

## Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfs (BSB<sub>5</sub>)

Unter dem Biochemischen Sauerstoffbedarf (BSB) versteht man die Menge an Sauerstoff, die von den Mikroorganismen verbraucht wird, um im Wasser enthaltene organische Stoffe bei 20°C abzubauen. Die Bestimmung des Biochemischen Sauerstoffbedarfs wird vereinbarungsgemäß nach **5 Tagen** abgebrochen.

Der vollständige Abbau wird also in der Regel nicht abgewartet. Das so erhaltene Ergebnis wird dann als **BSB<sub>5</sub>** bezeichnet und der verbrauchte Sauerstoff in mg/l angegeben. Er ist ein wichtiger Kennwert für die Belastung eines Abwassers mit **biologisch abbaubaren organischen Stoffen**.

Für die Bestimmung des BSB werden im wesentlichen das **Manometrische-** und das **Verdünnungsverfahren** eingesetzt. Bei beiden Meßmethoden spielt die Probenahme und Probenvorbereitung eine große Rolle. Besonders im Zulauf sollte es sich bei der untersuchten Probe um eine frische (die leicht abbaubaren organischen Bestandteile werden rasch veratmet), homogenisierte (die Kohlenstoffverbindungen liegen zu etwa einem Drittel in absetzbarer Form vor) Tagesmischprobe handeln, da die Belastung im Tagesverlauf starken Schwankungen unterworfen ist.

Da die Bestimmung des BSB<sub>5</sub> bei 20°C erfolgt, soll die Probe auf diese Temperatur gebracht werden. Während der Messung soll auf die Einhaltung der Bebrütungstemperatur besonders geachtet werden (Thermostat). Wird bei zu niedrigen Temperaturen untersucht, erhält man geringere Werte, bei Temperaturen über 20°C werden zu hohe Werte erhalten.

Bevor man nun die gut homogenisierte Probe in die Meßflasche füllt, ist es notwendig das erforderliche Probevolumen zu bestimmen. Dazu muß man die erwartete BSB<sub>5</sub>-Konzentration abschätzen. Im Zulauf einer kommunalen Kläranlage beträgt das BSB<sub>5</sub> zu CSB Verhältnis etwa 1 : 2. Es ist von der Art des Abwassers abhängig und kann durch mehrere CSB und BSB<sub>5</sub>-Messungen für jede Kläranlage abgeschätzt werden. Im Ablauf hängt die BSB<sub>5</sub>-Konzentration hauptsächlich von der Reinigungsleistung der Anlage ab, während die CSB-Konzentration im wesentlichen durch den schwer abbaubaren Anteil des Abwassers bestimmt wird. Ein allgemein gültiges BSB<sub>5</sub> : CSB-Verhältnis im Ablauf kann daher nicht angegeben werden.

