

The background features a grid of triangles in shades of blue and grey. A large, semi-transparent purple circle is centered on the page, containing the title. To the right, a blue cone contains various colorful microscopic organisms like bacteria and viruses. At the bottom, a close-up of a hand holding water is visible.

Pädagogisches Arbeitsblatt Nr. 6 :  
Wasser und Mikroorganismen





## LERNZIELE :

Diese Aktivität ermöglicht den Schülern, Beobachtungen anzustellen, sowie bestimmte manuelle Bearbeitungen zu interpretieren, und so eine wissenschaftliche Vorgehensweise zu praktizieren. Durch das Heranführen an Experimentiermethoden werden die Schüler zum Nachforschen veranlasst.

Bei dieser Aktivität erwerben die Schüler folgende Kompetenzen und Wissensinhalte:

- Die verschiedenen Arten von Umweltverschmutzung unterscheiden
- Die Auswirkungen eines Schadstoffs auf die Artenvielfalt eines Ökosystems beschreiben
- Erklären, wie der Mensch eine von ihm selbst verursachte Umweltverschmutzung behebt
- Evaluieren, welche Umweltfolgen die Verwendung bestimmter Lösungen im Haushalt haben, z.B. Salzsäure, flüssiger Abflussreiniger usw
- Die verschiedenen Typen von Mikroorganismen identifizieren
- Ein Experiment durchführen, um die Rolle von Mikroorganismen im Rahmen eines Gärprozesses zu veranschaulichen
- Die nützliche oder schädliche Wirkung bestimmter Mikroorganismen auf den menschlichen Körper erläutern
- Auf der Grundlage der biogeochemischen Kreisläufe erklären, was mit organischen Schadstoffen passiert

## COMPÉTENCES PRINCIPALES :

- UAA 11 : Menschliches Handeln und Veränderungen der Umwelt  
Kompetenz: Analyse der Auswirkungen menschlichen Handelns, durch das Schadstoffe in ein Ökosystem gelangen, nach dem Prinzip des forschenden Lernens
- UAA 18 : Mensch und Mikroorganismen.  
Lernziel: Nach dem Prinzip des forschungsbasierten Lernens beschreiben, welche Rolle Mikroorganismen im Leben des Menschen spielen.



4 Unterrichtsstunden im  
Fach  
naturwissenschaftliche  
Ausbildung



## MISE EN SITUATION :

Seit 1999 investiert die Öffentliche Gesellschaft für Wasserwirtschaft (ÖGW) in den Schutz unserer Umwelt. Die von der Wallonischen Region gegründete ÖGW ist eine Aktiengesellschaft öffentlichen Rechts, deren Auftrag im Wesentlichen darin besteht, die Koordinierung und Finanzierung der Wasserwirtschaft, die kollektive Aufbereitung der Abwässer und die öffentliche Verwaltung der Einzelabwasserbehandlung zu gewährleisten. In dem Bestreben, ihre Umweltschutzmaßnahmen weiter auszubauen, gibt die ÖGW, in Zusammenarbeit mit allen akkreditierten Abwasserbehandlungseinrichtungen in der Wallonie, eine Studie in Auftrag, um die Vorteile des Einsatzes von Mikroorganismen, die Grenzen der biologischen Klärung, die Faktoren, die diese beeinflussen, sowie die Auswirkungen unseres täglichen Handelns auf die Qualität unserer Umwelt besser zu begreifen.

Die Schüler werden aufgefordert, in die Rolle von Experten auf dem Gebiet des bakteriellen Abbaus zu schlüpfen (Bakteriologen/-innen, Forscher/-innen im Bereich der Biotechnologie, Ingenieure/-innen in Agrarwissenschaften), um diese Studie durchzuführen.



## GRUNDVORAUSSETZUNGEN

### ● UAA 6 : Artenvielfalt und Evolution

Lernziel: Nach dem Prinzip des forschungsbasierten Lernens die Lebewesen beschreiben, die ein bestimmtes Ökosystem bevölkern, und ihre intraspezifischen und interspezifischen Beziehungen analysieren.

Die Schüler sind in der Lage, abiotische Faktoren zu identifizieren und ein Nahrungsnetz zu charakterisieren.

### ● UAA 10 : Alle Lebewesen brauchen Energie, um funktionieren zu können

Lernziel: Nach dem Prinzip des forschungsbasierten Lernens nachweisen, dass alle Organismen Energie benötigen.

Die Schüler sind in der Lage, die nötigen Voraussetzungen aufzuzählen, damit Leben entstehen kann, und die Begriffe „autotrophe“ und „heterotrophe“ Organismen zu definieren.

### ● UAA 3 : Die Zelle, Basiseinheit alles Lebendigen

Lernziel: Nach dem Prinzip des forschungsbasierten Lernens beobachten, dass ein mehrzelliger Organismus aus Zellen besteht, die alle lebensnotwendigen Funktionen gewährleisten.

Die Schüler sind in der Lage, den Aufbau einer Zelle zu beschreiben und zwischen eukaryotischen und prokaryotischen Zellen zu unterscheiden.

### ● UAA 14 : Wässrige Lösungen

Lernziel: Nach dem Prinzip des forschungsbasierten Lernens feststellen, ob bestimmte im Alltag vorkommende Stoffe zu den Säuren oder zu den Basen gehören, um sie korrekt und wirksam zu verwenden.

Die Schüler sind in der Lage, eine Lösung zuzubereiten und durch Ermittlung des pH-Wertes festzustellen, ob es sich um eine Säure, eine Base oder eine neutrale Flüssigkeit handelt.

## ANMERKUNG

Achtung, die bakterielle Klärung von Wasser bedarf einer gewissen Zeit.



## ABLAUF DER AKTIVITÄT :

### PHASE 1:

1 Unterrichtsstunde

- **Erstellung einer Liste von „Abfällen“** Auf der Grundlage ihrer eigenen, alltäglichen Gewohnheiten sollen die Schüler überlegen, welche Substanzen sich in den Haushaltsabwässern ihrer Wohnung wiederfinden könnten<sup>(1)</sup>.
- **Klassifizierung (📄1)** der genannten Substanzen in organische und nicht organische, biologisch abbaubare und nicht biologisch abbaubare Stoffe. Die Schüler werden über den Zusammenhang zwischen organischen Stoffen und biologischer Abbaubarkeit befragt.
- **Herstellung der Versuchsanordnung (📄2)**. Mit Hilfe des bereitgestellten Materials bereiten die Schüler „Abwasser“ zu<sup>2)</sup>.
- **Verteilung der Dokumente** : Die Schüler beobachten die Ergebnisse und beantworten die gestellten Fragen.
- **Strukturierung (📄3 et 4)** : Verständnis der einzelnen Etappen zur Aufbereitung städtischen Abwassers (normales Haushaltsabwasser) und des Verfahrens zur Abscheidung der darin gelösten organischen Stoffe (z.B.: des Zuckers aus dem Apfelsaft).

In dieser Phase kehren die Schüler zu ihrer ursprünglichen Präsentation zurück. Sie rekonstruieren ein Abwasser, sie sind in der Lage, Abfälle zu klassieren und können erkennen, was zur biologischen Behandlung geeignet ist.

### PHASE 2:

2 Unterrichtsstunden

- **Verteilung der Dokumente (📄5)**. Jeder Schüler erhält Fotos von Mikroorganismen. Die Schüler müssen diese Organismen klassieren und benennen. Außerdem müssen sie den Zusammenhang zwischen den lebenden Organismen herstellen und entscheiden, ob diese in einer Kläranlage eingesetzt werden dürfen, oder nicht.
- **Vorstellung der 4 Haupttypen von biologischen Kläranlagen**. Im Klassenverband, Herstellung der Nahrungskette für Bakterien in einem Tropfkörper. Die Schüler werden aufgefordert, die Organismen zu nennen, die zum Abbau der organischen Substanz eingesetzt werden können.
- **Strukturierung (📄6)**. Austausch der gefundenen Antworten im Klassenverband, Zusammenfassung an der Tafel mit Namen, Fotos und Klassifizierung.

