

Wilhelm Foissner

Mikroorganismen in extremen Lebensräumen

Protozoen im Belebtschlamm

Mikroaerobier und Bioindikatoren

In den Industriestaaten verbraucht jeder Einwohner durchschnittlich 200 Liter Wasser pro Tag; ein hoher Wert, der sich aus dem häuslichen (z. B. Trink- und Badewasser) und dem gewerblichen (z. B. Erzeugung von Lebensmitteln und Papier) Verbrauch zusammensetzt. Diese 200 Liter werden, unabhängig von der zwischenzeitlichen Nutzung, schließlich zu Abwasser, das heißt zu Wasser, das für den menschlichen Genuß und Gebrauch nicht mehr geeignet ist. Um das Abwasser wieder zu Nutzwasser zu regenerieren, gibt es natürliche Vorgänge (z. B. Selbstreinigung in Bächen und Flüssen) und technische Methoden (z. B. Klärbecken mit künstlicher Sauerstoffzufuhr). Im folgenden wird über das Belebtschlammverfahren berichtet, bei dem die Protozoen eine wichtige Rolle spielen und in mancher Hinsicht extremen Umweltbedingungen ausgesetzt sind.

Man kann zwei Typen von Abwasser unterscheiden: solches, das vorwiegend anorganisches Material (z. B. Schleifstaub), und solches, das vorwiegend organisches Material enthält (z. B. menschliche und tierische Körperausscheidungen); nur von letzterem soll hier die Rede sein. Die Reinigung organisch verschmutzter Abwässer ist verhältnismäßig leicht und geschieht in betriebseigenen oder kommunalen Klärwerken (Abbildung 1).

Frisches Abwasser enthält meist nur zufällig (z. B. aus der Luft) eingebrachte und vergleichsweise wenige Protozoen, aber sehr viele Bakterien. Bakterien haben keine Möglichkeit, partikuläre Nahrung aufzunehmen; statt dessen haben sie an der Oberfläche Enzyme, welche die organischen Materialien des Abwassers aufschließen. Diese „vorverdaute“ Nahrung kann dann über die Zelloberfläche aufgenommen werden. Je mehr solcher organischer Stoffe im Abwasser sind, desto bessere Lebensbedingungen finden diese winzigen Organismen. Führt man genügend Sauerstoff zu, dann vermehren sie sich so rasch, daß innerhalb weniger Tage gut 90 Prozent der organischen Stoffe, die im Abwasser sind, aufgebraucht werden. Aus dem Abwasser sind auf diese Weise – bildlich gesprochen – Milliarden winziger Organismen entstanden, die zum Teil von einzelligen Tieren gefressen werden; es entwickelt sich also eine kurze Nahrungskette. Diese Myriaden von Organismen bilden eine flockige Masse, die „Belebtschlamm“ genannt wird (Abbildung 2).

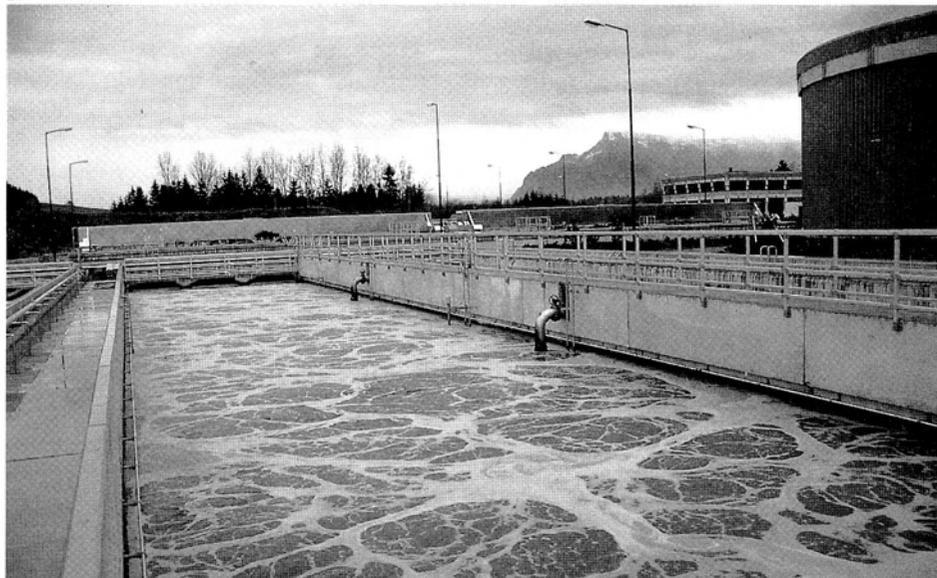
Eine Kläranlage, die nach dem Belebtschlammverfahren arbeitet, ist also ein hochproduktives System, in dem viele zuerst mehr oder weniger schädliche Stoffe in harmlose Endprodukte umgewandelt werden (Schwermetalle und persistente organische Verbindungen

