

## **12 MIKROSKOPISCHE SCHLAMMUNTERSUCHUNG**

---

### **12.1 Allgemeines**

Wird Abwasser belüftet, so bilden sich nach einiger Zeit - niedrige Schlammbelastung vorausgesetzt - spontan Flocken aus, die aus folgenden Komponenten bestehen:

- lebende Mikroorganismen (hauptsächlich Bakterien)
- tote Zellen
- nicht abgebaute, große organische Bruchstücke
- anorganische Anteile (z. B. Sand)

Belebtschlammflocken sind mikroskopisch kleine Partikel (Größe:  $\mu\text{m}$  Bereich). Im Gegensatz dazu gibt es makroskopisch sichtbare Schlammflocken (Größe: mm Bereich), die sich im Absetzzyylinder beobachten lassen.

Am Entstehungsprozess der Flocken sind eine Reihe von Faktoren beteiligt:

- viele Bakterien bilden Schleimkapseln. Mit Hilfe dieses, bevorzugt aus organischen, polymeren Substanzen bestehenden Schleimes, werden die Zellen untereinander verbunden.
- Bakterien tragen eine negative Ladung. Positiv geladene Ionen können zu einer Verbindung der negativ geladenen Zellen beitragen.
- Einige Bakterien bilden an der Oberfläche ein Netzwerk von extrem dünnen Fäden aus. Diese bevorzugt aus Zellulose oder anderen Polysacchariden zusammengesetzten Fadengeflechte können die Zellen untereinander verbinden, bzw. kann es zum Einfangen anderer Bakterienzellen kommen.

Bei der biologischen Abwasserreinigung werden die in der Natur vorkommenden, äußerst vielfältigen, mikrobiellen Stoffumsetzungen und biologischen Wechselwirkungen der Organismen (sog. Selbstreinigung der Gewässer) durch Schaffung eines geeigneten Umfeldes technisch genutzt. Nur gelöste, nicht polymere Moleküle gelangen in das Zellinnere der Bakterien. Alle nicht gelösten Substanzen werden außerhalb der Zelle enzymatisch in kleinere Bestandteile zerlegt. Abwasserinhaltsstoffe werden zuerst adsorbiert, dann remineralisiert.

Den Hauptanteil des Abbaues führen bevorzugt Bakterien (Allrounder, Spezialisten) und in geringerem Maße niedere Pilze durch.

Bakterien sind einzellige Lebewesen, die, ebenso wie die Blaualgen (Cyanobakterien), keinen echten Zellkern besitzen (Prokaryonten). Die strukturelle Gliederung der Zelle ist weniger

**MIKROSKOPISCHE SCHLAMMUNTERSUCHUNG / 12-2**

ausgeprägt und die Zellwand ist biochemisch anders aufgebaut als bei Organismen mit echtem Zellkern (Eukaryonten).

Abbildung 12-1 zeigt ein schematisches Längsschnittbild einer Bakterienzelle und die Typen der intracytoplasmatischen Membranstrukturen.

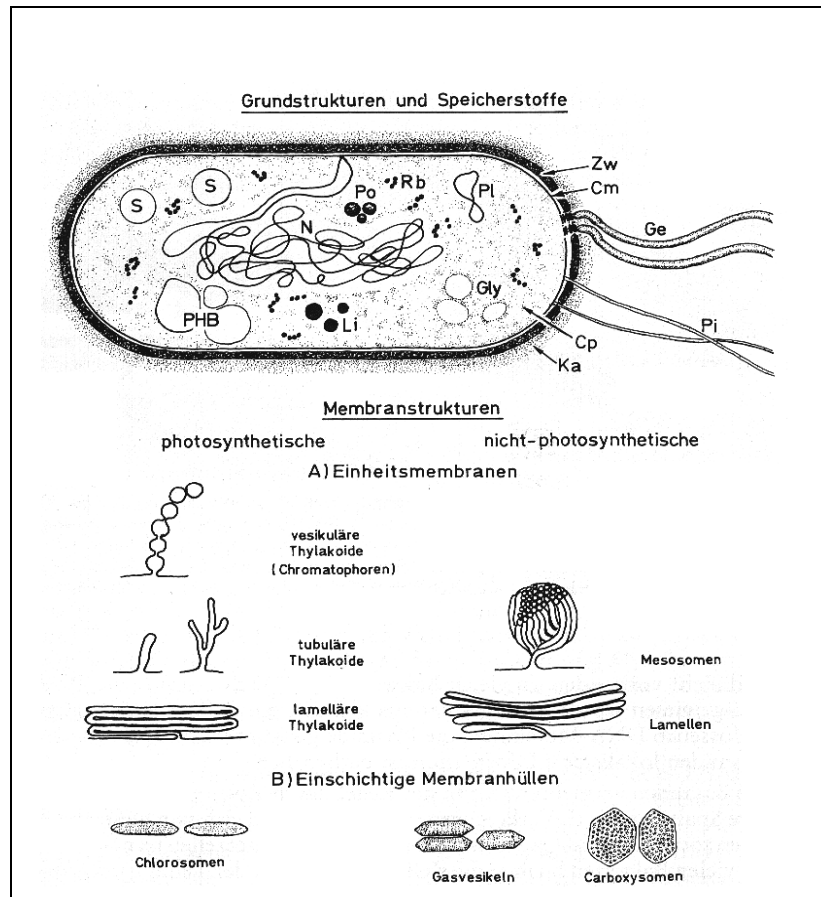


Abb. 12-1: Schematisches Längsschnittbild einer Bakterienzelle und die Typen der intracytoplasmatischen Membranstrukturen. Cm=Cytoplasmamembran, Cp=Cytoplasma, Ge=Geißel, Gly=Glykogengranula, Ka=Kapsel, Li=Lipidtropfen, N=Nucleus oder Kern PHB=Poly-β-hydroxybuttersäure, Pi=Pili, Pl=Plasmid, Po=Polyphosphatgranula, Rb=Ribosomen und Polysomen, S=Schwefeleinschlüsse, Zw=Zellwand (Quelle: SCHLEGEL, 1981, modifiziert)

Der Gestalt nach lassen sich, abgesehen von wenigen Ausnahmen, die Bakterien von der Kugel und dem Zylinder ableiten und bilden als Grundform Kokken (Kugeln) sowie gerade und gekrümmte Stäbchen, letztere werden als Vibrionen (Vibrioforme) bezeichnet. Spirillen und Spirochaeten haben die Form einer Schraubenlinie (Wendel).

Die Vermehrung der Bakterien erfolgt primär durch Zweiteilung und kann, je nach Art, nach einigen Minuten oder erst nach Tagen (abhängig von Temperatur, Substratkonzentration, etc.) erfolgen. Die bei Nitrifikationsprozessen beteiligten, ammoniumoxidierenden *Nitrosomonas*

sp., können z. B., je nach Temperatur und Schlammalter, Wachstumsraten von etwa 12 bis 83 Stunden aufweisen (MUDRACK und KUNST 1994).

Die Bakterien leben in der Flocke. Durch Vermehrungstätigkeit wächst diese am Rand weiter. Der stetige Baktrienzuwachs wird durch Primärkonsumenten, welche die Bakterien am Flockenrand fressen, ausbalanciert. Diese „Bakterienfresser“ sind hauptsächlich Einzeller (der Relevanz nach gegliedert in Wimpertierchen = Ciliaten, Geißeltierchen = Flagellaten und Wechseltierchen = Amöben) und in geringerem Ausmaß kleine Mehrzeller (speziell Rädertierchen = Rotatorien und Fadenwürmer = Nematoden).

Primärkonsumenten werden unterteilt in:

- Filtrierer: freischwimmende (z. B. *Paramecium* sp.; Abb. 12-26) und festsitzende (z. B. Glockentierchen; Abb. 12-17 bis 12-22) Arten
- Weidegänger: viele Arten charakterisieren sich durch mehrere zu Laufbeine verklebte Wimpern = Cirren (z. B. *Aspidisca* sp.; Abb. 12-25)

Die sogenannten Sekundärkonsumenten sind räuberisch lebende Formen, die sich von den Primärkonsumenten ernähren. Meist sind es größere Ciliaten, die nach der Art des Beutefangs als „Schlinger“ (z. B. *Litonotus* sp.; Abb. 12-30) oder „Fänger“ (= Suctorien; Abb. 12-23) bezeichnet werden und kleine Mehrzeller (Abb. 12-37, 12-38).