Diese Phase ermöglicht den Schülern, die Vielfalt der Organismen in einer Kläranlage zu begreifen.

- **Verteilung der Dokumente** (📄7). Gruppen von 3-4 Schülern bilden. Jeder Schüler erhält Anweisungen über die Vorgehensweise bei seinem Experiment. Jeder Gruppe wird außerdem das entsprechende Material zur Verfügung gestellt. Die Schüler müssen die Anweisungen lesen und sich mit dem Versuchsmaterial vertraut machen.
- **Verteilung des Fragebogens** (📄8). Darauf können die Schüler ihre Beobachtungen vermerken.
- **Räumliche Einteilung des Klassenzimmers**. Das Material muss so angeordnet werden, dass die Schüler in Gruppen arbeiten können. Einen Tisch vorsehen, auf dem die Flaschen mit dem Material und den gemeinsam genutzten Lösungen abgestellt werden können.
- **Manuelle Bearbeitung**. Mit Hilfe der Anweisungen führen die Schülergruppen die Experimente durch und vervollständigen den Fragebogen. Dieser ermöglicht ihnen, den durchgeführten Versuch mit der Realität in Zusammenhang zu bringen. Bei diesem Experiment wird die Aktivität der Bakterien in einem aquatischen Umfeld mit gelösten Substanzen verdeutlicht.

Falls die Schüler sich mit der Interpretation des Experiments schwertun, steht Ihnen der Verbesserungsbogen zur Verfügung (📄9).

Diese Etappe gibt den Schülern die Gelegenheit, auf der Grundlage von Experimenten Nachforschungen anzustellen, ihre Ergebnisse zu strukturieren und ihre ursprünglichen Vorstellungen mit den gewonnenen Erkenntnissen abzugleichen. Sie ermöglicht ihnen außerdem, in die Rolle eines wissenschaftlichen Experten zu schlüpfen.

- **Strukturierung** (📄10). Synthese der gesammelten Erkenntnisse. Gemeinsame Zusammenfassung der Beobachtungen, Schlussfolgerungen und Antworten auf den Fragebogen.
- **Verteilung der Ausbildungsprogramme** (Studien- und Ausbildungsgänge) für die in Verbindung mit dieser Aktivität kennen gelernten Berufe (verfügbar in der Box der Berufe).

Bei dieser Aktivität schlüpfen die Schüler in die Rolle wissenschaftlicher Experten und lernen dabei die nachstehend aufgelisteten Berufe kennen. In der Box der Berufe finden Sie die Ausbildungsprogramme für diese Berufe :

- Bakteriologe/-gin (AP4, AP5)
- Biotechnologie-Forscher (AP4, AP5, AP6)
- Ingenieur/-in in Agrarwissenschaften (AP1, AP15)



Weitere Informationen finden Sie in den Berufssteckbriefen auf der Webseite [metiers.siep.be](https://www.metiers.siep.be).



Sie können diese Berufe im Rahmen von Technosphère 2.0 auch beim Bau der Kläranlage und bei der Analyse der Wasserqualität genauer kennen lernen

(1) Diese Vorschläge entweder gemeinsam an der Tafel oder individuell auflisten.

(2) Die Schüler bitten, Substanzen mitzubringen, von denen sie glauben, dass sie im Abwasser zu finden sind, und sie als Material für das Experiment nutzen.



## PÄDAGOGISCHE RESSOURCEN :

- **Ouest-France. Sept déchets à ne surtout pas jeter dans les toilettes [online].**  
Verfügbar unter : <https://www.ouest-france.fr/leditiondusoir/data/34529/reader/reader.html#!preferred/1/package/34529/pub/49855/page/18> (27/05/2019)
- **Wikipédia. Matière organique [online].**  
Verfügbar unter : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Mati%C3%A8re\\_\\_organique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mati%C3%A8re__organique) (27/05/2019)
- **Futura planète. Bactéries dévoreuses de plastique : quelles solutions ? [online].**  
Verfügbar unter : <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/bacteries-bacteries-devoreuses-plastique-solutions-9812/> (27/05/2019)
- **AIDE. Assainissement collectif [online].**  
Verfügbar unter : <https://www.aide.be/epuration/assainissement-collectif> (27/05/2019)
- **ÖGW. Verständnis der Funktionsweise einer Kläranlage [online].**  
Verfügbar unter : <http://www.spge.be/fr/fonctionnement-d-une-station-d-epuration.html?IDC=1296&IDD=1877> (27/05/2019)
- **Ministère de l'agriculture et de la pêche. Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration : origines et solutions [online].**  
Verfügbar unter : <http://www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae33.pdf> (27/05/2019)
- **1H2O3. Bactéries et micro-organismes Bénéfiques et applications pour le traitement de l'eau [online].**  
Verfügbar unter : [www.1h2o3.com/apprendre/bacteries-et-micro-organismes](http://www.1h2o3.com/apprendre/bacteries-et-micro-organismes) (27/05/2019)
- **Pédagogie Nantes. Flore d'intérêt industriel [online].**  
Verfügbar unter : [https://www.pedagogie.ac-nantes.fr/medias/fichier/flores-industrielles-diapo-vsitaec\\_\\_1493307299879-pdf](https://www.pedagogie.ac-nantes.fr/medias/fichier/flores-industrielles-diapo-vsitaec__1493307299879-pdf) (27/05/2019)
- **CAIRN.INFO. Les résidus de médicaments présentent-ils un risque pour la santé publique ? [online].** Disponible sur : <https://www.cairn.info/revue-sante-publique-2010-3-page-325.htm> (27/05/2019)

### ZUR WEITEREN VERTIEFUNG :

- **Megatech. Microorganisms and their role in the activated-sludge process [online].**  
Verfügbar unter : <http://www.megatech-multi.com/WWTP.htm> (27/05/2019)
- **Degrémont Suez, Mémento technique de l'eau**  
- Tome 1, 2005, 785p.
- **Edeline, L'Épuration biologique des eaux - Théorie et technologie des réacteurs,**  
CEBEDOC, 1997, 303p.
- **CEDUS, Cultures sucre. Propriétés chimiques et physiques du saccharose : [online].**  
Verfügbar unter : [https://www.sucre-info.com/content/uploads/2005/04/proprietes\\_\\_saccharose.pdf](https://www.sucre-info.com/content/uploads/2005/04/proprietes__saccharose.pdf) (27/05/2019)



## PÄDAGOGISCHES TOOL 1 : NACHBILDUNG EINES ABWASSERS

Welche Substanzen sind in deinem Abwasser zu finden (Küchenabwasser, Badabwasser, Toilettenabwasser)?

---

---

---

---

---

---

---

---

Klassiere die verschiedenen erwähnten Substanzen in zwei Kategorien: organische und nicht organische Stoffe

---

---

---

---

---

---

---

---

Klassiere die verschiedenen erwähnten Substanzen in zwei Kategorien: biologisch abbaubare und nicht biologisch abbaubare Stoffe

---

---

---

---

---

---

---

---

Sind alle organischen Stoffe biologisch abbaubar? Begründe deine Antwort.

---

---

---

---

---

---

---

---



## PÄDAGOGISCHES TOOL 2 : VORGEHENSWEISE UND BEOBACHTUNGEN : ABWASSERKLÄRUNG

### Material :

- Ein großes Gefäß oder Becherglas (2L) voll Wasser
- Speiseöl
- Ein Rest Apfelsaft
- Eine Stange Porree oder ein vergleichbares Stück Gemüse mit Wurzeln voller Erde
- Ein Stück Seife
- Kleine Stücke organisches Pflanzenmaterial (Kochwasser von Kartoffeln mit Kartoffelstückchen usw.)
- Eine Rolle Toilettenpapier
- Oder die von den Schülern mitgebrachten Materialien

### Vorgehensweise :

- Fülle das große Gefäß mit Wasser und füge einen der Abfallstoffe der Schüler oder einen Abfallstoff aus der Liste hinzu. Wiederhole das Experiment mit allen Abfällen, die dir zur Verfügung stehen.