ausgenommen), nämlich in bakterieller und tierische Biomasse.

Der Belebtschlamm als Extrembiotop

Die Artenvielfalt im Belebtschlamm ist gering; selten findet man trotz des reichlichen Bakterienangebotes mehr als 20 Protozoenspecies und meist nur 2–3 Arten von Vielzellern. Das zeigt, daß es sich um einen extremen Lebensraum handelt, der aber keine spezifische Biozönose mit Charakterarten besitzt. Vielmehr ist die Tiergemeinschaft ein Teil jener Biozönose, die man aus stark verschmutzten (alphamesosaprobien) Fließgewässern (Vorflutern) kennt. So wie diese hat der Belebtschlamm eine hohe Konzentration von Schmutzstoffen, einen niedrigen Sauerstoffgehalt (normalerweise 1–2 mg/l) und ein reichliches, aber einseitiges Nahrungsangebot (vorwiegend Bakterien). Hinzu kommen eine meist starke Turbulenz (der Belebtschlamm muß ständig umgewälzt werden, damit die Destruenten möglichst gleichmäßig mit Sauerstoff versorgt werden) und die oft kurze (1–30 Tage) Aufenthaltszeit des Schlammes im Klärbecken, die für die Ausbildung einer vollständigen Nahrungskette in der Regel nicht ausreicht.

Abb. 1. Belebungsbecken einer gestörten kommunalen Kläranlage. Der Schlamm schwimmt auf und schäumt (Aufnahme: H. Augustin, Salzburg).