Die Menge, die Zusammensetzung und die Aktivität der Mikroorganismen werden beeinflusst durch:

- örtliche und verfahrenstechnische Faktoren
- mechanische Faktoren
- chemisch-physikalische Faktoren
- Freßfeinde (Nahrungskette)

Mikroskopische Untersuchungen von Belebtschlamm geben Information:

- über Gestalt und Struktur der Flocken, d. h. Zustand der Flocke
- über die Anwesenheit von fadenförmigen Mikroorganismen
- über Art und Anzahl der höheren Mikroorganismen (Primär-, Sekundärkonsumenten, etc.)

Regelmäßige mikroskopische Untersuchungen des Belebtschlammes tragen bei:

- zu einem besseren Einblick in die Zusammensetzung und die Struktur der Belebtschlammflocke
- zu einem besseren Verständnis der Anlagefunktion anhand des Flockenzustandes und der Artenvielfalt

Häufig ist eine unzureichende Ablaufqualität die Folge von Schlammflocken, die nicht den optimalen Bedingungen entsprechen. Die üblichen chemisch-physikalischen Analysen des Anlagenzu- und Anlagenablaufes geben keine unmittelbaren Informationen über den Zustand der Belebtschlammflocken im Belebungsbecken.

Als Beispiel dafür sei der Anlaßfall „trüber Ablauf“ erwähnt. Dieser kann z. B. Folge sein von:

- schlecht absetzbaren Flocken im Nachklärbecken, hervorgerufen durch übermäßiges Wachstum von fadenförmigen Mikroorganismen
- Flocken von zu geringer Größe, weil entweder höhere Mikroorganismen wie Protozoen fehlen, und/oder freischwebende Bakterien anwesend sind

Regelmäßige mikroskopische Kontrollen des Belebtschlammes ermöglichen es, Verschlechterungen der Schlammqualität bereits zu einem Zeitpunkt festzustellen, zu dem noch keine betrieblichen Probleme auftreten, z. B. durch Verschwinden oder verstärktes Aufkommen bestimmter Protozoen oder Auftreten fadenbildender Bakterien, etc.

## **12.2 Herstellen und Auswerten von Präparaten**

Um den Qualitätszustand der Flocken sowie die Organismenvielfalt des Belebtschlammes untersuchen zu können, werden Naßpräparate hergestellt. Dabei werden bis zu 3 Tropfen (ca. 10 µl/Tropfen) Belebtschlamm nebeneinander auf einem Objektträger aufgebracht und mit Deckgläsern versehen. Anschließend wird der Objektträger im Mikroskop eingespannt und durchmustert. Um die Anzahl der einzelnen höheren Mikroorganismenarten zu bestimmen, ist eine Zählkammer, z. B. Thomakammer mit definiertem Volumen sehr nützlich. Sind fadenbildende Mikroorganismen vorhanden, können diese anhand von gefärbten Trockenpräparaten (Gram und Neisser Färbungen) identifiziert werden (EIKELBOOM und van BUIJSEN 1992). Anleitungen zur Protokollierung und Auswertung des mikroskopischen Befundes finden sich in dem Handbuch von EIKELBOOM und van BUIJSEN (1992, 2000)

sowie dem Informationsbericht 1/90 des Bayer. Landesamtes f. Wasserversorgung (1992). Eine detaillierte Belebtschlammauswertung anhand der Protozoenfauna (v. a. von Ciliaten) kann mit Hilfe des „Sludge Biotic Index = SBI“ (MADONI 1994) durchgeführt werden, die aber gute Artenkenntnisse erfordert.

Da sich einige Schlammeigenschaften bei Lagerung verändern, sollte prinzipiell mit möglichst frischem Schlamm gearbeitet werden. Proben die nicht sofort untersucht werden können, sind bei 4°C - 7°C aufzubewahren und nach spätestens 24 Stunden zu bearbeiten. Ein Einfrieren ist zu unterlassen, da dieser Prozess die Flockenstruktur, welche ein sehr wesentliches Beurteilungskriterium darstellt, maßgeblich beeinträchtigt und die vorhandenen Organismen abtötet bzw. zu ihrer Encystierung (verkapselte Dauerzellen) führt.

### **12.3 Beobachtbare Charakteristika bei der mikroskopischen Belebtschlammanalyse (vorwiegend visuell)**

Bei der mikroskopischen Belebtschlammuntersuchung wird das Augenmerk auf folgende Punkte gelenkt:

- Farbe und Geruch des Schlammes (12.3.1)
- Morphologie der Flocken (12.3.2)
- Größe der Flocken (12.3.3)
- Zusammensetzung der Flocken (12.3.4)
- Wachstum von freischwebenden Bakterien (12.3.5)
- Vorhandensein von fadenförmigen Mikroorganismen (12.3.6)
- Anzahl und Artenspektrum der Primär- und Sekundärkonsumenten (12.3.7)

#### **12.3.1 Farbe und Geruch des Belebtschlammes**

##### **12.3.1.1 Farbe**

- graubraun bis mittelbraun ⇒ gesunder belebter Schlamm, bzw. Tropfkörperaufwuchs
- hellbraun ⇒ Bläh- und Schwimmschlamm
- dunkelbraun ⇒ alter, eventuell hochbelasteter Schlamm
- schwarz ⇒ angefaulter Schlamm bzw. Faulschlamm (H<sub>2</sub>S Bildung)

##### **12.3.1.2 Geruch**

- frisch, erdig
- muffig
- faulig

**12.3.2 Morphologie der Belebtschlammflocke****12.3.2.1 Gestalt** (Abb. 12-2 bis 12-6)

- abgerundet
- unregelmäßig

**12.3.2.2 Festigkeit**

- schwach  $\Rightarrow$  Zentrum fehlt, Kohäsion zwischen Bakterienzellen ist niedrig; Test mit Deckgläschen durch Quetschen der Flocke
- stark

Die Stärke der Flocke wird hauptsächlich durch die Belastung der Anlage bestimmt. Ideale Festigkeit im mittleren Belastungsbereich. Bei einer sehr niedrigen Schlammbelastung zeigt die Flocke Tendenz in kleinere Partikel zu zerfallen (Nährstoffmangel), d. h. schlechte Absetzbarkeit in der Nachklärung.

**12.3.2.3 Struktur** (Abb.12-2 bis 12-6)

- kompakt  $\Rightarrow$  nur wenig Hohlräume
- offen  $\Rightarrow$  weist viele Hohlräume auf (häufig Folge von fadenförmigen Organismen)

Zumeist muß die Morphologie der Flocke in kombinierter Weise beschrieben werden, z. B. eine starke, regelmäßig geformte, kompakte Schlammflocke.

Die Gestalt der Flocke beeinflußt die Sinkgeschwindigkeit im Nachklärbecken. Aus der Sicht der Absetzeigenschaften ist eine runde und möglichst kompakte Schlammflocke vorzuziehen.

Abgerundete, kompakte nicht fädige Flocken bis hin zu unregelmäßigen, offenen und sehr stark fädige Flocken sind in aufsteigender Reihenfolge in den Abb. 12-2 bis 12-6 zu sehen.

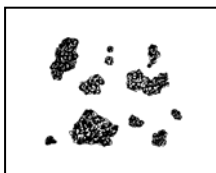
**12.3.2.4 Fädigkeit** (Abb. 12-2 bis 12-6)

Abb. 12-2:  
*sehr selten*



Abb. 12-3:  
*gering*

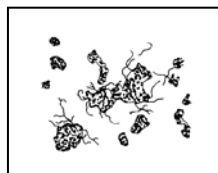


Abb. 12-4:  
*mäßig*



Abb. 12-5:  
*stark*



Abb. 12-6:  
*sehr stark*

(Quelle: Informationsbericht, 1992)

### 12.3.3 Größe

Es wird zwischen drei Größenklassen unterschieden:

- große Flocken: Durchmesser  $> 500 \mu\text{m}$
- mittelgroße Flocken: Durchmesser zwischen 150 und  $500 \mu\text{m}$
- kleine Flocken: Durchmesser  $< 150 \mu\text{m}$

Zu viele kleine Flocken verursachen zumeist einen getrübbten Ablauf.