### Beobachtungen :

.....

.....

.....

In welchen Etappen erfolgt die Klärung städtischer (d.h. normaler häuslicher) Abwässer ?

.....

.....

.....

.....

Wie können die gelösten organischen Stoffe daraus entfernt werden ?

.....

.....

.....

.....



## PÄDAGOGISCHES TOOL 3 : NACHBILDUNG EINES ABWASSERS VERBESSERUNGSBOGEN

Welche Substanzen sind in deinem Abwasser zu finden (Küchenabwasser, Badabwasser, Toilettenabwasser) ?

Zum Beispiel, ohne Anspruch auf Vollständigkeit :

- Küchenabwässer: Essensreste, Fette, Reinigungsmittel, Erde, Plastikstückchen...
- Badabwässer: Seife, Haare, Waschpulver, Schmuckstück (das versehentlich in den Abfluss gerutscht ist), Wattestäbchen, Zahnseide, Kontaktlinsen...
- Toilettenabwässer: Fäkalien, Urin, Toilettenpapier, Reinigungsmittel, Medikamente, Tampons, Zigarettenkippen...

Klassiere die verschiedenen erwähnten Substanzen in zwei Kategorien: organische und nicht organische Stoffe

Classe les diverses matières citées en deux catégories : organiques et non-organiques.

Organische Stoffe	Nicht organische Stoffe
Essensreste	Erde
Fette	Plastikstück
Reinigungsmittel	Schmuck
Seife	Wattestäbchen
Haare	Tampon
Waschpulver	Zahnseide
Fäkalien	Kontaktlinsen
Urin	Zigarettenkippe
Toilettenpapier	
Reinigungsmittel	
Medikamente	

## PÄDAGOGISCHES TOOL 3: NACHBILDUNG EINES ABWASSERS VERBESSERUNGSBOGEN

**Klassiere die verschiedenen erwähnten Substanzen in zwei Kategorien: biologisch abbaubare und nicht biologisch abbaubare Stoffe**

Biologisch abbaubare Stoffe	Nicht biologisch abbaubare Stoffe
Essensreste	Reinigungsmittel
Fette	Erde
Reinigungsmittel	Plastikstück
Seife	Seife
Waschpulver	Haare
Fäkalien	Waschpulver
Urin	Schmuck
Toilettenpapier	Wattestäbchen
Reinigungsmittel	Zahnseide
Medikamente	Kontaktlinsen
	Toilettenpapier
	Reinigungsmittel
	Medikamente
	Tampon
	Zigarettenkippe

**Sind alle organischen Stoffe biologisch abbaubar? Begründe deine Antwort.**

Organische Stoffe sind, im Gegensatz zu anorganischen Stoffen, Substanzen, die von Lebewesen erzeugt werden. Sie bestehen aus Wasser und Kohlenstoffverbindungen. Sie entwickeln sich in ihrem jeweiligen Ökosystem im Rahmen von Zyklen rasch weiter, und durchlaufen dabei verschiedene Etappen der Zersetzung und der Synthese.

Es ist möglich, organische Verbindungen, die in der Natur nicht vorkommen, künstlich herzustellen, insbesondere aus Erdöl (z.B. Plastik). Einige dieser Erzeugnisse sind sehr schlecht biologisch abbaubar (sehr langer Zerfallsprozess) und schaden den natürlichen Zyklen der Biomasse (1).

Als biologischen Abbau bezeichnen wir die Zersetzung von Materie durch lebende Organismen. Erst durch die Einwirkung von Bakterien werden organische Verbindungen assimilierbar. Wie schnell gelöste organische Stoffe assimiliert werden können, steht in direktem Zusammenhang mit der Art der Moleküle und mit ihrer biologischen Abbaubarkeit.

Folglich sind also nicht alle organischen Stoffe biologisch abbaubar.

Beispiele: Gewisse Medikamente, die meisten petrochemischen Kunststoffe (NB: auf diesem Gebiet gibt es einige revolutionäre Ansätze<sup>(2)</sup>).

(1) [https://fr.wikipedia.org/wiki/Mati%C3%A8re\\_organique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mati%C3%A8re_organique)

(2) (2) Weitere Informationen über „plastikfressende“ Bakterien findet ihr unter : <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/bacteries-bacteries-devoreuses-plastique-solutions-9812/>



## PÄDAGOGISCHES TOOL 4: VORGEHENSWEISE UND BEOBACHTUNGEN: ABWASSERKLÄRUNG: VERBESSERUNGSBOGEN

### BEOBACHTUNGEN :

Nach kurzer Zeit steigt das Öl wieder an die Oberfläche. Grobe Bestandteile und Schwebeteilchen sinken auf den Gefäßboden. Das Wasser ist trüb und gefärbt aufgrund der darin gelösten organischen Stoffe.

### In welchen Etappen erfolgt die Klärung städtischer (d.h. normaler häuslicher) Abwässer<sup>(3)</sup>?

**Rechen** : Das schmutzige Wasser wird durch mehrere Rechen geführt, die alle groben Bestandteile zurückhalten.

**Fettfang** : Die an der Oberfläche treibenden Öle und Fette werden abgeschöpft.

**Sandfang** : Im selben Becken setzen sich Sand und andere mineralische Verunreinigungen am Boden ab.

**(Mechanische Reinigung** : Entfernung der im Wasser schwebenden Feststoffe durch Sedimentation.

In manchen Kläranlagen verweilt das Wasser über zwei Stunden in einem dafür vorgesehenen, großen Vorklärbecken.)

**Biologische Reinigung** : Anschließend wird das Wasser in das Belebungsbecken geführt; man bezeichnet es auch als biologischen Reaktor. Im schmutzigen Wasser leben „Bakterien“ genannte, mikroskopisch kleine Organismen. Diese können, frei beweglich, einen „Belebtschlamm“ anreichern; oder sie können auf einem „Festbett“ aufgewachsen sein: auf einem Tropfkörper /Rieselbettreaktor oder Scheibentauchkörper. Unter der stimulierenden Wirkung von Sauerstoffbläschen, die dem Becken zugeführt werden, ernähren sich diese Bakterien von den belastenden organischen Inhaltsstoffen des Wassers und tragen so zu seiner Reinigung bei.

Anschließend fließt das Wasser in ein Nachklärbecken.

Hier wird der Belebtschlamm durch Absetzen vom gereinigten Abwasser abgetrennt. Der Schlamm wird zur Weiterbehandlung entfernt.

**In Kläranlagen mit mehr als 10.000 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen**, muss das Wasser einmal oder sogar mehrere Male einer solchen Bakterienbehandlung unterzogen werden. So soll die Stickstoff- und Phosphorkonzentration im Wasser verringert werden.

**Ende der Behandlung** : Das gereinigte Wasser wird in den Flusslauf zurückgeführt.

Achtung, das geklärte Wasser ist nicht trinkbar! Es enthält nicht unerhebliche Mengen der Mikroorganismen, die zu seiner Reinigung beigetragen haben. Es ist ein Wasser von zufriedenstellender Qualität für das Ökosystem im Umfeld des jeweiligen Flusslaufes, denn die Mikroorganismen werden unter der Einwirkung der ultravioletten Sonnenstrahlung abgetötet oder von Räubern gefangen. Befindet sich der Ausgang der Kläranlage jedoch oberhalb einer Badezone, so muss das geklärte Wasser noch einer Desinfektionsetappe (UV-Strahlung oder Schönungsteich) unterzogen werden, um die Menge der mitgeführten Mikroorganismen zu reduzieren.