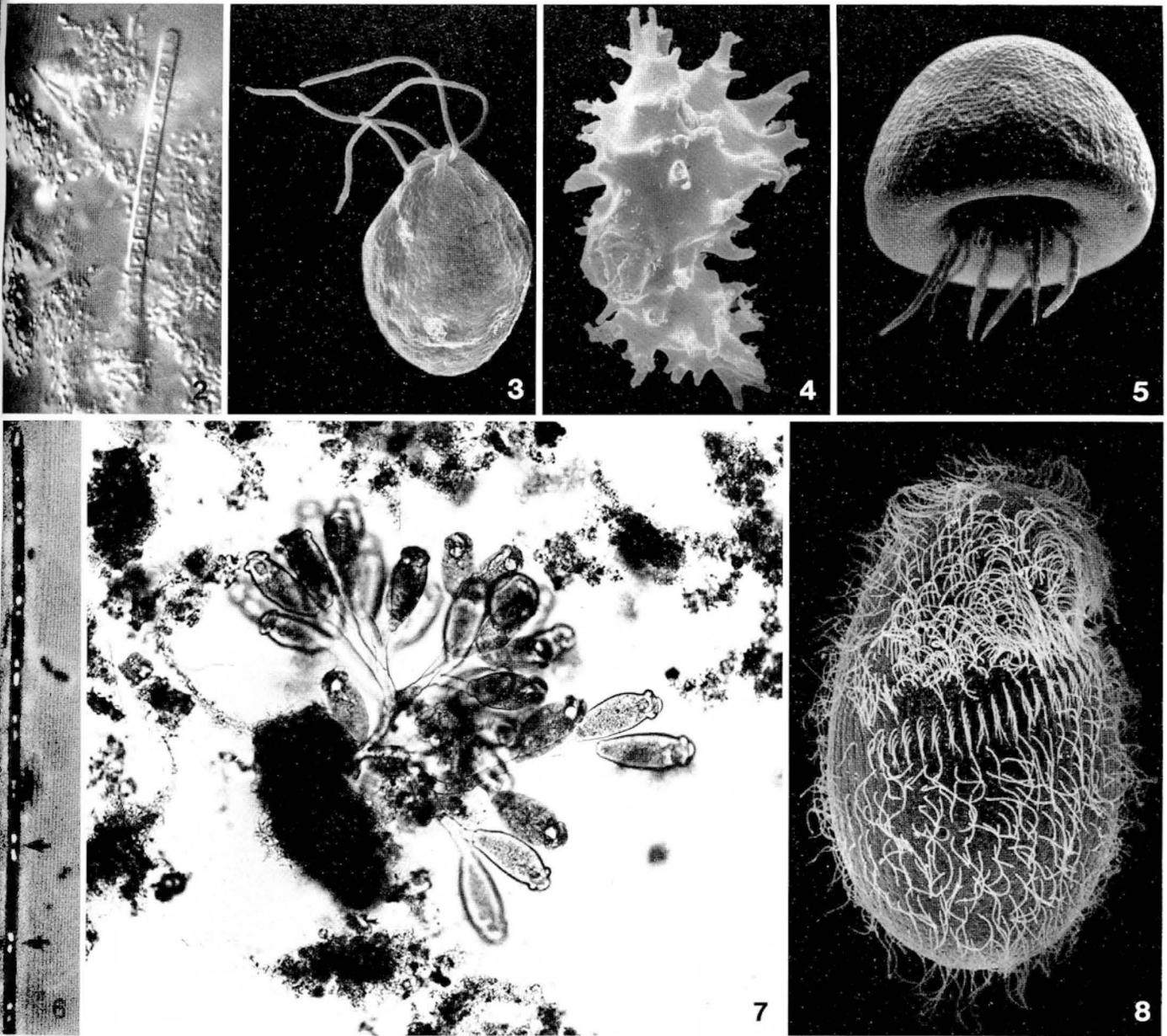


Abb. 2. Belebtschlammflocke mit vielen kleinen und einigen fadenförmigen Bakterien. Die kleinen kokkalen und stäbchenförmigen Bakterien werden durch eine schleimige Matrix zusammengehalten.

Abb. 3, 4. Größere Mengen von Geißeltierchen (Länge 10 µm) und nackten Amöben (Länge 50 µm) sind typisch für jungen, noch nicht eingearbeiteten Belebtschlamm. Häufiges oder massenhaftes Vorkommen in älterem Schlamm indiziert schlechte Belüftung, Überbelastung und/oder schwer abbaubare Abwässer.

Abb. 5. Die Testaceen (*Arcella* sp., Durchmesser 60 µm) umschließen ihren formveränderlichen Körper mit einer zierlichen Schale, aus der nur die Pseudopodien herausragen. Gehäuftes Vorkommen von beschalteten Amöben indiziert hohes Schlammalter und/oder Unterbelastung des Belebtschlammes, das heißt die Konzentration von abbaubaren organischen Stoffen im Belebungsbecken ist zu gering.

Abb. 6. Ein fadenförmiges Schwefelbakterium. Die Schwefelkügelchen leuchten im Phasenkontrast hell auf (Pfeile). Das Vorkommen von Schwefelbakterien indiziert angefaultes Abwasser und/oder anaerobe Zonen im Belebungsbecken, das heißt

schlechte hydraulische Verhältnisse (z. B. zu geringe Turbulenz).