Verschiedene Ursachen, die zu kleinen Flocken führen:

- sehr niedrige Schlammbelastung
- zu große Trubulenz im Belebungsbecken  $\Rightarrow$  Flocken werden zerschlagen
- Giftstoffe
- Anwesenheit hoher Konzentrationen komplexbildender Verbindungen, etc.....

### 12.3.4 Zusammensetzung der Flocke

Eine Schlammflocke besteht im günstigsten Fall aus einer Vielfalt von Bakterien und höheren Mikroorganismen  $\Rightarrow$  hohe Artenzahl (Diversität).

Niedrige Artenvielfalt  $\Rightarrow$  hochbelasteter Schlamm; Nährstoffmangel (z. B. Stickstoff oder Phosphor).

Folge einer niedrigen Artenvielfalt:

labiler Reinigungsvorgang (Abbauprozess beruht auf der Funktion nur weniger Bakterienarten); besonders störanfälliges System.

Besonderes Problem:

Auftreten von Bäumchenbakterien wie *Zoogloea ramigera* (in Schleimhüllen eingebettete Bakterien, die gewöhnlich fingerartige Ausstülpungen bilden; Abb. 12-7); meist Folge einer hohen Schlammbelastung und/oder unzureichender Nährstoffversorgung; schlechte Absetzeigenschaften wenn sie überhandnehmen, da Belebtschlamm sehr voluminös ist und eine große Menge Wasser enthält.

Das Auftreten von *Zoogloea* sp. wird als zusätzliche Charakterisierung der Belebtschlammflocke im Protokollblatt festgehalten.

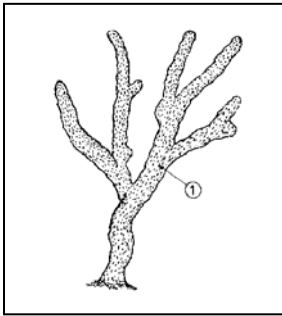


Abb. 12-7: *Zoogloea sp.*,  
1 = Verband von Einzelbakterien  
in gallertartigem Schleim  
Quelle: Informationsbericht, 1992

### 12.3.5 Wachstum von freischwebenden Bakterien (Abb. 12-9)

In gut funktionierenden Belebungsanlagen sind nahezu alle Bakterien in der Flocke gebunden. Verstärktes Auftreten von freischwebenden Bakterienzellen im Ablauf wird beobachtet bei:

- Sauerstoffmangel im Belebungsbecken (= Vergiftungseffekt der aeroben Organismen)
- tatsächliche Vergiftung (z. B. Anwesenheit bestimmter Metalle)
- hohe Schlammbelastung

Zusatzbeobachtung:

Auftreten von **Spirochaeten**, deren Zellkörper beweglich ist und einer doppelt gewundenen Spirale gleicht: zumeist im Sommer, in schwach belasteten Anlagen; deuten auf Sauerstoffmangel und instabile Verhältnisse (Abb. 12-8).

Auftreten von **Spirillen**, deren Zellkörper starr ist und sich in schraubender Weise fortbewegt: Hinweis auf eine niedrige Sauerstoff- und hohe Ammoniumkonzentration (Nitrifikation ist gestört) im Belebungsbecken (Abb. 12-9).

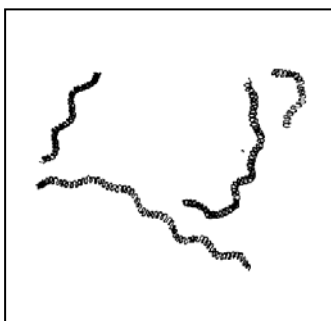


Abb. 12-8: *Spirochaeten*,  
Quelle: Informationsbericht, 1992

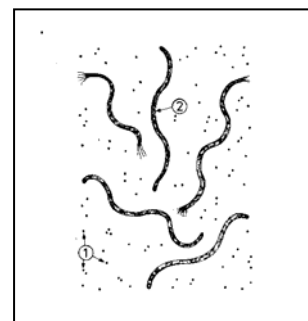


Abb. 12-9: *Spirillen* (2)  
1 = freie Bakterien  
Quelle: Informationsbericht, 1992

**12.3.6 Fadenförmige Mikroorganismen**

Bei fadenförmigen Bakterien unterbleibt die Abtrennung der Tochterzellen nach erfolgter Zellteilung. In vielen Fällen werden die gebildeten Zellfäden von einer einhüllenden Scheide umgeben (z.B. *Sphaerotilus sp.*). Die Fadenlänge kann bis zu 1000 µm erreichen. Derzeit sind ca. 30 fadenförmige Mikroorganismen bekannt, von denen einige vorläufige Typennummern (z. B. Typ 021 N; Abb. 12-14) tragen, da ihre biologischen Eigenschaften wegen der schwierigen Isolierbarkeit noch unzureichend bekannt sind.

Eine geringe Anzahl von fadenförmigen Bakterien ist günstig für die Struktur und Stabilisierung der Flocke (vgl. Mikro- und Makrostruktur). Auf Grund ihres Oberflächenvolumenverhältnisses leisten sie gute Abbautätigkeit.

Bestimmte fadenförmige Bakterien finden sich hauptsächlich innerhalb der Flocke, andere treten massenhaft in der flüssigen Phase zwischen den Flocken auf. Massenentwicklungen von fadenförmigen Bakterien führen zu Absetzschwierigkeiten des belebten Schlammes, daraus ergeben sich folgende Probleme:

- Blähschlamm
- Schwimmschlamm

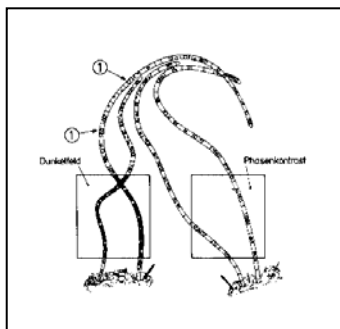


Abb. 12-10: *Thiothrix sp.*,  
1 = Schwefeleinlagerungen  
Quelle: Informationsbericht, 1992

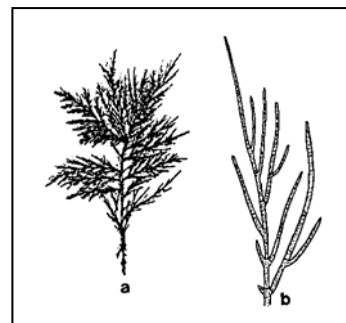


Abb. 12-11: *Fusarium aquaeductum*,  
a = Mycel Büschel  
b = Mycel Abschnitt  
Quelle: Berger et al., 1997

Die Anzahl fadenförmiger Bakterien im Belebtschlamm wird bei der mikroskopischen Schlammuntersuchung geschätzt. Molekularbiologische Methoden erweisen sich als geeignet, die mikroskopische Belebtschlammuntersuchung abzusichern und ermöglichen ein Monitoring des Wachstums von fadenförmigen Mikroorganismen im Belebtschlamm (WAGNER und LEMMER, 1998). Als Zusatzmerkmal wird festgehalten, ob bestimmte Arten dominant oder untergeordnet vorkommen. Zusätzliche Indikatorfunktion, z. B. die Anwesenheit von fädigen

Schwefelbakterien *Thiothrix* sp. (Abb. 12-10) und/oder *Beggiatoa* sp., gilt als Hinweis auf Sauerstoffmangel im Belebungsbecken, oder auf angefaultes Abwasser im Zulauf; niedrigere Pilze weisen auf zu saures Milieu, z. B. *Fusarium* sp. hin (Abb. 12-11).

### 12.3.6.1 Blähschlamm

Laut Definition der ATV-Arbeitsgruppe 2.6.1 (1988) liegt Blähschlamm vor, wenn durch die Entwicklung fadenförmiger Mikroorganismen die Absetzeigenschaften des belebten Schlammes so weit verschlechtert werden, daß der Verdünnungsschlammindex mehr als 150 ml/g beträgt. Aufgrund der schlechten Absetz- und Eindickeigenschaften wird der in dicker Schicht in der Nachklärung stehende Schlamm abgetrieben. Dadurch kommt es zu einer erheblichen Verschlechterung des Ablaufs und damit zu einer Belastung des Vorfluters.

Das sich anscheinend stetig ausbreitende Problem wird meist durch übermäßiges Wachstum von fadenförmigen Bakterien (s. unten) und weit seltener durch fädige niedrigere Pilzen (z. B. *Fusarium* sp.; Abb. 12-11) verursacht. Gründe finden sich v. a. in den Anforderungen an die hohe Reinigungsleistung und der damit verbundenen geringen Schlammbelastung der Anlagen sowie in der einseitigen Beschaffenheit von z. B. Industrieabwässern (LEMMER et al. 1996; MUDRACK und KUNST 1994).