**Schlammbehandlung** : Sie betrifft sowohl den Primärschlamm (aus der mechanischen Reinigung) als auch den Belebtschlamm. Die Schlämme finden als Dünger in der Landwirtschaft Verwendung oder werden verbrannt. Vor dem Verbrennen werden sie einem Entwässerungsverfahren unterzogen.

### Wie können die gelösten organischen Stoffe aus dem Wasser entfernt werden ?

Physikalische Mittel (Rechen, Sedimentation...) funktionieren hier nicht. Es werden also biologische Verfahren mit Mikroorganismen (hauptsächlich Bakterien) eingesetzt; diese sind in der Lage, die gelösten organischen Stoffe zu zersetzen, um ihre Stoffwechselbedürfnisse zu decken.

(3) Webseiten der ÖGW und der AIDE, <https://www.aide.be/epuration/assainissement-collectif>;  
<http://www.spge.be/fr/fonctionnement-d-une-station-d-epuration.html?IDC=1296&IDD=1877>



## PÄDAGOGISCHES TOOL 5 : MIKROORGANISMEN BESSER KENNEN LERNEN

Benenne diese verschiedenen Organismen und klassiere sie als Prokaryoten (Bakterien) oder einzellige Eukaryoten (Protozoen) und vielzellige Eukaryoten (Rädertierchen, Würmer, Insekten)

Die abgebildeten Fotos dienen als Beispiele.

foto 1



foto 2

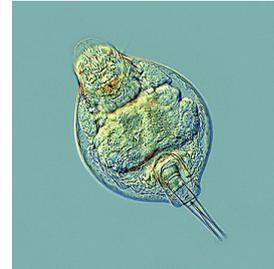


foto 3

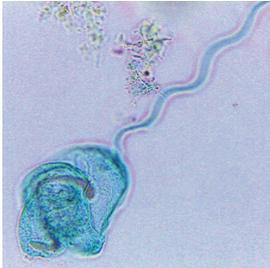


foto 4

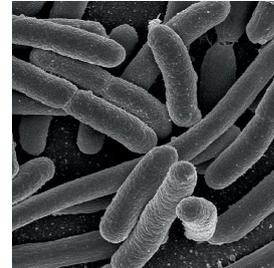


foto 5



foto 6



foto 7



foto 8

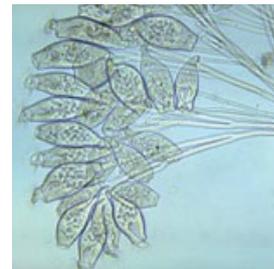


foto 9



foto 10



## PÄDAGOGISCHES TOOL 5: MIKROORGANISMEN BESSER KENNEN LERNEN

foto 11

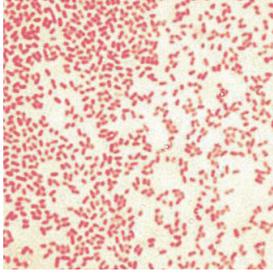


foto 12

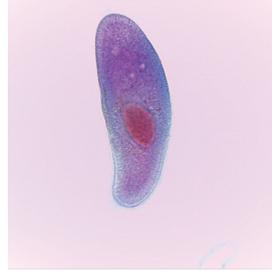


foto 13

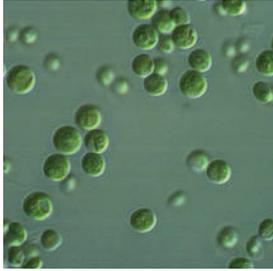


foto 14



foto 15



Welche der vorangehend aufgelisteten Mikroorganismen tragen zum biologischen Abbau gelöster organischer Stoffe bei? Welche vertilgen andere vorhandene Organismen? Welchen Zusammenhang gibt es zwischen diesen Lebewesen ?

---

---

---

Kannst du mit Hilfe der abgebildeten Fotos die Nahrungskette der im Tropfkörper vorkommenden Arten rekonstruieren?

---

---

---

Welche 4 Haupttypen von biologischer Behandlung finden wir in Kläranlagen ?

---

---

---



## PÄDAGOGISCHES TOOL 6: MIKROORGANISMEN BESSER KENNEN LERNEN VERBESSERUNGSBOGEN

Benenne diese verschiedenen Organismen und klassiere sie als Prokaryoten (Bakterien) oder einzellige Eukaryoten (Protozoen) und vielzellige Eukaryoten (Rädertierchen, Würmer, Insekten).

