den Verhältnissen – Strahlung und Nahrungsangebot – besser angepaßt sind, massenhaft. In länger überstauten Becken können sogar empfindlichere Organismen, wie Köcherfliegenlarven, zur Entwicklung kommen.

Mit unterschiedlicher Betriebsweise (flacher kurzzeitiger Überstau mit Trockenphasen und im gleichphasigen Rhythmus intermittierender Überstau) ergeben sich nun zusätzliche Extremfaktoren (Abb. 3). Damit wird einerseits die Artenzahl eingeschränkt, andererseits werden einzelne Arten begünstigt. Die Kombination der Außenfaktoren kann je nach Betriebsweise hemmend oder fördernd wirken, so daß es theoretisch sogar möglich wäre, eine den Reinigungsvorgang fördernde Besiedlung zu begünstigen. Für die untersuchten Langsam-

| Faktor   | Langzeitüberstau   | Kurzzeitüberstau   | Intermittierend |
|--|--|--------------------|-----------------|
| Horizontalströmung   | kaum +   | stark ±            | wechselnd ±     |
| Vertikalströmung   | kaum +   | stark -            | stark -         |
| Feuchtigkeit   | immer +  | meist ±            | wechselnd -     |
| Temperatur   | ausgeglichen +   | stark schwankend - | extrem -        |
| Licht  | abhängig von Sichttiefe -                                | extrem gut +       | extrem gut +    |
| - = hemmende Faktoren      + = fördernde Faktoren      ± = weder fördernd noch hemmend |  |                    |                 |
| <b>3</b>   | <b>Abiotische Wirkfaktoren<br/>in Langsamsandfiltern</b> |                    |                 |

sandfilter spielt ein weiterer Faktor eine Rolle. Durch eine Vorfiltration wird die Menge der Schwebestoffe, die Zahl der Planktonorganismen aus dem Rohwasser herabgesetzt, so daß hier eine Sperre gegenüber den Besiedlern des Flußwassers besteht. Zwei wichtige Faktoren allerdings sind die Strömung und die Strahlungswirkungen. Bei dem nur geringen Überstau sind sowohl der Sog nach unten als auch eine horizontale Strömung auffallend. Damit werden eine Reihe planktischer Formen negativ beeinträchtigt und verschwinden. Copepoden und litorale Rädertiere überstehen den Sogeinfluß. Genauso gravierend wirkt sich die Strahlung aus. Bei kurzzeitigem flachen Überstau werden kurzweilige Strahlen so gut wie nicht absorbiert. Damit sind jene Formen im Vorteil, die dem gegenüber tolerant sind. Nicht auszuschließen ist für solche Organismen auch die Vertikalwanderung in den Sand hinein. Darauf verweisen Einzelbeobachtungen, und auch Vergleiche aus der Biologie des Watts können in diesem Zusammenhang interessant sein. Unbedingt als weiterer Extremfaktor zu berücksichtigen ist die unter Umständen sehr starke Erwärmung innerhalb eines Strahlungstages. Durch den kurzzeitigen Überstau ist die Lebensdauer der Besiedler eingeschränkt. Es dominieren letzten Endes litorale und benthische Organismen, die auf Trockenlegung entweder mit erfolgreicher Rückzugsbewegung in den noch feuchten Sand oder mit der Entwicklung von Dauerstadien reagieren, die schnell wieder aktiv werden können.

Die Besiedlung der intermittierend betriebenen Becken besteht aus Blaualgen



(Hormogonales), benthischen Kieselalgen, *Scenedesmus* sp., die im Sommer stark dominieren sowie Ulotrichales, litoral gebundenen Rädertieren, Copepoden, Nematoden und Olygochaeten. Für den Winter sind noch die Wimpertiere zu nennen.

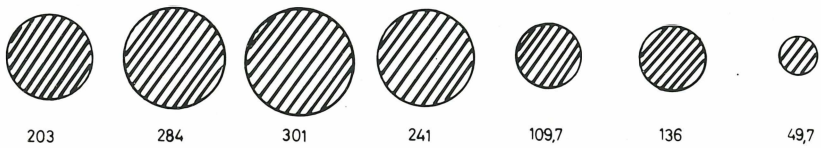
Die Empfindlichkeit eines solchen Systems zeigt die Dosierung von drei Bioziden innerhalb eines halben Jahres auf einer Versuchsanlage. Konzentrationen, die im stehenden System subtoxisch wirkten, genügten im Fall von Lindan (0,1 ppm), Diuron (0,05 ppm) und auch Dimethoat (0,15 ppm), die Besiedlung zu verändern. So stellte sich auf dem mit Diuron behandelten Becken auch im Sommer sehr bald eine Dominanz von benthischen Kieselalgen, besonders *Navicula* und *Nitzschia* spec., ein. Hervorzuheben ist dabei die starke Verstopfung der Filteroberfläche durch Massentwicklung der Kieselalgen. Während in dem Lindan-dosierten Becken, wo Arthropoden weitgehend fehlten und damit die Konsumententätigkeit auf Filtrierer eingeschränkt war, außer den genannten Organismen auch noch Grünalgen zu hohen Abundanzen kamen. Dies kann allerdings auf mechanische Effekte zurückzuführen sein. Die Störung der Konsumenten-Produzenten-Beziehung wird besonders deutlich im Verhältnis von Geißelalgen und Copepoden unter dem Einfluß einer Lindan-Dosierung. Das Fehlen der Konsumenten wirkte sich in starken Spitzen der Populationskurve bei *Cryptomonas* bzw. bei *Chlamydomonas* aus.