Absetzschwierigkeiten und Schlammabtrieb durch *Zoogloea*-Organismen werden im Sprachgebrauch nicht als Blähschlamm bezeichnet.

Gängigste und der Häufigkeit nach geordnete Fadentypen sind u. a.: Typ 021 N, *Microthrix parvicella*, Typ 0041, *Sphaerotilus natans*, *Haliscomenobacter hydroxsis*, etc. (Abb. 12-12 bis 12-15).

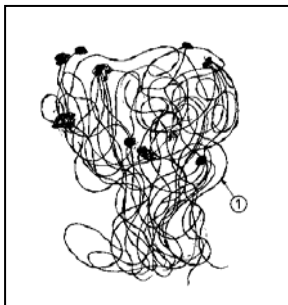


Abb. 12-12: *Microthrix parvicella*,  
1 = Zellverdickungen  
Quelle: Informationsbericht,  
1992

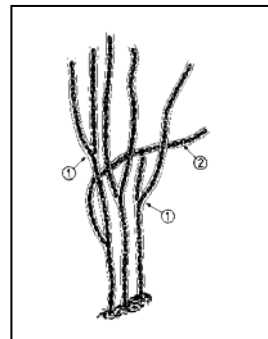


Abb. 12-13: *Sphaerotilus* sp.,  
1 = Scheinverzweigungen  
2 = Zellen in Scheide  
eingelagert  
Quelle: Informationsbericht,  
1992

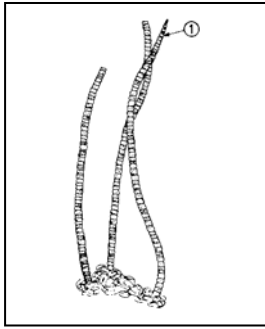


Abb.12-14: Typ 021 N,  
1 = sich verjüngende Spitze  
Quelle: Informationsbericht,  
1992

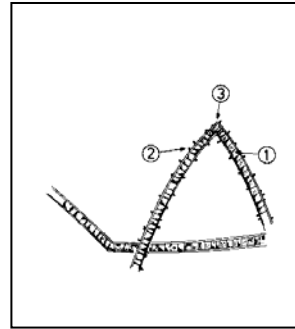


Abb.12-15: Typ 0041,  
1 = quadratische Einzelzellen  
2 = Aufwuchsbakterien  
3 = geknickter Faden  
Quelle: Informationsbericht,  
1992

Aufgrund unterschiedlicher Wachstumskinetik vermehren sich die oben genannten Organismen auf Kosten der flockenbildenden Bakterien, da sie schon bei sehr niedrigen Substrat- oder Sauerstoffkonzentrationen, d. h. niedrigen  $K_S$ - bzw.  $K_{DO}$ -Werten besonders hohe Wachstumsraten erreichen, z. B.:

- Typ 021 N wächst bei  $K_N = 1 \mu\text{g/l}$  Ammonium
- *Microthrix parvicella* wächst bei  $K_{DO} = 0,0016 \text{ mg/l}$  Sauerstoff
- *Sphaerotilus natans* wächst bei  $K_{DO} = 0,033 \text{ mg/l}$  Sauerstoff

Flockenbildende Bakterien hingegen wachsen erst bei  $K_{DO} = 0,15 \text{ mg/l}$  Sauerstoff!

Den Vorteilen fadenförmiger Organismen wie:

- größere Reinigungsleistung auf Grund der besseren Nährstoffaufnahme im Vergleich zu flockenbildenden Bakterien
- und die Eigenschaft, schwebende Partikel und Bakterien besser einzufangen

stehen den Nachteilen der schweren Schlammabsetzbarkeit und des Schlammabtriebes gegenüber.

- Aufgrund sehr unterschiedlicher Umweltansprüche, die sich aus Abwasserbeschaffenheit, Verfahrensweise und physiologischen Eigenschaften ergeben, kommen diverse Blähschlammursachen in Frage. Aus diesem Grund gibt es keine einheitlichen Maßnahmen zur Bekämpfung.

Gelingt es nicht, die Ursache für das massive Auftreten von fadenförmigen Mikroorganismen zu beseitigen, muß zu Symptombehandlungen gegriffen werden, die nur nach Bestimmung der vorkommenden Fadenorganismen möglich sind (s. dazu EIKELBOOM und van BUIJSEN 1992; LEMMER 1991, 1992).

Zur allgemeinen Blähschlammvermeidung haben sich vorgeschaltete, hochbelastete Becken (Selektoren), z. B. gegen *Microthrix parvicella* und *Haliscomenobacter hydrossis* als

effektive technische Lösung bewährt. Anhand des entstehenden Substratgradienten gleichen sich die heutigen niedrigen Belastungsverhältnisse der Belebungsbecken, die zu Blähschlamm führen aus. In dieser Hinsicht ist eine Lösung von Blähschlammproblemen auch in der weitergehenden Abwasserreinigung durch biologische Phosphatelimination zu finden, da es bei den vorgeschalteten, anaeroben Mischbecken zu einer ähnlichen Wirkung wie bei Selektoren kommt.

Weitere Maßnahmen wären besseres Absatzverhalten durch umgehen der Vorklärung, Verbesserung der Abwasserbeschaffenheit bei einseitigen Abwässern oder Zusatz von Fällungs und Flockungsmitteln; Kaliumferrat hemmt z. B. *Sphaerotilus* sp. (LEMMER et al. 1996).

### 12.3.6.2 Schwimmschlamm

Flotiert an der Oberfläche und wird meist durch massenhaftes Vorkommen von Actinomyceten wie *Nocardia* sp. (Abb. 12-16) und *Rhodococcus* sp. und bestimmten Fadenbildnern wie *Microthrix parvicella* (Abb. 12-12) verursacht. Diese haben eine stark wasserabstoßende (hydrophobe) Zelloberfläche. In Denitrifikationsbecken, Biophosphorbecken und in Nachklärbecken können sich Bläschen aus Luft oder Stickstoffgas an der hydrophoben Zelloberfläche anlagern und den Schlamm zum Aufschwimmen bringen.

Zudem kommt es zu einer selektiven Substrat-Anreicherung für die Mikroorganismen in den Mikrozonen der Grenzflächen von Gas/Wasser, Schlammflocke/Wasser, Fette oder unpolare Kohlenwasserstoffe/Wasser sowie durch den Einfluß von Tensiden (Seifen). Gemeinsam mit den idealen Bedingungen an der Oberfläche und im Schaum (Sauerstoff, Nährstoffangebot, geringe Empfindlichkeit gegen Trockenheit und UV-Strahlung) kommt es so zu einer Förderung des Wachstums.

Schwimmschlamm sollte möglichst rasch aus dem Prozeß geführt werden, da er auch bei der anaeroben Schlammstabilisierung zu Schaumbildung in Faultürmen führt (LEMMER et al. 1996; MUDRACK und KUNST 1994).

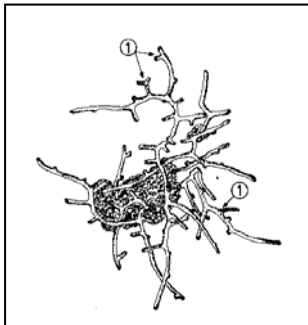


Abb. 12-16: *Nocardia sp.*,  
1 = hirschgeweihartiger Wuchs  
Quelle: Informationsbericht, 1992

### 12.3.6.3 Bekämpfungsmaßnahmen bei Massenentwicklungen von fadenförmigen Mikroorganismen

An ausgewählten Beispielen sollen Maßnahmen zur Bekämpfung von fadenförmigen Mikroorganismen in belebtem Schlamm aufgezeigt werden:

#### *Thiothrix sp.* (ATV, 1992)

Tritt in kommunalen und industriellen Anlagen auf. *Thiothrix sp.* ist aerob bis mikroaerophil und an niedrige Sauerstoffgehalte angepasst. Das Temperaturoptimum liegt zwischen 20 °C und 28 °C. Als Kohlenstoff- und Energiequelle wird eine Vielzahl organischer Säuren (Acetat) genutzt. Als Stickstoffquelle dienen nur einige wenige Aminosäuren. Ab 0,12 g/l Phosphat wird das Wachstum des Fadenbildners gehemmt. Als Schwefelquelle dienen reduzierte Schwefelverbindungen.