Foto Nr.	Mikroorganismen	Eigenschaften	Quellennachweise
1	Eukaryoten – Bewimperte Protozoen <i>Chilodonella uncinata</i>	Kommt in Belebtschlamm vor	<a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Chilodonella_uncinata">https://en.wikipedia.org/wiki/Chilodonella_uncinata</a>
2	Eukaryoten – Rädertierchen <i>Lecane sp.</i>	In Belebtschlamm vorkommendes Metazoon	<a href="https://www.flickr.com/photos/microaqua/3658017532/?ytcheck=1&amp;new_session=1">https://www.flickr.com/photos/microaqua/3658017532/?ytcheck=1&amp;new_session=1</a>
3	Eukaryoten – stieltragende Protozoen – Glockentierchen <i>Vorticella sp. (40 x vergrößert)</i>	Im Süßwasser lebend, sitzt Steinen oder Pflanzen auf (könnte z.B. im Schönungsteich vorkommen.)	HEPL
4	Prokaryoten <i>Escherichia coli</i> , auch Kolibakterium	Stäbchenförmige Bakterie („Bazillus“), die sehr häufig im menschlichen Darm vorkommt. Vergärt Glukose. Einige Stämme sind pathogen.	<a href="https://fr.wikipedia.org/wiki/Bact%C3%A9rie#/media/File:EscherichiaColi_NIAID.jpg">https://fr.wikipedia.org/wiki/Bact%C3%A9rie#/media/File:EscherichiaColi_NIAID.jpg</a>
5	Eukaryoten – geißeltragende Protozoen – <i>Leishmania sp.</i>	Säugetiere befallender Parasit, übertragen durch Sandmücken, welcher die Krankheit Leishmaniose auslöst. Nicht in Kläranlagen, aber veranschaulicht die geißeltragenden Protozoen.	<a href="https://www.biologycorner.com/lesson-plans/phyta/kingdom-protista/">https://www.biologycorner.com/lesson-plans/phyta/kingdom-protista/</a>
6	Eukaryoten – Rädertierchen <i>Lecane sp.</i>	In Belebtschlamm vorkommendes Metazoon	<a href="http://www.megatech-multi.com/WWTP.htm">http://www.megatech-multi.com/WWTP.htm</a>
7	Eukaryoten – geißeltragende Protozoen – Augentierchen <i>Euglena sp.</i>	Kommt vor allem in nährstoffreichem Süßwasser vor, nicht in Kläranlagen, aber veranschaulicht die geißeltragenden Protozoen mit Chloroplasten.	<a href="http://www.junglekey.fr/search.php?query=Euclena&amp;type=image&amp;lang=fr&amp;region=fr&amp;img=1&amp;adv=1">http://www.junglekey.fr/search.php?query=Euclena&amp;type=image&amp;lang=fr&amp;region=fr&amp;img=1&amp;adv=1</a>
8	Eukaryoten – stieltragende Protozoen – Glockentierchen <i>Opercularia sp.</i> , Säulenglöckchen	Kolonien an verzweigten Stielen, kommt in Belebtschlamm vor.	<a href="http://www.megatech-multi.com/WWTP.htm">http://www.megatech-multi.com/WWTP.htm</a>
9	Eukaryoten – Arthropoden – Insekten <i>Psychoda sp. (Larvenstadium)</i>	Zweiflügler, kann seine Eier auf Biofilm (Tropfkörper) ablegen.	<a href="https://diptera.info/forum/viewthread.php?thread_id=79028">https://diptera.info/forum/viewthread.php?thread_id=79028</a>
10	Eukaryoten – Arthropoden – Insekten <i>Psychoda sp. (adultes Stadium)</i>	Zweiflügler, kann seine Eier auf Biofilm (Tropfkörper) ablegen.	<a href="https://www.flickr.com/photos/aisse_gaertner/9548910181?ytcheck=1&amp;new_session=1">https://www.flickr.com/photos/aisse_gaertner/9548910181?ytcheck=1&amp;new_session=1</a> <a href="https://images.search.yahoo.com/search/images?_ylt=Awre1x5uTtcZ_QA1opXNyoA_ylu=X3oDMTB0N2Noc2l1BGNvbG8DYmYxBHBvcwMxBH-Z0aWQDBHNiYWNwaXZz?p=Psychoda&amp;fr2=piv-web&amp;fr=m-cafee_uninternational#d=18&amp;iurl=https%3A%2F%2Fdiptera.info%2Fforum%2Fattachments%2F17d25a_3.jpg&amp;action=click">https://images.search.yahoo.com/search/images?_ylt=Awre1x5uTtcZ_QA1opXNyoA_ylu=X3oDMTB0N2Noc2l1BGNvbG8DYmYxBHBvcwMxBH-Z0aWQDBHNiYWNwaXZz?p=Psychoda&amp;fr2=piv-web&amp;fr=m-cafee_uninternational#d=18&amp;iurl=https%3A%2F%2Fdiptera.info%2Fforum%2Fattachments%2F17d25a_3.jpg&amp;action=click</a>
11	Prokaryoten – Gramnegative Bakterien – <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Bazillus von rosaroter Färbung, strikt aerob, baut Zucker oxidativ ab. Kann in Kläranlagen vorkommen und zur biologischen Klärung beitragen.	<a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Gram-negative_bacteria#/media/File:Pseudomonas_aeruginosa_Gram.jpg">https://en.wikipedia.org/wiki/Gram-negative_bacteria#/media/File:Pseudomonas_aeruginosa_Gram.jpg</a>
12	Eukaryoten – bewimperte Protozoen – Pantoffeltierchen – <i>Paramecium sp. (40 x vergrößert)</i>	Verschiedene Lebensbereiche, darunter Süßwasser, stehende Gewässer, veranschaulicht Ciliata	HEPL
13	Eukaryoten – pflanzliche Protisten – Grünalgen <i>Chlorella vulgaris</i>	Kommt selten in Belebtschlamm vor, sehr häufig aber in Klärteichanlagen, außerdem an der Oberfläche von Tropfkörpern	<a href="https://sites.google.com/site/lesaiquesunesourcedenergie/conc">https://sites.google.com/site/lesaiquesunesourcedenergie/conc</a>
14	Eukaryoten – Metazoen – Amphibien – Grasfrosch <i>Rana temporaria</i>	Eindringling	<a href="https://fr.wikipedia.org/wiki/Grenouille_rousse#/media/File:Grasfrosch-Rana-temporaria-side.jpg">https://fr.wikipedia.org/wiki/Grenouille_rousse#/media/File:Grasfrosch-Rana-temporaria-side.jpg</a> (H. Krisp, 2011)
15	Eukaryoten – Metazoen – <i>Eiseniella tetraedra</i>	Ringelwurm, Wenigborster (Lumbricidae). Kommt in Tropfkörpern vor, ernährt sich vom Biofilm	<a href="http://www.biogeociencias.com/zoologia/2007_09_15/3514%20Eiseniella%20tetraedra%20Lumbricidae.jpg">http://www.biogeociencias.com/zoologia/2007_09_15/3514%20Eiseniella%20tetraedra%20Lumbricidae.jpg</a>

## PÄDAGOGISCHES TOOL 6: ENTDECKUNG DER MIKROORGANISMEN VERBESSERUNGSBOGEN

**Welche der vorangehend aufgelisteten Mikroorganismen tragen zum biologischen Abbau gelöster organischer Stoffe bei? Welche vertilgen andere vorhandene Organismen? Welchen Zusammenhang gibt es zwischen diesen Lebewesen ?**

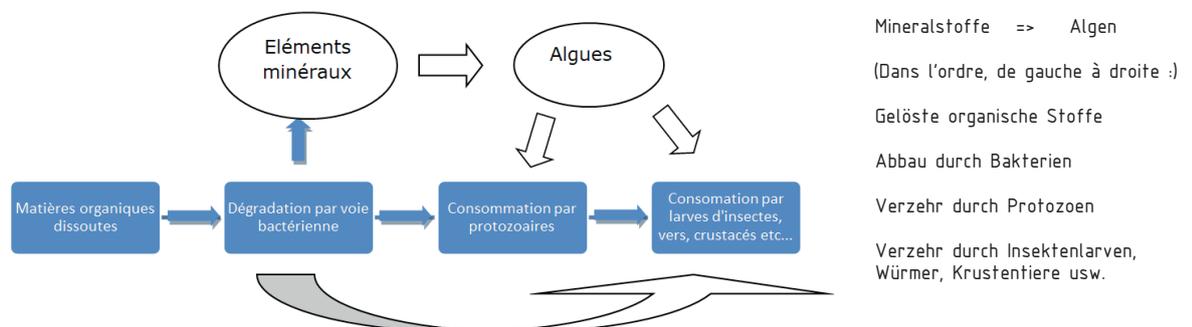
Es sind hauptsächlich heterotrophe Bakterien (z.B. Pseudomonas) und bestimmte Protozoen (vor allem Geißeltierchen), die unter Einwirkung von Sauerstoff zum biologischen Abbau gelöster organischer Stoffe beitragen.

Andere Protozoen (z.B. Wimpertierchen) ernähren sich wiederum von den Klärbakterien. Dies gilt auch für bestimmte Rädertierchen, Würmer (Eiseniella) oder Insektenlarven (Psychoda), die sich ebenfalls von diesen Bakterien ernähren; vor allem von freischwebenden Bakterien, die noch nicht zu Aggregationsverbänden oder zu Biofilm zusammengewandert sind. Sie wirken sich positiv auf die Klarheit des Wassers aus (Verringerung der Schwebeteilchen).

Algen (photosynthetische Organismen) treten da auf, wo Licht einfällt; sie bilden sich an der Oberfläche von Tropfkörpern oder in (nicht zu tiefen) Klärteichen. Als autotrophe Organismen spielen sie beim biologischen Abbau keine Rolle. Sie entwickeln sich mit Hilfe mineralischer Elemente, die beim biologischen Abbau der gelösten organischen Stoffe durch Klärbakterien entstehen. Allerdings setzen sie (durch die Photosynthese) im Wasser Sauerstoff frei, den die Klärbakterien benötigen. Diese Algen können wiederum von anderen Organismen verzehrt werden. (Rädertierchen, Würmer, Krustentiere...).

Der Grasfrosch ist hier ein Eindringling; mit dem biologischen Abbau gelöster organischer Stoffe hat er nichts zu tun. In einem natürlichen Ökosystem würde er als Räuber anderer Organismen auftreten, die ihrerseits potenzielle Räuber von Klärorganismen sind. Im „kontrollierten“ Kontext der Abwasserreinigung ist dies allerdings nicht der Fall.