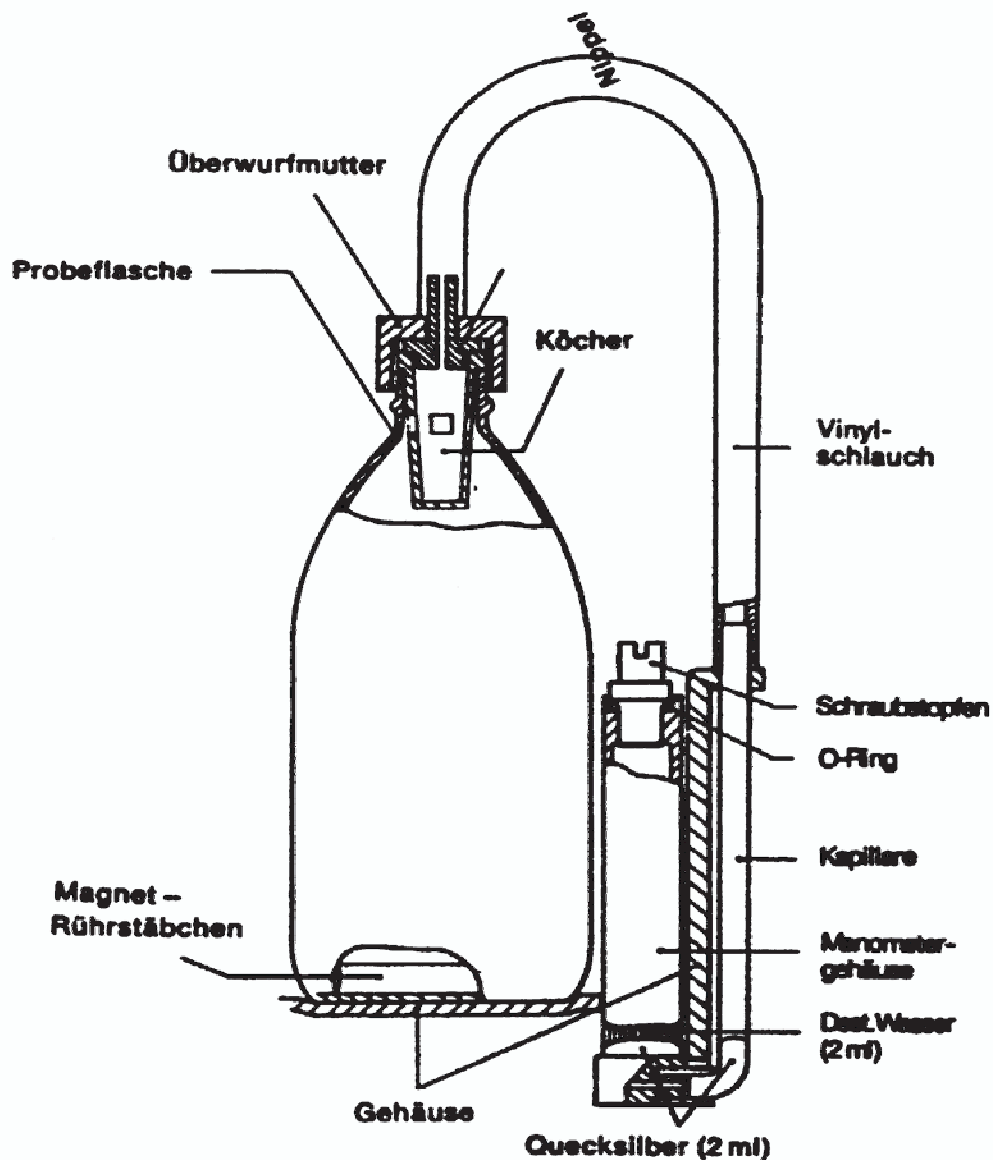
Im Ablauf mittelmäßig reinigender Anlagen (Kohlenstoffentfernung, keine Nitrifikation im Winter) liegt die BSB<sub>5</sub>-Konzentration zwischen 15 und 25 mg/l. Bei vollständig nitrifizierenden Anlagen sind nahezu alle abbaubaren organischen Verbindungen in der Kläranlage entfernt worden, sodaß der BSB<sub>5</sub> im Ablauf im wesentlichen nur mehr vom Schwebstoffgehalt abhängt und meist unter 15 mg/l liegt.

Sowohl bei der Verdünnungsmethode, als auch beim manometrischen Verfahren besteht die Gefahr, daß durch die Oxidation von NH<sub>4</sub>-N bei Anwesenheit von Nitrifikanten bereits nach 2 - 3 Tagen ein Sauerstoffverbrauch verursacht wird, der nicht auf den Abbau organischer Verbindungen zurückzuführen ist. Es würde danach ein höherer BSB<sub>5</sub>-Wert vorgetäuscht werden. Da der BSB<sub>5</sub> definitionsgemäß nur den Sauerstoffverbrauch für den Abbau organischer Verbindungen erfassen soll, muß die Nitrifikation durch Zugabe entsprechender Hemmstoffe (zumeist **Allylthioharnstoff = ATH**) verhindert werden. Der Nitrifikationshemmer muß sowohl bei Zulauf als auch Ablaufproben zugegeben werden. Zu beachten ist, daß die **ATH-Lösung im Kühlschrank** aufbewahrt werden muß, und nur begrenzt haltbar ist (Ablaufdatum)!

Es wird eine bestimmte Probenmenge Abwasser durch starkes Rühren gemischt, sodaß der Sauerstoff aus der Luft, der zum Abbau der Kohlenstoffverbindungen notwendig ist, in die Flüssigkeit eingebracht wird.