Selektionsfaktoren für *Thiothrix sp.*:

- angefaultes Abwasser
- Anwesenheit von reduzierten Schwefelverbindungen (Sulfide, Thiosulfat, H<sub>2</sub>S)
- niedrige Sauerstoffgehalte (Zulauf)
- Anwesenheit von kurzkettigen Fettsäuren

Bekämpfungsmaßnahmen bei Massenentwicklung von *Thiothrix sp.*:

- Entfernung von reduzierten Schwefelverbindungen
- Zugabe von Wasserstoffperoxid
- Einrichtung eines Substratgradienten

Pilze (*Fusarium aquoeductum*) (ATV, 1992)

Wurde im Ablauf von Zellstofffabriken mit hohen Konzentrationen an Zuckern nachgewiesen. Bei hohen Gehalten an organischen Stickstoffquellen im Vorfluter bildet *Fusarium* Aufwüchse auf anderen Wasserorganismen.

Selektionsfaktor für Pilze:

- niedriger pH-Wert

Bekämpfungsmaßnahme bei Massenentwicklung von Pilzen:

- Erhöhung des pH-Wertes

*Microthrix parvicella* (ATV, 1992)

Tritt zumindest zeitweise in sehr vielen kommunalen Kläranlagen auf. Findet sich auch in diversen Industrieanlagen.

*M. parvicella* ist aerob mit einer hohen Affinität zu Sauerstoff (konkurrenzfähig bei Sauerstoffmangel). Niedrige Temperaturen (< 22 °C) werden bevorzugt. Der Fadenbildner zeigt eingegrenztes Substratverwertungsspektrum (benötigt langkettige Fettsäuren bzw. ihre Ester als Kohlenstoff- und Energiequelle). Als Stickstoffquelle werden Ammoniumverbindungen genutzt. Schwefel wird in reduzierter Form (Sulfid) genutzt.

Selektionsfaktoren für *Microthrix parvicella*:

- Anwesenheit von langkettigen Fettsäuren
- Anwesenheit von reduzierten Stickstoff- und Schwefelverbindungen
- niedrige Schlammbelastung mit relativ hohem Schlammalter
- niedrige Sauerstoffkonzentrationen (vgl. hohe O<sub>2</sub>-Affinität von *M. parvicella*)
- Anwesenheit von nicht ionischen, nicht abbaubaren, oberflächenaktiven Substanzen (bewirkt Erhöhung der Sauerstoffaufnahme → Stoffwechselaktivität)

*Sphaerotilus sp.* (ATV, 1992)

Tritt in kommunalen und in industriellen Anlagen (Brauereien, Molkereien, Zellstoff- und Papierindustrie, Stärkeverarbeitung, Kartoffelindustrie) auf. Stoßbelastungen mit organischen Material, häufige Überlastung mit gleichzeitigem Sauerstoffmangel und einseitige Abwasserzusammensetzung mit hohem Kohlenstoff: Stickstoff- und Kohlenstoff: Phosphor-Verhältnis begünstigen das Wachstum von *Sphaerotilus sp.*. Der Fadenbildner ist aerob und weist eine hohe Sauerstoffaffinität auf und verfügt über ein breites Substratverwertungsspektrum.

Selektionsfaktoren für *Sphaerotilus sp.*:

- hohe Konzentrationen an leicht abbaubaren Substraten (Glucose, Fructose, kurz- und langkettige Fettsäuren)
- vollaufgemischte Becken im mittleren und hohen BTS-Bereich
- niedrige Stickstoffkonzentrationen (sonst Hemmung) bzw. hohes Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis
- hohes Kohlenstoff: Phosphor-Verhältnis
- auf Grund der hohen Sauerstoffaffinität können niedrige Sauerstoffkonzentrationen selektierend wirken

Bekämpfungsmaßnahmen bei Massenentwicklung von *Sphaerotilus sp.*:

- Einrichtung eines Substratgradienten
- Ausgleich von Stickstoff- und/oder Phosphormangel
- Zugabe von Eisensalzen
- Kalkzugabe zur pH-Erhöhung
- Zugabe von Wasserstoffperoxid
- Mechanische Zerkleinerung der Fäden

Typ 021 N (ATV, 1992)

Dieser Fadenbildner ist einer der häufigsten Blähschlammverursacher und tritt in kommunalen und in industriellen Anlagen auf. Typ 021 N vermag bei hohen und niedrigen Sauerstoffkonzentrationen zu wachsen und weist ein breites Substratverwertungsspektrum auf.

Selektionsfaktoren für Typ 021 N:

- Anwesenheit von Zuckern und kurzkettigen Fettsäuren
- Anwesenheit von Sulfiden bzw. Thiosulfat
- Stoßbelastung mit Ammonium
- unausgewogenes Nährstoffverhältnis, besonders niedrige Stickstoffkonzentrationen
- indirekte Wirkung eines niedrigen Sauerstoffgehaltes (Bildung von reduzierten Schwefelverbindungen; Konkurrenzvorteil gegenüber schnell wachsenden Flockenbildnern, die hohe Sauerstoffkonzentrationen benötigen)

Bekämpfungsmaßnahmen bei Massenentwicklung von Typ 021 N:

- Einrichtung eines Substratgradienten
- Vermeidung von Ammonium-Stößen
- Zugabe von Wasserstoffperoxid
- Zugabe von Calciumhydroxid
- Zugabe von Eisensalzen

Typ 0041 (ATV, 1992)

Der genannte Typ kann sich in kommunalen sowie unterschiedlichen industriellen Anlagen zu Massenpopulationen entwickeln. Mangel an Stickstoff und/oder Phosphor soll das Wachstumsverhalten begünstigen. Typ 0041 ist aerob und nutzt als Kohlenstoff- und Energiequelle kurzkettige Fettsäuren und Alkohole.

Selektionsfaktoren für Typ 0041:

Kein eindeutiges Ergebnis, eine niedrige Schlammbelastung scheint den Fadentyp zu begünstigen.

Bekämpfungsmaßnahmen bei Massenentwicklung von Typ 0041:

- Einrichtung eines Substratgradienten
- Zugabe von Wasserstoffperoxid
- Zugabe von Eisensalzen
- Zugabe von basischer Schlacke
- Zugabe von Phosphat

*Nocardia sp.* (Actinomyceten) (ATV, 1992)

Nocardiforme Actinomyceten treten in kommunalen und unterschiedlichen industriellen Anlagen auf. Hohe Fett- und Tensidgehalte im Zulauf begünstigen das Wachstum von *Nocardia sp.*

Aus Schwimmschlamm isolierte *Nocardien* weisen ein breites Substratverwertungsspektrum auf. Stickstoff, Phosphor und Schwefel werden in reduzierter und in oxidierte Form verwendet.

Selektionsfaktoren von *Nocardia sp.*:

- Anwesenheit von hydrophoben Abwasserinhaltsstoffen
- Anwesenheit von oberflächenaktiven Abwasserinhaltsstoffen
- Anwesenheit von Schlammfraktionen mit hohem Schlammalter

Bekämpfungsmaßnahmen bei Massenentwicklung von *Nocardia sp.*:

- Entfernung aller flotierenden Schlammfraktionen aus dem Schlammkreislauf
- Erniedrigung des Schlammalters
- Erniedrigung des Feststoffgehaltes
- diskontinuierliche Belüftung bzw. Reduktion der Belüftungsrate
- Vermeidung von feinblasigem Lufteintrag und Oberflächenbelüftern
- Vor- bzw. Zwischenschalten eines Flotations- bzw. Denitrifikationsbeckens
- Schwimmschlammräumung mit einer zentralen Absaugeinrichtung
- Vorflotation von hydrophoben Abwasserbestandteilen
- Zugabe von Ton

Auf Grund der Verschiedenartigkeit der Bläh- und Schwimmschlamm verursachenden Mikroorganismen stehen für den Praktiker keine Patentrezepte zur Bekämpfung des Problems zur Verfügung.

Für ein gezieltes Vorgehen ist eine frühzeitige Entdeckung der betreffenden Organismen, deren genaue taxonomische Zuordnung sowie deren mengenmäßiges Auftreten unabdingbar. Als Instrumentarium bieten sich molekularbiologische Methoden an, durch die Befunde klassischer, lichtmikroskopischer Analysen nicht nur abgesichert, sondern wesentlich erweitert werden können.