**Kannst du mit Hilfe der abgebildeten Fotos die Nahrungskette der im Tropfkörper vorkommenden Arten rekonstruieren.**



**Welche 4 Haupttypen von biologischer Behandlung finden wir in Kläranlagen ?**

- **Belebtschlämme** : Die Bakterien, die sich von den gelösten Schadstoffen ernähren, wandern zu Aggregationsverbänden zusammen. Diese bleiben in einem (mit Hilfe eines Druckluftgebläses) belüfteten Becken vorübergehend in der Schwebelage, ehe sie sich zum Boden hin absetzen.
- **Scheibentauchkörper (RBC, Rotationstauchkörper)** : Die Mikroorganismen bilden einen Biofilm auf einem Träger, der sich, halb unter Wasser, um eine Achse dreht. Dieses System ermöglicht ein abwechselndes Ein- und Auftauchen, wodurch dem Klärprozess der nötige Sauerstoff zugeführt wird.
- **Tropfkörper (Rieselbettreaktor)** : Hier bilden die Mikroorganismen einen Biofilm auf Trägern, die mithilfe drehender Zufuhrrohre mit dem Abwasser besiedelt werden. Durch Öffnungen unterhalb des Festbetts wird der Bakterienrasen belüftet.
- **Klärteiche und Pflanzenfilter** : Die Klärbakterien entwickeln sich im Becken entweder auf mineralischen Trägern oder in der Schwebelage. Dabei wird die Sauerstoffzufuhr aus der Luft manchmal durch Oberflächenaeratoren verbessert.



## PÄDAGOGISCHES TOOL 7 : VORGEHENSWEISE : ERPROBUNG DER BAKTERIENAKTIVITÄT

### Material :

- Mehrere Erlenmeyerkolben (mindestens 4) oder Glasgefäße
- Plastikfolie und Gummiringe (oder zu den Gefäßen passende, hermetisch schließende Deckel)
- Nicht pathogene Bakterien (z.B. Kapseln mit probiotischen Milchsäurebakterien)
- Entionisiertes (oder destilliertes) Wasser
- Zucker (Saccharose)
- Ein Aquariumbelüfter (oder ein Magnetrührer)
- pH-Indikatorpapier oder, falls nicht vorhanden, nach dem in der Anlage beschriebenen Verfahren gewonnener Rotkohlsaft
- Saubere Pipetten (um von den Lösungen Proben zu entnehmen)
- Ein Lösungsmittel (vom Typ White Spirit oder Verdünner)
- Ein löschfester Filzstift
- Ein Thermometer zum Messen der Lufttemperatur

### Vorgehensweise :

- Stelle die 4 nummerierten Erlenmeyerkolben auf einen sauberen Tisch und gieße jeweils 300 ml entionisiertes Wasser hinein. Auf den ersten, schreibe „Kontrollprobe“, auf den zweiten „belüftetes Wasser“, auf den dritten „Anaerobiose“ und auf den vierten „Lösungsmittel“.
- Gib in alle 4 Behälter je 4-5 Teelöffel Saccharose und Sorge durch Drehbewegungen dafür, dass der Zucker sich vollständig auflöst.
- Füge den Behältern 2, 3 und 4 jeweils Bakterien hinzu (1 Kapsel pro Erlenmeyerkolben). Schüttle die Behälter.
- Füge dem 4. Behälter 5 Esslöffel Lösungsmittel hinzu. Verschließe den Behälter hermetisch.
- Stelle die Erlenmeyerkolben lichtgeschützt und bei Zimmertemperatur in einen Schrank. Notiere die Temperatur (idealerweise über 20° C).
- Miss den pH-Wert aller 4 Lösungen mit Hilfe des Indikatorpapiers (entnimm hierzu eine Probe, um nicht die gesamte Lösung einzufärben).
- Stelle den Erlenmeyerkolben mit der Kontrollprobe an die erste Stelle und verschließe ihn dicht mit Folie oder einem passenden Deckel.
- Stelle den zweiten Erlenmeyerkolben in den Schrank und platziere den Belüfter / Magnetrührer so, dass das Gefäß nicht überlaufen kann.
- Stelle schließlich das dritte und das vierte Gefäß in den Schrank, mit Folie oder einem passenden Deckel jeweils dicht verschlossen



## PÄDAGOGISCHES TOOL 8 : BEOBACHTUNGEN UND INTERPRETATIONEN : DIE BAKTERIELLE TÄTIGKEIT

6. Mindestens eine der Lösungen zeigt eine Versauerung. Stelle eine Hypothese darüber auf, was im Fall der Verwendung von Milchsäurebakterien mit dem Zucker passiert sein könnte.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

7. Wenn alle Lösungen einen veränderten pH-Wert oder ein verändertes Aussehen zeigen, stelle Hypothesen auf, um diese Ergebnisse zu erklären. Berücksichtige dabei die folgenden Punkte:  
Sind das Wasser und die Erlenmeyerkolben steril? Wurden alle Bedingungen zur Umsetzung des Experiments strikt eingehalten? Könnten über die Raumluft oder über deine Hände Bakterien oder Hefen die Lösung besiedelt haben? Weist der Erlenmeyerkolben mit dem Lösungsmittel Anzeichen einer bakteriellen Aktivität auf ?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

8. Fasse das Experiment anhand von mit Anmerkungen versehenen Schemata zusammen.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

9. Auf welche Weise könnten die zugefügten Bakterien den Säuregrad des Mediums beeinflusst haben ?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## PÄDAGOGISCHES TOOL 8 : BEOBACHTUNGEN UND INTERPRETATIONEN : DIE BAKTERIELLE TÄTIGKEIT

10. Was glaubst du, in welcher Art von Kläranlage und an welchen Stellen der Kläranlage findet man Kolonien von anaeroben Bakterien ?

---

---

---

---

---

11. Was wird aus den vorhandenen Bakterien, wenn du den Inhalt der Erlenmeyerkolben in den Ausguss oder in die Toilette schüttest? Gelangen sie zu einer Kläranlage zurück? **Darf man alle Inhalte in den Ausguss schütten, auch das Lösungsmittel aus dem vierten Erlenmeyerkolben?** Was wären die Folgen ?

---

---

---

---

---

---

---

### Anmerkungen :

Die Lösung mit dem Lösungsmittel ist zu einem toxischen Abfallprodukt geworden und muss zum Wertstoffhof gebracht werden.

Beachtet, dass die Kultur von Mikroorganismen bei der Handhabung und auch bei der Entsorgung der Lösungen mit gewissen Vorsichtsmaßnahmen verbunden ist. (Eine Schutzbrille tragen, um zu vermeiden, dass Spritzer in die Augen gelangen, nach der Bearbeitung die Hände waschen usw.) Zwar verursachen die Bakterienstämme aus probiotischen Kapseln keine Gesundheitsprobleme; bestimmte Bakterien, die von den am Experiment beteiligten Personen stammen, könnten jedoch pathogen sein.

Durch eine Inaktivierung nach dem Experiment kann ein biologisches Risiko für die menschliche Gesundheit ausgeschlossen werden. Flüssige biologische Abfälle unterzieht man gewöhnlich einer Autoklavierung (Abtötung der Bakterien durch Dampf und Druck) oder einer chemischen Desinfektion (für schwach konzentrierte Lösungen oder geringe Mengen bakterieller Erreger, mit Bleichmittel, also „Javel-Wasser“).

Genauere Angaben hierzu sind in der Abfallgesetzgebung enthalten.

*(<http://environnement.wallonie.be/legis/dechets/degen019.htm>).*



## PÄDAGOGISCHES TOOL 9 : BEOBACHTUNGEN UND INTERPRETATIONEN : DIE BAKTERIELLE TÄTIGKEIT VERBESSERUNGSBOGEN

Zu Beginn des Experiments :

**1) Notiere den Namen der in den Kapseln enthaltenen Bakterien. Überprüfe, ob es sich um aerobe oder anaerobe Bakterien handelt.**

In handelsüblichen probiotischen Kapseln finden sich Bakterien wie :

- Lactobacillus plantarum
- Lactobacillus helveticus
- Lactobacillus rhamnosus
- Bifidobacterium longum
- Bifidobacterium animalis ssp. lactis
- Bifidobacterium breve
- Streptococcus thermophilus

Einige Milchsäurebakterienstämme leben strikt anaerob (z.B. die Gattung Bifidobacterium); andere sind sauerstoffverträglich.