Beim Abbau der organischen Stoffe durch Mikroorganismen wird Sauerstoff verbraucht und Kohlendioxid gebildet. Das Kohlendioxid wird im Luftraum des Gefäßes durch Natrium- oder Kaliumhydroxid aufgenommen (absorbiert). Im Meßgefäß entsteht Unterdruck, der täglich abgelesen und aufgeschrieben wird.

Eine automatische Messung des BSB<sub>5</sub> ist mit Hilfe des sogenannten Sapro-maten möglich, bei dem der verbrauchte Sauerstoff durch Elektrolyse nachgeliefert wird. Der hierfür verbrauchte Strom dient als Maß für den BSB<sub>5</sub>. Je nach Gerätetyp können die Meßwert aufsummiert bzw. registriert werden.



## **Bestimmung des Chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB)**

Bei der Bestimmung des Chemischen Sauerstoffbedarfs werden mit einem starken Oxidationsmittel (Kaliumdichromat) so gut wie **alle organischen Kohlenstoffverbindungen** zu  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  umgesetzt und die dazu nötige Sauerstoffmenge bestimmt. Beim  $\text{BSB}_5$  werden nur die, innerhalb von **5 Tagen** von Bakterien oxidierten Kohlenstoffverbindungen erfaßt. **Der CSB muß daher immer größer als der  $\text{BSB}_5$  sein.**

**Im kommunalen Abwasser** ist der CSB etwa doppelt so groß wie der  $\text{BSB}_5$ . Das Verhältnis **CSB :  $\text{BSB}_5$**  liegt bei ca. **2**. Bei deutlich höheren Verhältnis (z.B.  $\text{CSB} : \text{BSB}_5 = 4$ ) kann auf einen hohen Anteil schwer abbaubarer Verbindungen oder auf toxische Verbindungen im Abwasser geschlossen werden.

Im Ablauf biologischer Kläranlagen sind die abbaubaren Verbindungen ( $\text{BSB}_5$ ) weitgehend entfernt, die biologisch nicht abbaubaren bleiben über. Daher ist das Verhältnis **CSB :  $\text{BSB}_5$**  höher als 2.

Bei der normgemäßen Bestimmung wird ein **genau abgemessenes Volumen** der vorher gut durchmischten Wasserprobe mit konzentrierter Schwefelsäure und Kaliumdichromat unter Zusatz von Silber- und Quecksilbersalzen erhitzt. Ein Teil des Kaliumdichromates wird von den organischen Verbindungen verbraucht. Der verbleibende Rest kann entweder chemisch durch Titration oder photometrisch bestimmt werden.

**Da bei der CSB-Bestimmung erhebliche Mengen der giftigen Schwermetalle Chrom und Quecksilber eingesetzt werden müssen, ist der Entsorgung der verbrauchten Lösungen besonderes Augenmerk zu widmen.**

Auf Kläranlagen wird der CSB in der Regel mit Küvettentestsätzen bestimmt.

**Die genaue Arbeitsvorschrift kann den jeweiligen Testsätzen entnommen werden und beinhaltet im wesentlichen folgende Arbeitsschritte:**

- Aufschütteln der Küvette
- Homogenisierung der Probe
- Zugabe einer bestimmten Menge Probe in die Küvette  
(Vorsicht Küvette wird heiß!!)
- Verschließen, Reinigen und Schwenken des Röhrchens
- Aufschluss bei  $148^\circ\text{C}$  über 2 Stunden in einem Heizblock
- Photometrische Messung nach Abkühlung und Reinigung  
(Ablesung des Messwertes am Photometer)

Die verbrauchten Küvetten werden vom Lieferanten zurückgenommen und entsorgt!

## **Bestimmung von Nährstoffen (Stickstoff- + Phosphorverbindungen)**

Zur Bestimmung von  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  und  $\text{PO}_4\text{-P}$  wird die Probe mit Reagenzien versetzt, die das gesuchte Ion in eine stark gefärbte Verbindung überführen. Die Intensität der Farbe kann entweder visuell (durch einfachen Vergleich mit einer Farbskala) oder photometrisch erfolgen. Da bei dieser Bestimmung Schwebstoffe stören, muss die Probe vorher filtriert werden.