### **12.3.7 Primär- und Sekundärkonsumenten (höhere Mikroorganismen)**

Neben den flockenbildenden Bakterien werden im Mikroskop verschiedene ein- und mehrzellige Organismen (Protozoen bzw. Metazoen) beobachtet. Die Primärkonsumenten unter ihnen ernähren sich von den freischwebenden und den am Flockenrand wachsenden Bakterien. Die Sekundärkonsumenten fressen die Primärkonsumenten.

Die Anwesenheit von Protozoen und Metazoen im Belebtschlamm wird im allgemeinen als positiver Einfluß auf den Reinigungsprozeß gewertet. Das Auftreten bestimmter Formen dieser kleinen Eukaryonten erlaubt Aussagen hinsichtlich der Funktionstüchtigkeit einer Abwasserreinigungsanlage. Speziell Ciliaten (Wimpertierchen) eignen sich aufgrund ihrer unterschiedlichen ökologischen Ansprüche und guten Handhabung als Indikatoren für die Charakterisierung des Betriebszustandes.

Im Allgemeinen gilt, daß Ciliaten und Rotatorien (Rädertierchen) bevorzugt in Schlämmen solcher Anlagen zu finden sind, deren Belastung nicht zu hoch ist und die eine ausreichende Sauerstoffversorgung haben (z. B. bei Behandlung kommunaler Abwässer).

In der Startphase wie auch in hochbelasteten oder instabilen Anlagen und bei einer Unterversorgung mit Sauerstoff kommt es häufig zum Auftreten von Flagellaten (Geißeltierchen) und Nacktamöben (Wechseltierchen).

#### **12.3.7.1 Kurze Beschreibung der höheren Mikroorganismen:**

##### **12.3.7.1.1 Protozoen (Einzeller)**

Ciliaten, Flagellaten und Amöben sind in dieser Reihenfolge die wichtigsten und häufigsten Protozoen in biologischen Abwasserreinigungsanlagen, seltener sind auch Heliozoen (Sonnentierchen) zu finden. In gutem Belebtschlamm befinden sich im Durchschnitt  $10^4$  Protozoen/ml ( $\approx 5\%$  des Trockengewichtes).

##### **12.3.7.1.1.1 Ciliaten (Wimpertierchen)**

Formreiche Protozoengruppe von ca. 15 – 4000  $\mu\text{m}$  Größe, die eine vollständig oder teilweise mit feinen Wimpern (Cilien) bedeckte Oberfläche ihrer Zellen aufweisen. Im Belebtschlamm treten Ciliaten als festsitzende, über die Flocke kriechende (Cirren) und freischwimmende Formen auf. Insgesamt wurden bis jetzt etwa 160 Arten aus biologischen

Abwasserreinigungsanlagen isoliert. In ungestörten Anlagen sind im Durchschnitt etwa 20 - 30 Arten zu finden.

Festsitzende Arten können auch freibewegliche Stadien, sogenannte Schwärmerzellen bilden, die auf instabile Verhältnisse, hohe Schlammichte, Sauerstoffmangel, oder sehr hohe Turbulenzen hinweisen, besonders wenn sie in hoher Dichte auftreten.

Als wichtige Primärkonsumenten filtrieren freischwimmende und festsitzende Arten Bakterien aus der wässrigen Phase und sorgen somit für einen klaren Ablauf. Zudem eliminieren sie pathogene Keime und Viren. Die Leistung sei exemplarisch mit dem häufig vertretenen Glockentierchen *Vorticella convallaria* (Abb. 12-17) gezeigt, das mit 4000 – 16000 Individuen/ml etwa 15000 Bakterien/d pro Exemplar fressen kann. Kriechende Arten hingegen pflegen die Flockenstruktur durch Abweiden der Bakterien und verhindern somit die Bildung von Auswüchsen.

Eine genaue Beschreibung des Betriebszustandes anhand der Biozönose ist nur durch Bestimmung der Ciliaten auf Artenebene möglich, da die ökologischen Ansprüche innerhalb der selben Gattung unterschiedlich sind (s. 12.4). Eine Bestimmung von Gattungen und ihrer Lebensweise (bakterienfressend, räuberisch, freischwimmend, kriechend, festsitzend) reicht aber normalerweise für eine allgemeine Beschreibung der Funktionsweise der Anlage aus.

Die in Folge abgebildeten Ciliaten (nicht Maßstab getreu!) sind regelmäßig in Belebtschlämmen zu finden

Abkürzungen: AMZ = adorale Membranellenzone, Awk = aboraler Wimpernkranz, Cc = Caudalcilium, CR = cirren-ähnliche Wimpernreihe, CV = kontraktile Vakuole, D = Dorn, E = Extrusome, FM = Frontalmembranellen, Ka = Sammelkanäle der CV, Ma = Makronucleus, Mi = Mikronucleus, NV = Nahrungsvakuole, PD = Peristomdiskus, PK = Peristomkragen, pW = perizonale Wimperreihen, Mr = Mundrinne, Mt = Mundtrichter, My = kontraktile Fasern, OA = Oralapparat, R = Reuse, SS = Silberliniensystem, TC = Transversalcirren, VC = Ventralcirren.

**MIKROSKOPISCHE SCHLAMMUNTERSUCHUNG / 12-20**

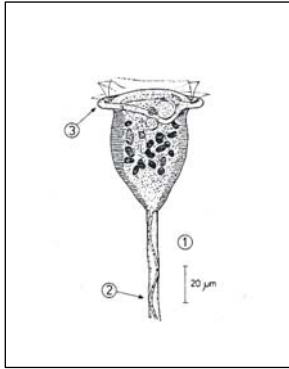


Abb. 12-17: *Vorticella convallaria*,  
festsitzende Form

- 1 = Einzeltier
- 2 = dünner Stiel mit Muskel
- 3 = weites Mundfeld

Quelle: Informationsbericht, 1992

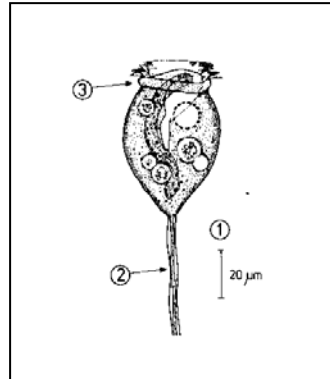


Abb. 12-18: *Vorticella microstoma*,  
festsitzende Form

- 1 = Einzeltier
- 2 = dünner, kontrahierbarer Stiel
- 3 = enges Mundfeld

Quelle: Informationsbericht, 1992



Abb. 12-19: *Carchesium sp.*,  
festsitzende Form

- 2 = Stielmuskel in der Kolonie an  
Verzweigung unterbrochen
- 3 = Stielmuskel

Quelle: Informationsbericht, 1992

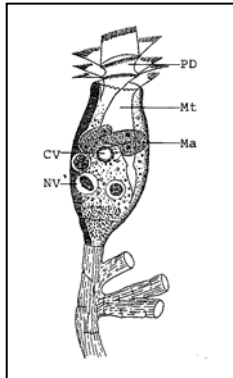


Abb. 12-20: *Opercularia  
articulata*, festsitzend,

Koloniebildend ohne  
Stielmuskel und ohne  
deutlichem Wulst

Quelle: Foissner et al., 1992

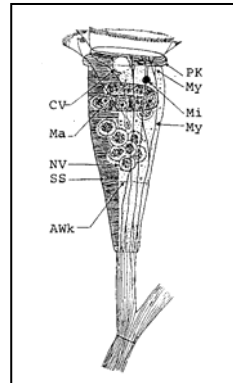


Abb. 12-21: *Epystilis plicatilis*,  
festsitzender Koloniebildner ohne  
Stielmuskel