**2) Was glaubst du, wird mit dem in Wasser gelösten Zucker in den drei Gefäßen passieren? Gib eine Hypothese ab.**

Die im Wasser gelöste Saccharose wird von den Bakterien als Energiequelle verwendet.

- Im Gefäß 1, Kontrollprobe: Keine Bakterien, also kein Abbau des vorhandenen Zuckers
- Im belüfteten Gefäß 2: Abbau des Zuckers durch aerobe Bakterien
- Im unbelüfteten Gefäß 3: Abbau des Zuckers durch anaerobe Bakterien
- Im Gefäß 4: Inaktivierung der Bakterien durch das Lösungsmittel, also kein Zuckerabbau.

**3) Warum müssen die Gefäße an einen dunklen Ort gestellt werden ?**

Durch das Aufstellen an einem dunklen Ort lässt sich das Risiko von Störeinflüssen ausschalten, z.B. in Verbindung mit photosynthetischen Organismen (hauptsächlich Algen), die das beobachtete Phänomen durch die Freisetzung von Sauerstoff beeinträchtigen könnten.

Nach mindestens 48 Stunden oder 1 Woche :

**4) Welche Farbe nimmt das Indikatorpapier in jeder Lösung an? Welchem pH-Wert entspricht dies ?**

Zuckerabbau → Versauerung des Mediums → der „Rotkohl“-Indikator verändert die Farbe und wird rosa; ansonsten, pH-Wert niedriger als in der ersten Probe.



Abbildung: Links, Kontrollgefäß, rechts Erlenmeyerkolben mit angesäuerter Lösung (Indikator: Rotkohlsaft)

Also, normalerweise keine Veränderung in den Gefäßen 1 und 4. In den Gefäßen 2 und 3 hängt das Ergebnis von den vorhandenen Bakterien ab.

**5) Gibt es vielleicht weitere Veränderungen (Farbe, schwimmende Ablagerungen, Biofilm) ?**

Da, wo es zu einem Bakterienwachstum gekommen ist (Umwandlung des Zuckersubstrats in neue Bakterien), Trübung des Mediums → normalerweise in den Gefäßen 2 und/oder 3. Die Proben 1 und 4 sollten klar geblieben sein. Wenn man die Probe nicht zu sehr schüttelt, sollte eine Ablagerung in Form eines milchigen Schleiers auf dem Boden des Gefäßes sichtbar sein. Dabei handelt es sich um Bakterienkolonien, in denen eine Vermehrung stattgefunden hat. Es ist möglich, dass sich an der Oberfläche der Flüssigkeit Schimmel gebildet hat; dies ist ein Zeichen für eine Kontaminierung des Mediums.

## PÄDAGOGISCHES TOOL 9 : BEOBACHTUNGEN UND INTERPRETATIONEN : DIE BAKTERIELLE TÄTIGKEIT VERBESSERUNGSBOGEN

6) Mindestens eine der Lösungen zeigt eine Versauerung. Stelle eine Hypothese darüber auf, was im Fall der Verwendung von Milchsäurebakterien mit dem Zucker passiert sein könnte.

Die probiotischen Kapseln enthalten eine hohe Anzahl von Milchsäurebakterien, die auf den Schleimhäuten der Tiere zu finden sind. Diese Bakteriengattung ist in der Lage, **ohne Einwirkung von Sauerstoff Kohlenhydrate zu vergären**. Dabei entsteht unter anderem Milchsäure ( $\text{CH}_3\text{-CHOH-COOH}$ ).

Je nach Bakterienart und verfügbarem Zuckertyp können neben **Milchsäure** auch variable Mengen von **Essigsäure** und/oder **Ameisensäure** gebildet werden. Dadurch steigt der Säuregrad des Mediums (mit entsprechender Auswirkung auf die Farbe des Indikators). Außerdem können sich Kohlensäure und Ethanol bilden.

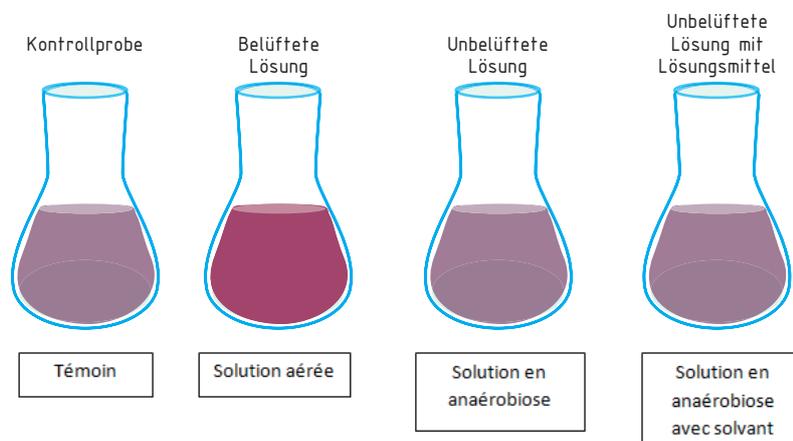
7) Wenn alle Lösungen einen veränderten pH-Wert oder ein verändertes Aussehen zeigen, stelle Hypothesen auf, um diese Ergebnisse zu erklären. Berücksichtige dabei die folgenden Punkte :

(Sind das Wasser und die Erlenmeyerkolben steril? Wurden alle Bedingungen zur Umsetzung des Experiments strikt eingehalten? Könnten über die Raumluft oder über deine Hände Bakterien oder Hefen die Lösung besiedelt haben? Weist der Erlenmeyerkolben mit dem Lösungsmittel Anzeichen einer bakteriellen Aktivität auf?)

Die experimentelle Bearbeitung hat nicht unter sterilen Bedingungen stattgefunden. Über die Luft, das Glas, die Hände der Teilnehmer oder auch über das verwendete Wasser können Bakterien oder andere Organismen (Hefen) eingeschleppt worden sein. Da Zucker sehr leicht biologisch abbaubar ist, haben auch diese Mikroorganismen die Möglichkeit, sich zu entwickeln, was eine Versauerung des Wassers in den Gefäßen zur Folge hätte, in denen dieses Phänomen normalerweise nicht auftreten dürfte.

Durch das hermetische Verschließen des Gefäßes mit dem Lösungsmittel wird verhindert, dass Letzteres entweichen kann. Falls das Gefäß nicht luftdicht verschlossen war, ist kein Lösungsmittel mehr vorhanden. In diesem Fall ist ein Bakterienwachstum möglich.

8) Fasse das Experiment anhand von mit Anmerkungen versehenen Schemata zusammen.



9. Auf welche Weise könnten die zugefügten Bakterien den Säuregrad des Mediums beeinflusst haben ?

Die aufgelöste Saccharose wurde von den Mikroben zu Energie verstoffwechselt. Saccharose ist ein in Wasser leicht löslicher und von Mikroorganismen leicht vergärbare Zucker. Sie besteht aus einem Fructosemolekül und einem Glucosemolekül. Saccharose wird im Rahmen dieses Experiments verwendet, um die gelösten organischen Bestandteile eines Abwassers zu simulieren.

Die probiotischen Kapseln enthalten eine hohe Anzahl von Milchsäurebakterien; Bakterien, die auf den Schleimhäuten der Tiere zu finden sind. Diese Bakteriengattung ist in der Lage, **ohne Einwirkung von Sauerstoff Kohlenhydrate zu vergären**. Dabei entsteht unter anderem Milchsäure ( $\text{CH}_3\text{-CHOH-COOH}$ ).

Je nach Bakterienart und verfügbarem Zuckertyp können neben **Milchsäure** auch variable Mengen von **Essigsäure** und/oder **Ameisensäure** gebildet werden. Dadurch steigt der Säuregrad des Mediums (mit entsprechender Auswirkung auf die Farbe des Indikators). Außerdem können sich Kohlensäure und Ethanol bilden.