Abb. 7. Eine große Kolonie des peritrichen Wimpertierchens *Epistylis entzii* (Länge der Zooide etwa 120 µm), festgeheftet auf einer kompakten Belebtschlammflocke. Reichliches Vorkommen von peritrichen Ciliaten indiziert meist eine gute Qualität des Belebtschlammes.

Abb. 8. Das polysaprobe Wimpertierchen *Colpidium colpoda* (Länge 75 µm) indiziert bei häufigem Vorkommen überbelasteten Schlamm, das heißt die Konzentration von abbaubaren organischen Stoffen im Belebungsbecken ist zu hoch.

Drei Millionen Protozoen in einem Milliliter Belebtschlamm

Die organische Substanz des Belebtschlammes besteht zu 96 Prozent aus prokaryotischer (Bakterien, Abbildung 2) und zu 4 Prozent aus eukaryotischer Biomasse (überwiegend Protozoen, Abbildungen 3–5, 7, 8) [1]. Wir fanden in einem Milliliter Belebtschlamm im Jahresdurchschnitt zwei Millionen Flagellaten (Abbildung 3), 340 000 Nacktamoeben (Abbildung 4), 53 000 Ciliaten (Abbildungen 7, 8) und 1,3 Millionen unidentifizierbare, globuläre Organismen (Cysten?). Vielzeller (Metazoen) spielen im Belebtschlamm eine untergeordnete Rolle, meist findet man weniger als 2000/ml (vorwiegend Rädertiere); sie haben wegen des extremen Milieus und der kurzen durchschnittlichen Aufenthaltszeit (Schlammalter je nach System 1–30 Tage) des Schlammes im Klärbecken nur geringe Entwicklungsmöglichkeiten.

Die Rolle der Protozoen bei der Abwasserreinigung

Der eigentliche Abbau (Mineralisation) der Schmutzstoffe erfolgt in den biologischen Kläranlagen vorwiegend durch Bakterien. Die Protozoen spielen dabei eine dreifache Rolle [2]:

- Die meisten Bakterien sind im Belebtschlamm zu kleinen (< 1 mm) Flocken zusammengeballt (Abbildungen 2, 7); diese kann man sedimentieren und als Klärschlamm einer weiteren Verwendung zuführen (siehe unten). Damit die Flocken gut sedimentieren, müssen die aus ihrer Oberfläche herauswachsenden Bakterien von den Protozoen abgeweidet werden. Wenn fadenförmige Bakterien wuchern und sich die Flocken schlecht absetzen, wird der Schlamm zum Blähschlamm und unter Umständen in den Vorfluter abgetrieben, wo er zu faulen beginnt und das Gewässer stark verschmutzt.

- Nicht alle Bakterien sind zu Flocken zusammengeballt; daher ist auch gereinigtes Abwasser trüb. Nur wenn genügend Einzeller vorhanden sind, welche die suspendierten Bakterien aus dem Abwasser filtern, ist das nach der Sedimentation der Flocken, die im Nachklärbecken erfolgt, in den Vorfluter eingeleitete, gereinigte Abwasser klar und ohne gravierende Auswirkungen auf die Gewässergüte.

- Die Fraßfähigkeit der Protozoen erhöht die Umsatzleistung des Systems durch Stimulation des Bakterienwachstums.

Protozoen als Indikatoren des Funktionszustandes des Belebungsbeckens

Mit dem „biologischen Gütebild des Belebtschlammes“ kann der Funktionszustand des Belebungsbeckens oft kostengünstiger und längerfristiger beurteilt werden als mit chemisch-physikalischen Analysen [1–6]. Einige Beispiele sind in den Legenden zu den Abbildungen 2–8 genannt. Leider ist dieses wichtige Gebiet noch recht ungenügend erforscht, und nur wenige Biologen nehmen die Chance wahr, hier wissenschaftliches Neuland zu erschließen und eine fachspezifische Anstellung zu finden.

Wohin mit dem Klärschlamm? Wiederverwerten statt deponieren!