Mit Schnellbestimmungssätzen (Testkits), die mit einfachen optischen Vergleich arbeiten, können diese Verbindungen rasch und einfach gemessen werden.

### **Alle Bestimmungssätze bestehen aus:**

- Farbvergleichsskala
- Prüfgefäß
- erforderliche Reagenzien
- einfache Hilfsgeräte und
- Gebrauchsanweisung.

### **Die Handhabung und Arbeitsweise ist bei allen Systemen ähnlich:**

Das Reaktions- oder Prüfgefäß wird mit der Probe (Abwasser, Ablauf) gespült und bis zur Marke gefüllt. Die erforderlichen Reagenzien werden anschließend nach Vorschrift zugesetzt. Werden flüssige Reagenzien verwendet, so erfolgt die Zugabe tropfenweise. Bei festen Reagenzien sind die notwendigen Mengen für 1 Bestimmung bereits fertig abgepackt oder sind mit einem Messlöffel bestimmter Größe zuzugeben. nach Hinzufügen der Reagenzien ist kräftiges, mehrmaliges Umschütteln erforderlich.

Nach der in der Anleitung angegebenen Zeit (z.B. 5 Min, 10 Min) kann die Farbvergleichsmessung erfolgen (die vorgeschriebenen Zeiten müssen genau eingehalten werden). Der Komparator wird gegen gleichmäßig helles Licht ( z.B. weißes Kunstlicht, weiße Wand), nicht gegen die Sonne, gehalten. Beim Stufenkomparator wird die Färbung der Abwasserlösung mit den vorgegebenen Farbstufen verglichen. Bei der kontinuierlichen Farbscheibe muss diese solange gedreht werden, bis Farbgleichheit zwischen der Probe und der Scheibe gefunden wird. Ist die Färbung der Messlösung zu dunkel, muss die Probe verdünnt werden.

### **Bestimmungsmethoden nach ÖNORM oder DIN**

Bei den Fertigtüvettentests muss nur mehr ein bestimmtes Volumen der filtrierten Probe in ein Röhrchen eingefüllt werden, das oft bereits alle notwendigen Reagenzien enthält. Nach Einhaltung der vorgeschriebenen Reaktionszeit kann mit einem Photometer die Nährstoffkonzentration direkt bestimmt werden. Wichtig ist die genaue Befolgung der jeweils beiliegenden Arbeitsvorschrift sowie die Beachtung des Verbrauchsdatums. Die verwendeten Röhrchen sind von der Lieferfirma zu entsorgen.

Das Messprinzip ist bei allen **photometrischen Bestimmungsmethoden** ähnlich:

Die durch die chemische Reaktion erzeugte, gefärbte Verbindung schwächt einen Lichtstrahl bestimmter Farbe ab. Den Grad der Abschwächung erkennt das Gerät durch den Vergleich mit einer Nulllösung.

# Biologie in der Abwassertechnik

Kein Lebewesen kann ohne Wasser existieren, und jedes gesunde Gewässer ist von einer Vielzahl von Lebewesen besiedelt. Dem Wasser als wichtigstem Grundnahrungsmittel und Lebensraum kommt daher im Haushalt der Natur eine besondere Bedeutung zu. Wird die Qualität des Wassers z.B. durch die Einleitung von Abwasser verändert, so wird das biologische Gleichgewicht gestört. Es ist daher wichtig zu wissen, welche Störungen durch Abwassereinleitungen auftreten können und wie man sie verhindern kann. Sowohl die Störungen als auch die Verfahren zur Behandlung des Abwassers und des Schlammes beruhen auf biologischen Prozessen. Es sollen daher im folgenden die biologischen Umsetzungen im Gewässer, bei der biologischen Reinigung des Abwassers und bei der Schlammbehandlung besprochen werden.