Quelle: Foissner et al., 1992

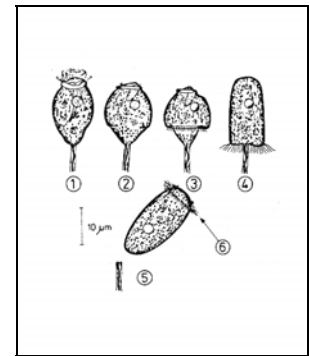


Abb. 12-22: Entwicklung der  
Schwärmerzelle bei Glockentierchen

6 = aboraler Wimpernkranz  
Quelle: Informationsbericht, 1992

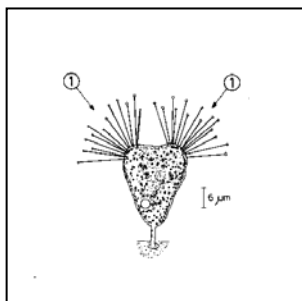


Abb. 12-23: *Tokophrya sp.*  
(Sauginfusor), festsitzend

1 = zwei Tentakelbüschel

Quelle: Informationsbericht, 1992

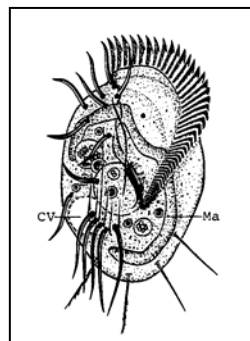


Abb. 12-24: *Euplotes aediculatus*,  
kriechende Form mit deutlicher  
Mundwimpernzonen

Quelle: Foissner et al., 1991

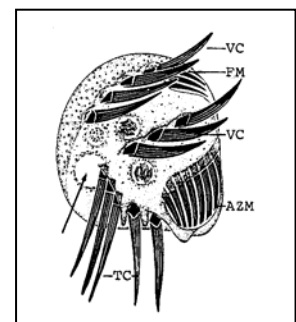


Abb. 12-25: *Aspidisca lynceus*,  
kriechende Form mit  
unscheinbaren Mundwimpern

Quelle: Foissner et al., 1991

**MIKROSKOPISCHE SCHLAMMUNTERSUCHUNG / 12-21**

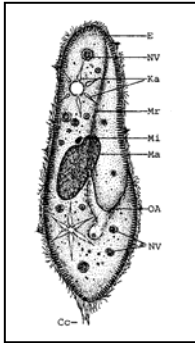


Abb. 12-26:  
Paramecium caudatum  
(Pantoffeltierchen),  
freischwimmend  
Quelle: Foissner et al.,  
1994

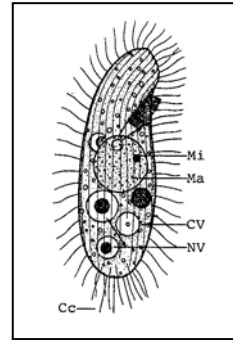


Abb. 12-27:  
Dextiostoma campylum,  
freischwimmend  
Quelle: Foissner et al.,  
1994

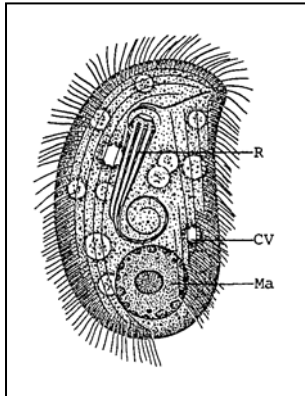


Abb. 12-28:  
Chilodonella uncinata,  
abgeflachter  
Freischwimmer  
Quelle Foissner et al.,  
1991

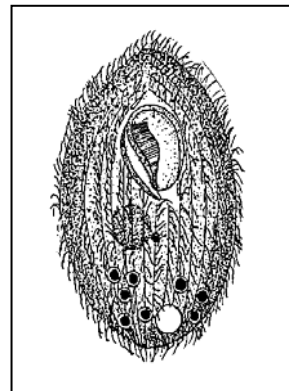


Abb. 12-29:  
Glaucoma scintillans,  
freischwimmende,  
gleichmäßig  
bewimperte Form mit  
schiefliegendem Mund  
Quelle: Foissner et al.,  
1994

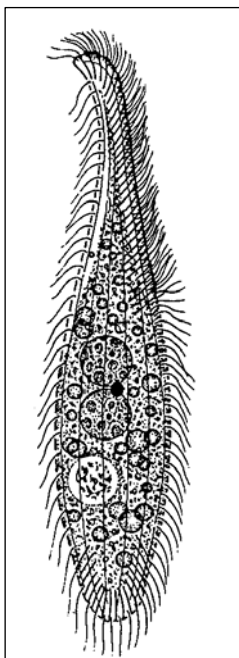


Abb. 12-30: Litonotus lamella,  
freischwimmende Form  
Hals mit „mähenartigem“  
Wimpernbereich  
Quelle: Foissner et al., 1995

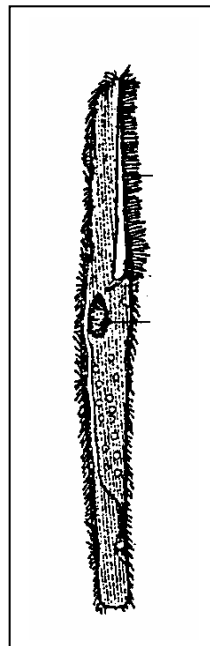


Abb. 12-31:  
Spirostomum teres,  
Freischwimmer, wurmartig  
gestreckt aber sehr kontraktile  
Quelle: Foissner et al., 1992

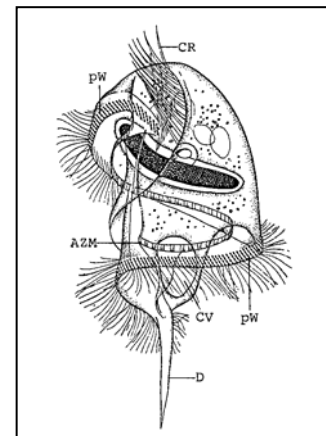


Abb. 12-32:  
Caenomorpha sapropelica,  
freischwimmender Anaerobier,  
Anzeiger für Fäulnis  
Quelle: Foissner et al., 1992

### 12.3.7.1.1.2 Flagellaten (Geißeltierchen)

In biologischen Abwasserreinigungsanlagen sind im allgemeinen aus der Gruppe der Geißeltierchen Vertreter von Zooflagellaten sowie Augenflagellaten zu finden. Mit etwa 5 - 20 µm sind Zooflagellaten größer als Bakterien und meist kleiner als Ciliaten. Ihre Geißeln (1-8) verursachen oft eine ruckartige, zitternde Fortbewegung, an der sie schon bei geringer Vergrößerung zu erkennen sind (z. B. *Bodo* sp.; Abb. 12-33). Die deutlich größeren Augenflagellaten (bis 0,5 mm) sind durch eine sehr auffallende, dicke Schwimmgeißel, den Augenfleck nahe dem Geißelansatz und einem oft schraubig verdrehtem Körper gekennzeichnet (z. B. *Euglena* sp.; Abb. 12-34).

Flagellaten in höherer Anzahl sind Anzeiger unstabiler Verhältnisse sowie einseitiger oder hoher Belastung.

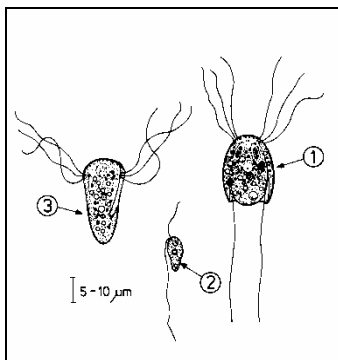


Abb. 12-33: verschiedene Geißeltierchen

1 = *Hexamita* sp.

2 = *Bodo* sp.

3 = *Trigomonas* sp.

Quelle: Informationsbericht, 1992

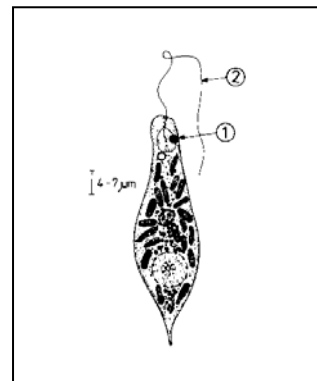


Abb. 12-34: *Euglena* sp.,

1 = Augenfleck

2 = Fortbewegungsgeißel

Quelle: Informationsbericht, 1992

### 12.3.7.1.1.3 Rhizopoda (Wurzelfüßer)

Amöben (Nack- und Schalenamöben) sind einzellige, 10 –3000 µm große Organismen ohne feste Zellwand, weshalb sie unregelmäßig geformt sind. Sie bewegen sich mit „Scheinfüßchen“ fort, welche temporäre Ausstülpungen der Zelle sind. Die Nahrungsaufnahme erfolgt auf ähnliche Weise durch Umschließen der Beute.