Aus dem Abwasser entsteht in der biologischen Kläranlage also bakterielle und tierische Biomasse. Die zuwachsende Biomasse, der „Überschußschlamm“, muß kontinuierlich aus dem Belebungsbecken entnommen und entsorgt werden. Früher wurde dieses nährstoffreiche Material vorwiegend als Zusatzdünger in der Landwirtschaft verwendet. Dazu ist Voraussetzung, daß die Belastung des Schlammes mit Schwermetallen und anderen gefährlichen Stoffen sehr gering ist, da sie sich sonst allmählich im Boden anreichern. Leider ist das nur bei wenigen Klärwerken der Fall, weshalb heute viele Landwirte die Klärschlammdüngung ablehnen. Der Überschußschlamm wird daher zu Gas verarbeitet oder gemeinsam mit Hausmüll kompostiert und nach Möglichkeit als „Bodenverbesserungsmittel“ verkauft; oft wird er aber auch verbrannt, deponiert oder gar im Meer verklappt. Letztere „Entsorgungsmethoden“ bedürfen wohl keiner Diskussion. Es ist anzustreben, gefährliche und ungefährliche Abwässer getrennt zu sammeln und zu reinigen, eine Erkenntnis, die sich langsam durchzusetzen beginnt.

Dazu ein Beispiel: Wir haben in Österreich einen Großbetrieb (Biochemie Kundl), der vorwiegend Penicillin produziert. Dabei fallen 1400 m³/d Abwasser an, das überwiegend aus dem nährstoffreichen Kulturmedium für den Pilz besteht und daher keine über der Norm liegenden Konzentrationen gefährlicher Stoffe enthält. Das Abwasser wird in einer speziellen, von der Firma selbst entwickelten Belebungsanlage gereinigt, die so effektiv arbeitet, daß innerhalb von 24 Stunden 90 Prozent der organischen Last in bakterielle und protozo-

sche Biomasse umgewandelt wird. Dabei fallen täglich 25 Tonnen Schlammrockensubstanz an, bestehend aus 21 t bakterieller und 4 t protozoischer Biomasse [1]. Diese wird granuliert und ergibt einen hervorragenden natürlichen Dünger, der den strengen Anforderungen der staatlichen Düngemittelverordnung standhält. Auch das Mycel des Pilzes, der das Penicillin produziert, wird in einem speziellen Prozeß zu einem Spezialdünger (Biosol) verarbeitet. Auf diese Weise werden über 90 Prozent der bei der Produktion des Penicillin entstehenden organischen Abfälle recycelt und einer sinnvollen Verwendung zugeführt – ein beispielhafter Weg, der mit gutem Willen, viel Eigeninitiative und dem technischen Know-how, das heute zur Verfügung steht, sicher in vielen Fällen beschriftet werden kann.

Literatur

[1] E. Aesch, W. Foissner (1992) Biology of an activated sludge plant heavily loaded with organic wastes from a pharmaceutical industry (im Druck).

[2] C. R. Curds, A. H. Hawkes, eds. (1975) Ecological aspects of used water treatment. Vol. I: The organisms and their ecology. Academic Press, London.

[3] D. H. Eikelboom, H. J. J. van Buijsen (1983) Handbuch für die mikroskopische Schlammuntersuchung. F. Hirthammer, München.

[4] K. Hänel (1979) Systematik und Ökologie der farblosen Flagellaten des Abwassers. Arch. Protistenk. 121. 73–137.

[5] G. Martz (1981) Siedlungswasserbau. Teil 3: Klärtechnik. 2. Aufl., Werner-Ingenieur-Texte 19. 269 Seiten.

[6] K. Mudrack, S. Kunst (1988) Biologie der Abwasserreinigung. 2. Aufl., G. Fischer, Stuttgart.

Anschrift:

Prof. Dr. Wilhelm Foissner, Universität Salzburg, Institut für Zoologie, Hellbrunner Straße 34, A-5020 Salzburg, Österreich.