Bedenkt man, daß kleine begeißelte Algenformen besonders tief in den Filterkörper eindringen können und damit möglicherweise Betriebsstörungen auslösen, so ist diese Entwicklung nicht uninteressant. Einen besonders auffallenden Einfluß auf die Algenbesiedlung von Filterbecken haben Zuckmückenlarven, wobei ihr Fehlen zu interessanten Veränderungen führt. Larven der Gattung *Trissockladius* besiedeln im Sommer in großen Massen die Becken mit flachem Überstau. Bei ihrem Fehlen infolge Pestizideinwirkung ergab sich im Vergleich zum Kontrollbecken ein auch optisch auffallender Unterschied in der Algenbesiedlung. Im behandelten Becken konnten sich im Herbst sehr viel besser als üblich Kieselalgen, vor allem *Melosira*, durchsetzen. Dies war besonders an der braunen Farbe sichtbar, während in dem unbehandelten Becken nur die „mückenharten“ Grünalgen überstanden. Diese Tendenz ist nicht unbedenklich, da wiederum fetthaltige Kieselalgen besonders gut lipophile Wirkstoffe speichern und beim Absterben wieder freisetzen. Daneben ist aber auch ein gewisser Austrag an Wirkstoffen durch die Emergenz der Kieselalgen-fressenden Insektenlarven denkbar.

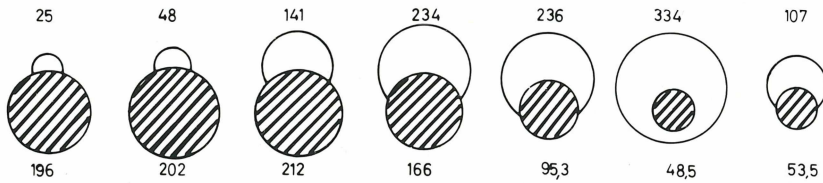
Die Einzelwirkung der Chironomiden besteht in einer Abweidung des Algenmaterials, wobei offenbar vorwiegend die Kieselalgen verdaut werden. Versuche zeigten, daß *Scenedesmus* aus dem Kot von Zuckmückenlarven zu isolieren sind und in Kultur sofort weiterwachsen. Eine Beeinflussung besteht lediglich in der starken mechanischen Zusammenballung der noch lebensfähigen Zellen. Der Durchsatz geschieht sehr schnell, unter experimentellen Bedingungen wurde in 20 Minuten eine vollständige Darmpassage beobachtet. Selbst wenn dies nicht mit den natürlichen Bedingungen vergleichbar sein sollte, ist die Größenordnung der Wirkung vorstellbar und läßt sich auch durch die Gegenüberstellung von Algenwachstum und Zahl der Larven belegen (Abb. 5).