Nacktamöben (z. B. *Amoeba* sp.; Abb. 12-35) sind rasch wachsende Protozoen mit ähnlichem Anzeigerwert wie Flagellaten, deren Auffinden etwas Übung erfordert. Die mit einem

Gehäuse bestückten Schalenamöben (z. B. *Euglypha* sp.; Abb. 12-36) hingegen, sind wegen ihrer langen Generationszeiten meist in niedrig belasteten Abwässern mit hohem Schlammalter zu finden.

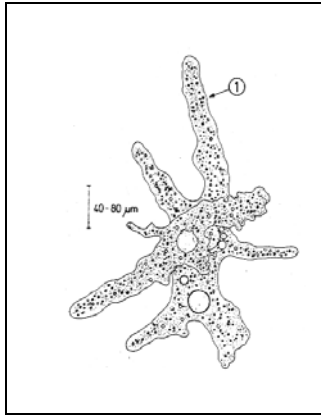


Abb. 12-35: Nacktamöbe

1 = Scheinfüßchen

Quelle: Informationsbericht, 1992

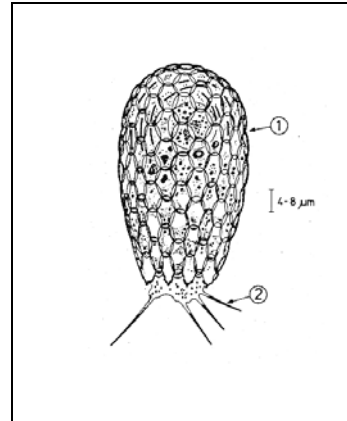


Abb. 12-36: Euglypha sp.

1 = Schale

2 = Scheinfüßchen

Quelle: Informationsbericht, 1992

### 12.3.7.1.2 Metazoen (Mehrzeller)

Die Artbestimmung von Mehrzellern aus Belebtschlämmen ist vergleichsweise aufwendig und wegen der geringeren Häufigkeit von entbehrlicher Bedeutung. Wichtigste Vertreter sind die zu den Rundwürmern gehörenden Rädertierchen (Rotatorien) und Fadenwürmer (Nematoden). Zudem finden sich auch gelegentlich Bärtierchen (Tardigraden), Bauchhärlinge (Gastrotrichen), Studelwürmer (Turbellarien), Wenigborster (Oligochaeten), Milben (Acarinen) und Kleinkrebse (Crustaceen).

#### 12.3.7.1.2.1 Rotatorien (Rädertierchen)

Der etwa 0,04 – 3 mm große, zellzahlkonstante Körper ist meist von einer Art Panzer umschlossen, in dem Kopf- und Schwanzabschnitt (am Ende oft gegabelt = „Zehen“) eingezogen werden können. Die am Kopf befindlichen Wimpern sind in Form eines beweglichen Räderorgans angeordnet, welches der Nahrungsaufnahme dient. Bei Gebrauch des Räderorgans ist im oberen Körperdrittel der pumpende Kaumagen (Mastax) gut erkennbar. Die große Formenvielfalt beschränkt sich im Belebtschlamm auf meist langgestreckte Arten (z. B. *Rotaria* sp.; Abb. 12-37).

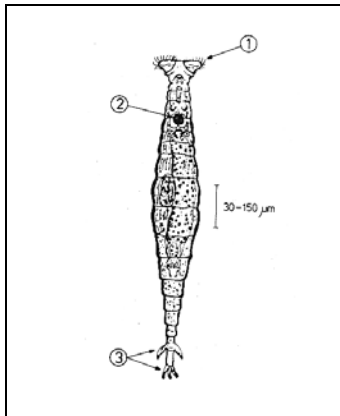


Abb. 12-37: *Rotaria sp.*,

1 = Räderorgan

2 = Kaumagen (Mastax)

3 = Fuß mit kurzen Zehen

Quelle: Informationsbericht, 1992

Rädertierchen haben eine längere Generationszeit als Einzeller (z. B. mehrere Tage). Sie finden sich daher nur in Anlagen mit hohem Schlammalter und stabilen Betriebsverhältnissen. Rotorien erreichen zumeist keine große Häufigkeit.

#### 12.3.7.1.2.2 Nematoden (Fadenwürmer)

Diese große Organismengruppe (ca. 15000 Arten), hat nur wenige Vertreter im Belebtschlamm und kommt in Anlagen mit stabilem Betrieb und bei hohem Schlammalter vor. Hauptmerkmale sind der lange (etwa 0,5 – 3 cm), zylindrische Körper, dessen Hinterende fadenartig ausgezogen ist (Abb. 12-38). Sie bewegen sich rege in heftig schlagender Weise.

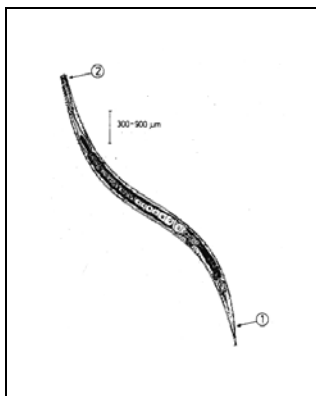


Abb. 12-38: *Nematode*,

1 = Körperende fadenartig ausgezogen

2 = Kopf nicht abgesetzt

Quelle: Informationsbericht, 1992

## **12.4 Betriebszustand und mikroskopisches Bild**

### **12.4.1 Mikroskopisches Bild zeigt stabilen Betrieb an**

- gute Flockenform, -struktur und –festigkeit
- hohe Artenvielfalt bei gleichzeitig geringer Individuenzahl bakterienfressender wie auch räuberischer, sowohl freischwimmender, kriechender und festsitzender Wimpertierchen (z. B. *Vorticella* sp., *Carchesium* sp., *Epistylis* sp., *Opercularia* sp., *Tokophrya* sp. (=Suctorien), *Euplotes* sp., *Aspidisca* sp., *Litonotus* sp., *Chilodonella* sp., (s. Abb. 12-17 bis 12-25, 12-28, 12-30)
- Rädertierchen, Fadenwürmer

### **12.4.2 Mikroskopisches Bild zeigt instabilen Betrieb an**

- Flockenzerfall
- massenhaft freie Bakterien
- Auftreten von Spirillen (auch Spirochaeten)
- viele Geißeltierchen (Flagellaten)
- Nacktamöben
- Schwärmerzellen

Instabile Betriebsverhältnisse treten immer während der Inbetriebnahme einer Kläranlage auf. In den übrigen Fällen weist das mikroskopische Bild auf z. B. auf hohe Stoßbelastungen im biologischen Teil hin (Indirekteinleitungen aus dem Kanalnetz, stoßweise Fäkalschlammzugabe, stoßweise Belastungen aus internen Kreisläufen).

### **12.4.3 Mikroskopisches Bild zeigt eine hohe Belastung der Anlage an**

- Flockenstruktur mit vielen Auswüchsen
- viele freie Bakterien
- Zooglooen
- Schwefelbakterien können vorkommen
- Geißeltierchen (Flagellaten)
- Nacktamöben
- wenige Ciliatenarten in hoher Individuenzahl, die hohe Belastungen tolerieren z. B. Glockentierchen (*Vorticella microstoma*; Abb. 12-18) und Pantoffeltierchen (*Paramecium caudatum*; Abb. 12-26)

#### **12.4.4 Mikroskopisches Bild zeigt Sauerstoffunterversorgung im belüfteten Teil der Kläranlage an**

- Spirillen
- Spirochaeten
- Schwefelbakterien
- Schwärmerzellen
- hauptsächlich freischwimmende Wimpertierchen (*Paramecium* sp., *Dexiostoma campyla*, *Glaucoma* sp., *Spirostomum teres*; Abb. 12-26, 12-27, 12-29, 12-31), selten auch Fäulnis-Indikatoren aus anaeroben Bereichen (z. B. *Caenomorpha* sp.; Abb. 12-32)

#### **12.4.5 Mikroskopisches Bild zeigt Giftwirkung an**

- Flockenzerfall
- massenhaftes Auftreten von Bakterien
- Dauerzellen (Cysten)
- Abwesenheit von Ciliaten (chronische Vergiftung)

Bei niedriger Säurekapazität des Abwassers kann es zur Selbstzerstörung des Schlammes in Folge Nitrifikation kommen.

Gifte können auch von Indirekteinleitern (Desinfektionsmittel, Schwermetalle) stammen.