Wir Abwasser in einen Vorfluter eingeleitet, so kann man feststellen, dass im Laufe der Fließstrecke die Schmutzkonzentration allmählich abnimmt. Dabei ist aber ein deutlicher Unterschied zwischen der Einleitung von anorganischen Abwässern (Salzbelastung) und organisch verunreinigten Abwässern (z.B. häusliches Abwasser, Molkereiabwässer) zu machen. Verfolgt man den Verbleib der eingeleiteten Abwasserinhaltsstoffe genauer, so stellt man bei anorganischen Abwässern fest, dass die Abnahme der Konzentration lediglich durch die Verdünnung hervorgerufen wird.

Werden organische Abwässer eingeleitet, so tritt neben dem Verdünnungseffekt noch eine echte Abnahme der Gesamtschmutzmenge (BSB<sub>5</sub>-Fracht) ein.

Es müssen demnach bei der Einleitung organischer Abwässer im Gewässer Prozesse ablaufen, durch die Schmutzstoffe ab- bzw. umgebaut werden. Mit bloßem Auge kann man die Ursachen dafür nur selten erkennen. Ein auffälliges Beispiel ist aber die Entwicklung von "Abwasserpilzen" unterhalb der Einleitung von Siloabläufen, Molkereiabwässern, u.ä. Untersucht man die „Pilzzotten“ im Mikroskop, so kann man erkennen, dass es sich um winzig kleine Lebewesen, um Bakterien handelt. Die Bakterien benutzen die Abwasserinhaltsstoffe (Eiweiß, Kohlehydrate, Fette) als Nahrung, wobei sie sich je nach der angebotenen Menge mehr oder weniger stark vermehren. In unbelasteten, sauberen Gewässern kann man etwa mit 1000 - 10 000 Bakterien im ml Wasser rechnen. Durch Abwassereinleitung steigt die Zahl aber schnell auf über 1 Million Bakterien im ml an.

Durch die Tätigkeit der Bakterien werden die Abwasserinhaltsstoffe umgebaut. Im folgenden sollen diese Stoffwechselprozesse näher erläutert werden.

Eiweiß, Kohlehydrate und Fette bestehen aus Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O), Wasserstoff (H), Schwefel (S), Phosphor (P) und anderen, nur in Spuren enthaltenen Elementen. Aus den Bausteinen von organischen Substanzen entstehen in Gegenwart von Sauerstoff beim bakteriellen Abbau folgende Endprodukte:

C	(Kohlenstoff)	• •	CO <sub>2</sub>	(Kohlendioxid)
H	(Wasserstoff)	• •	H <sub>2</sub> O	(Wasser)
N	(Stickstoff)	• •	NO <sub>3</sub>	(Nitrat)
S	(Schwefel)	• •	SO <sub>4</sub>	(Sulfat)
P	(Phosphor)	• •	PO <sub>4</sub>	(Phosphat)

Man erkennt, dass die energiereichen organischen Stoffe (Eiweiß, Zucker, Fett) in energiearme anorganische Stoffe (Wasser, Kohlenstoff, Nitrate und Sulfate) umgebaut werden. Dabei ist die Aufnahme von Sauerstoff notwendig. Dieser Sauerstoff wird dem Wasser, in dem er in gelöster Form vorliegt, entnommen. Die verfügbare Sauerstoffmenge ist daher durch die Wassermenge des Gewässers und durch die Löslichkeit des Luftsauerstoffes im Wasser begrenzt. Ist das Nahrungsangebot, das heißt die Abwasserbelastung im Verhältnis zur Wasserführung des Gewässers sehr groß, so kann der vorhandene Sauerstoff durch die Tätigkeit der Bakterien vollständig verbraucht werden. Es treten dann Missstände wie z.B. Fischsterben und Geruchsbelästigung ein, die man besonders bei geringer Wasserführung des Gewässers beobachten kann. Wir können zusammenfassend feststellen, dass Abwasserschmutzstoffe durch die Tätigkeit von Bakterien unter Sauerstoffaufnahme abgebaut werden.

Diese Tatsache wird bei den biologischen Abwasserreinigungsverfahren ausgenutzt. Um die Abbaugeschwindigkeit zu steigern, muss man jedoch die Bakterienmasse im Wasser erhöhen, für diese Organismenmengen künstlich die Sauerstoffversorgung sichern und für einen ständigen Kontakt zwischen den Organismen und den Schmutzstoffen sorgen.