Eine nur einmalige kontinuierliche Messung zeigte die Rückwirkungen auf

### Becken L (Lindan)



### Becken K (Kontrolle)

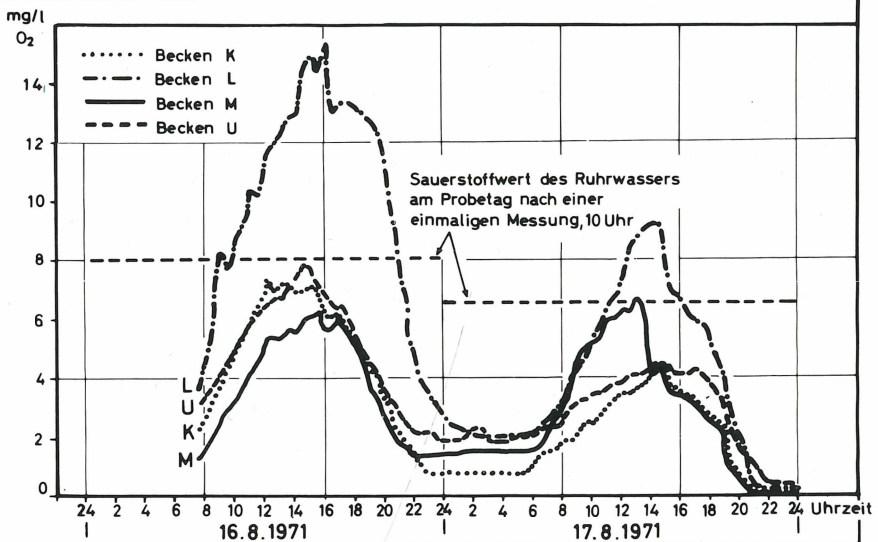


8.6.71      29.6.71      27.7.71      25.8.71      21.9.71      19.10.71      11.11.71

○ = Zahl der Zuckmückenlarven auf 1 dm<sup>2</sup>      ● = Gehalt an Chlorophyll a in µg/cm<sup>2</sup>

5

Hemmung des Algenwachstums auf Langsandsandfiltern durch Freßtätigkeit von Zuckmückenlarven



6

Kontinuierliche Sauerstoffmessung im Lysimeter-Versuch

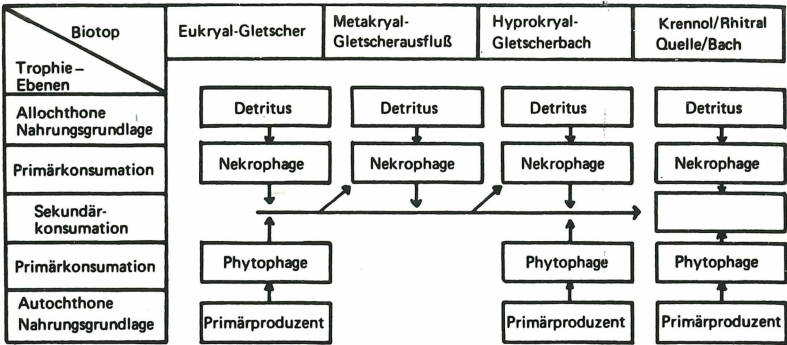
den Sauerstoffeintrag (Abb. 6). Dabei ist allerdings auch die sehr starke Atmung zu berücksichtigen, die aus einer Massenentwicklung resultiert. Fraglich erscheint, ob der biogene Sauerstoffeintrag ein echter Vorteil ist, wobei die Schwierigkeiten beim Absterben großer Algenmassen nicht berücksichtigt sind.

An dem Beispiel überstauter bzw. intermittierender Langsamsandfilter zeigt sich die Problematik jeglicher Umweltbeeinflussung, die sowohl unter der Fragestellung der Umweltverschmutzung als auch der gezielten Algenbekämpfung interessant ist. Bei der eingeschränkten Artenzahl auf einem solchen Langsamsandfilter hat der Ausfall eines Gliedes der Biozönose unweigerlich Rückwirkungen auf den Gesamtstoffwechsel und damit auf die Reinigungsleistung.

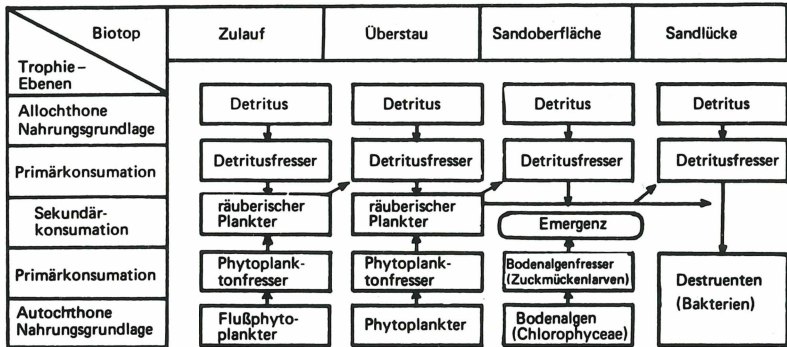
Wesentlich extremer werden diese Bedingungen auf dem intermittierend betriebenen Langsamsandfilter: Hier fällt die Oberfläche im Tagesrhythmus trocken bzw. sie wird überstaut, und damit wirkt der Austrocknungs- und Erwärmungsfaktor besonders. Es werden dadurch gewachsene Algenbeläge ausgetrocknet und reißen auf, so daß die Filteroberfläche wieder durchgängig wird. An intensiven Strahlungstagen wird die Erwärmung des Sandes verstärkt, d.h. die Organismen müssen noch stärker an die wechselnden Bedingungen angepaßt sein oder aber besser in noch feuchte Regionen abwandern können. Es vollzieht sich unter diesen Bedingungen ein deutlich sichtbarer Übergang vom limnischen zum Grenzbiotop Land/Wasser. An die Stelle der hier nicht mehr existenzfähigen Zuckmückenlarven kann keine andere Art treten. Man findet Enchytraeiden, die von dem erst abgestorbenen Material leben und sich vor Trockenheit in große Tiefen zurückziehen können. Unter den Rädertieren verbleiben solche Formen, die auch aus der Bodenfauna bekannt sind. Die eintönige autotrophe Besiedlung besteht aus Blaualgen der Gattung *Phormidium* und *Hormidium* spec. als Grünalge, die beide auch als Bodenalgen bekannt sind. *Phormidium* kann nicht nur sehr stark austrocknen, sondern auch aktiv in den Sand kriechen. Unter den Kieselalgen findet man ebenfalls besonders Bodenformen. Aus dem Organismenbestand resultiert, daß lediglich einfache Nahrungsbeziehungen bestehen.

Der Vorteil der intermittierenden Methode ist technischer Art. Die Filteroberfläche verdichtet weniger stark, der Sandkörper zieht beim Trockenlegen Luft und macht eine intensive physikalische Belüftung möglich. Die Wirkung von Schadstoffen auf die Biozönose konnte aus methodischen Gründen nur orientierend untersucht werden. Die verbleibenden Formen scheinen zumindest gegenüber den gewählten Bioziden weniger empfindlich zu sein, was anhand bekannter Einzeldaten zu erwarten war. Dies schließt aber eine erhöhte Anfälligkeit der Extrembiozönose nicht aus, wenn es um andere Biozide geht. Der bakterielle Bewuchs der Tiefe dagegen bleibt von den Bedingungen weniger beeinflußt.

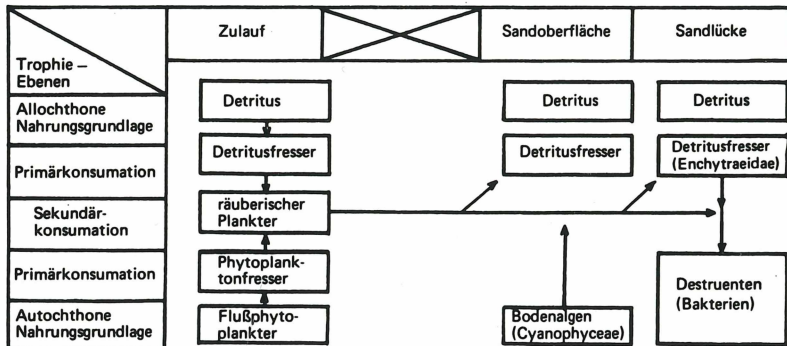
Es zeigt sich, daß der Langsamsandfilter als Extrembiotop von mannigfaltigen Einflüssen vor allem auf die Biozönose der Filteroberfläche abhängig ist, was Rückwirkungen auf ihre biozönotische Verknüpfung aber auch die Besiedler der anderen biologisch aktiven Schichten haben kann (Abb. 7). Es ist deshalb bei der technischen Anwendung der verschiedenen Filterverfahren durchaus nützlich, die ökologischen Zusammenhänge zu berücksichtigen.



Gletscherbach (nach Steffan 1971) verändert



Überstauter Langsandsfilter



Intermittierender Langsandsfilter

## Literatur

- Husmann, S. (1966): Die Organismengemeinschaften der Sandlückensysteme in natürlichen Biotopen und Langsandsandfiltern. *Veröff. der Hydrol. Forschungsabt. der Dortmund. Stadtw. AG* 9: 93–113.
- Kemna, A. (1899): La biologie du filtrage au sable. Vortrag.
- Noll, M. (1972): Besiedlungsfolgen in fließwasser-beschickten Grundwasser-Anreicherungsbecken. *Arch. Hydrobiol.* 70: 355–378.
- Noll, M. (1974): Die Besiedlung von Langsandsandfiltern und ihre Beeinflussung durch Pestizide. *Veröff. des Inst. für Wasserforschung und der Dortmund. Stadtwerke AG.* 19.
- Schmidt, K.H. (1966): Der Langsandsandfilter als offenes biologisches System. *Veröff. der Hydrol. Forschungsabt. der Dortmund. Stadtwerke AG.* 9: 85–92.
- Strohmeyer, O. (1897): Die Algenflora des Hamburger Wasserwerkes. Leipzig.
- Wautier, J. (1949): Biologie des filtres a sable submergé. *Verb. Internat. Verein theor. angew. Limnol.* X: 515–518.

### Anschrift des Verfassers:

Dr. Manfred Noll, PH Ruhr Dortmund, Lehrbereich Biologie, Emil-Figge-Straße 4600 Dortmund 50.