# Lebewesen der Abwasserreinigung

## Bakterien

Bakterien sind einzellige Organismen ohne Zellkern, zumeist kugel- oder stäbchenförmig. Einzelzellen können sich zu Zellkolonien zusammenfügen die faden- oder klumpenförmig sein können. Die Zellgröße liegt bei 0,001 bis 0,01 mm (1 - 10µm). Sie sind meist von einer Schleimhülle umgeben, die wichtig für den Zusammenhalt der „Flocken“ beim Belebungsverfahren und zur Bildung der Bakterienschicht ("Rasen“) am Tropfkörper ist. Wenn zuviel Schleim gebildet wird, können sich Schwierigkeiten ergeben (z.B. Zuckerfabrikabwasser kann in Gallerte übergehen, Eisen- und Manganbakterien können Rohrleitungen verstopfen).

Bakterien vermehren sich durch Zellteilung, die unter günstigen Bedingungen (ausreichende Nahrung, optimale Temperatur) sehr schnell stattfinden kann (20 - 40 Minuten). Unter den Bedingungen der Abwasserreinigung muss jedoch mit mehreren Stunden bis Tagen gerechnet werden.

Bakterien können auch in Scheiden wachsen und lange Fäden bilden, die das Absetzen des Belebtschlammes behindern (• •Blähschlamm).

Im Haushalt der Natur spielen die Bakterien eine große Rolle. Nur einige unter ihnen sind Krankheitserreger z.B. Thyphus, Paratyphus, Cholera, etc.

## Viren

Viren sind die kleinsten Organismen, die auch mit dem Mikroskop nicht mehr sichtbar sind und an der Grenze zwischen der unbelebten und belebten Natur stehen. Sie sind keine selbstständigen Organismen, haben keinen eigenen Stoffwechsel und bedienen sich lebender Zellen zu ihrer Vermehrung. Außerhalb der "Wirtszelle“, die sie meist zerstören, können sie sich nicht vermehren bleiben aber lange Zeit infektiös (virulent). Sie rufen viele Infektionskrankheiten hervor: Pocken, Kinderlähmung, infektiöse Gelbsucht (Hepatitis), Grippe, Maul- und Klauenseuche.

## Urtierchen und Protozoen

Einzellige Lebewesen unter 1 mm Größe. Auf Grund ihres typischen Aussehens relativ leicht zu unterscheiden. Sie dienen als Leitorganismen für den Verschmutzungsgrad von Gewässern. Sie stellen ein wichtiges Glied in der Nahrungskette dar, indem sie die frei schwebenden Bakterien fressen und selbst wieder höheren Tieren als Nahrung dienen.

### •••Wechseltierchen oder Amöben

Die Zellen sind ohne feste Gestalt und bewegen sich durch Scheinfüßchen fort. Die Beute wird vom Protoplasma umschlossen. Neben den "Nacktamöben" gibt es auch "Schalenamöben", die sich ähnlich wie Schnecken in eine spezifisch geformte Schale zurückziehen können. Auch hier gibt es einzelne Krankheitserreger, z.B. Amöbenruhr.



### ••• Geißeltierchen oder Flagellaten

Sie tragen 1 - 2 Geißeln, mit denen sie sich sehr rasch fortbewegen können. Im Gegensatz zu Bakteriengeißeln sind ihre Geißeln im gewöhnlichen Lichtmikroskop sichtbar. Ein Massenauf-treten lässt auf einen schlechten Betriebszustand einer Kläranlage schließen (sehr hoch bzw. überlastete Anlagen). Auch bei der Inbetriebnahme einer Anlage treten sie in einer bestimmten Phase auf.

### ••• Wimperntierchen oder Ciliaten

Bewegen sich mit Hilfe haarähnlichen Wimpern, die an der Zelloberfläche angeordnet sind. Es gibt freischwimmende und an Stielen festsitzende Formen. Eine Klassifizierung ist mit Bestimmungstabellen und einiger Erfahrung möglich.

#### Einige wichtige Vertreter:

Frei beweglich: Pantoffeltierchen

Kriechend: Aspidisca

Festsitzende Formen: Glockentierchen

## Höhere Lebewesen

### ••• Fadenwürmer (Nematoden)

0,5 bis 1,0 mm lang. Typisch schlängelnde Bewegung, mit der sie sich zwischen den Schlammflocken bewegen. Häufig im Belebungsbecken einer normal belasteten Anlage.

### ••• Rädertierchen

In normal bis schwach belasteten Anlagen sind sie sehr häufig zu beobachten (Indikator für nitrifizierende Anlagen).

### ••• Pilze

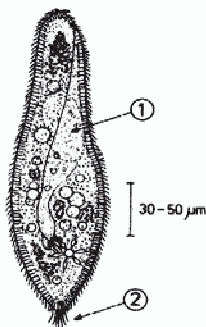
Treten nur bei niederem pH-Wert (4,5 - 5,5) oder bei spezieller Abwasserzusammensetzung (Molkerei-, Konservenfabrikabwasser) in größeren Mengen auf. Bilden verzweigte Fäden. Zum Unterschied von Bakterienfäden sind sie an der größeren Dicke leicht unter dem Mikroskop zu unterscheiden. Sie spielen bei der Abwasserreinigung nur eine geringe Bedeutung.



## ••• Algen

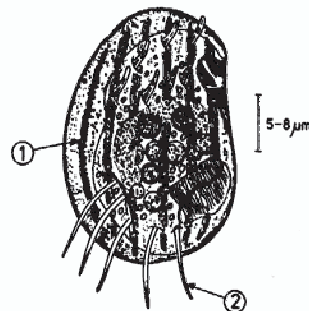
Wie die Pilze haben auch die Algen bei der Abwasserreinigung nur eine geringe Bedeutung.

Algen bauen ihre Körpersubstanzen mit Hilfe von Licht und  $\text{CO}_2$  auf. Bei hoher Nährstoffzufuhr ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) kann es besonders in Seen zur Massentwicklung kommen und dadurch wieder zu einer Verschmutzung dieser Gewässer führen (Eutrophierung). Im Mikroskop kann man verschiedenste Formen beobachten, die meisten sind an der Grünfärbung leicht erkennbar.



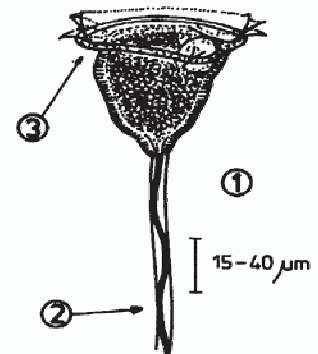
**Pantoffeltierchen:**

- 1 = Mundfeld
- 2 = Cilien



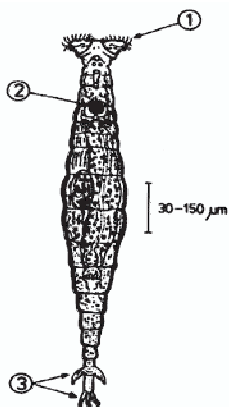
**Aspidisca**

- 1 = deutliche Rippen
- 2 = Cilien



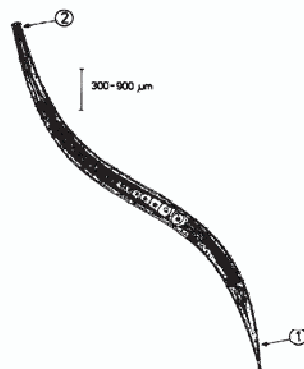
**Glockentierchen**

- 1 = Einzeltier
- 2 = dicker Stiel mit Muskel
- 3 = verbreitetes Mundfeld



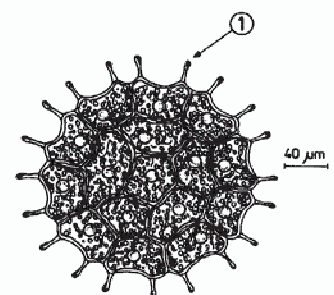
**Rädertierchen**

- 1 = Räderorgan
- 2 = Kaumagen
- 3 = Fuß mit Zehen



**Nematode**

- 1 = Körperende
- 2 = Kopf nicht abgesetzt



**Grünalge**

- 1 = Randzellen spitz ausgezogen