### 10) Was glaubst du, in welcher Art von Kläranlage und an welchen Stellen der Kläranlage findet man Kolonien von anaeroben Bakterien ?

Je nach Art der Kläranlage arbeitet man bei der Abwasserreinigung mit Bakterien, die auf unterschiedliche Weise mit Sauerstoff umgehen. Wir unterscheiden:

- aerobe Bakterien;
- anaerobe Bakterien;
- fakultative Anaerobier.

In einem Klärbecken entwickeln sich die aeroben Bakterien an der Oberfläche, während die anaeroben in den Schlämmen am Boden gedeihen. In Belebtschlämmen findet parallel zur Reinigung des Wassers von Kohlenstoffverbindungen auch eine biologische Entphosphatierung und Denitrifikation statt. Dies geschieht unter der Einwirkung von aeroben Bakterien und von fakultativen Anaerobiern, die nacheinander anaeroben, anoxischen und aeroben Bedingungen ausgesetzt werden.

Im Großen und Ganzen hängt die biologische Klärung des Wassers jedoch von der Aktivität aerober Bakterien ab.

### 11) Was wird aus den vorhandenen Bakterien, wenn du den Inhalt der Erlenmeyerkolben in den Ausguss oder in die Toilette schüttest? Gelangen sie zu einer Kläranlage zurück? Darf man alle Inhalte in den Ausguss schütten, auch das Lösungsmittel aus dem vierten Erlenmeyerkolben? Was wären die Folgen ?

Die Abwässer, die wir durch unsere Ess- und Lebensgewohnheiten verursachen, enthalten unterschiedliche Substrate, von denen einige biologisch abbaubar sind und andere nicht. Ebenso leben darin unterschiedliche Bakterien, die den Kläranlagen die benötigte reinigende Biomasse für ein biologisches Klärverfahren zur Verfügung stellen.

Doch nicht alle organischen Stoffe sind biologisch abbaubar. Bei seinem Austritt aus der Kläranlage ist das Wasser folglich noch mit Schadstoffen belastet, die nicht biologisch abgebaut wurden (unter anderem mit bestimmten Arzneimittelmolekülen → niemals Medikamente in die Toilette werfen!) Es ist also wichtig, daran zu erinnern, dass man nicht jede beliebige Substanz in den Ausguss kippen darf: Medikamente, Lösungsmittel, Kohlenwasserstoffe und andere toxische Produkte müssen im Wertstoffhof abgegeben und nach angemessenen Verfahren entsorgt werden, sonst zerstören sie die bakterielle Flora, die zur biologischen Abwasserklärung benötigt wird<sup>(5)</sup>.

(5) Genauere Informationen zu diesem Thema sind einsehbar unter : Haguenoer Jean-Marie (2010). Les résidus de médicaments présentent-ils un risque pour la santé publique ? in Santé publique (Vol.22). p 325 à 342 (voir sur le site : <https://www.cairn.info/revue-sante-publique-2010-3-page-325.htm>)



## PÄDAGOGISCHES TOOL 10 : SYNTHESE

### 1) Die biologische Abwasserklärung

Alle biologischen Verfahren zur Abwasserbehandlung sind heute aerobe Verfahren, d.h. sie fördern die Entwicklung von Mikroorganismen, die mit Hilfe des Sauerstoffs der Luft die im Abwasser gelösten organischen Stoffe zersetzen. Auf diese Weise beschleunigt eine Kläranlage den Prozess, der in den Flussläufen von Natur aus stattfindet: Man spricht diesbezüglich von einem Selbstreinigungsprozess. Die abgeleiteten Schadstoffmengen sind auch viel zu groß, um allein von den Mikroorganismen in unseren Wasserläufen abgebaut zu werden: Ohne Kläranlagen würden sie ersticken<sup>(6)</sup>!

Eine biologische Behandlung in der Kläranlage ermöglicht auch, der Verbreitung von Krankheiten entgegen zu wirken, indem das Wachstum nützlicher Bakterien – zum Nachteil der pathogenen Arten – gefördert wird. Eine Kläranlage ist also praktisch ein Zuchtbetrieb für reinigende Mikroorganismen.

Schon bei seinem Eintritt in die Anlage tritt das Abwasser mit mehreren Arten von Mikroorganismen in Kontakt, die es durch die verschiedenen Etappen begleiten. Wir beobachten das Vorkommen von:

- Viren
- Bakterien
- Algen
- Pilzen
- Protozoen
- Rädertierchen

In Kläranlagen mit Tropfkörpern treten sogar Würmer (z.B. Eiseniella tetraedra) oder Fliegenlarven auf (z.B. Psychoda) (Edeline, 1997). Einige dieser Mikroorganismen (vor allem Bakterien) leisten einen zusätzlichen Beitrag zur Zersetzung biologisch abbaubarer Stoffe.

Genau genommen wird erst durch die Schaffung eines Nahrungsnetzes, und nicht durch die Anwesenheit einer einzigen Bakterienart, ein optimales Klärerergebnis erzielt. Nicht zuletzt durch diese Artenvielfalt wird auch eine Anpassung an die oft unterschiedlichen organischen Stoffe im Abwasser ermöglicht.

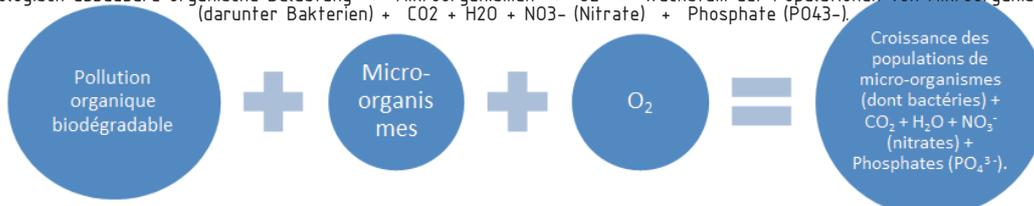


Abbildung: Schwebende Aggregationsverbände von Bakterien in einem Belebtschlamm

Ein Aggregationsverband von Bakterien in einem Belebtschlamm ist mit bloßem Auge erkennbar. Er enthält lebende und tote Zellen von Bakterien, Pilzen, Protozoen und Molekülen aus dem Stoffwechsel der Bakterien.

Je nach Art der Kläranlage (Tropfkörper, Belebtschlämme, Scheibentauchkörper, Klärteiche usw.) werden unterschiedliche Typen von Mikroorganismen verwendet. Der Basismechanismus lässt sich jedoch anhand des folgenden, vereinfachten Schemas darstellen :

Biologisch abbaubare organische Belastung + Mikroorganismen + O<sub>2</sub> = Wachstum der Populationen von Mikroorganismen (darunter Bakterien) + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Nitrate) + Phosphate (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>).



Auch die dritte Abwasserbehandlungsstufe nutzt Bakterien, um den größten Teil der Nitrate und Phosphate zurückzugewinnen, und so eine Eutrophierung der Gewässer flussabwärts der Kläranlage weitestgehend zu vermeiden.

(6) Weitere Informationen über die allgemeine Funktionsweise einer Kläranlage finden sich auf der Webseite der ÖGW ([www.spge.be](http://www.spge.be)) oder der AIDE ([www.aide.be](http://www.aide.be)).

### Verschiedene Formen der biologischen Abwasserbehandlung :

**Belebtschlämme** : Die Bakterien, die sich von den gelösten Schadstoffen ernähren, wandern zu Aggregationsverbänden zusammen. Diese bleiben in einem (mit Hilfe eines Druckluftgebläses) belüfteten Becken vorübergehend in der Schwebelage, ehe sie sich zum Boden hin absetzen.

**Scheibentauchkörper** : Die Mikroorganismen bilden einen Biofilm auf einem Träger, der sich, halb unter Wasser, um eine Achse dreht. Dieses System ermöglicht ein abwechselndes Ein- und Auftauchen, wodurch dem Klärprozess der nötige Sauerstoff zugeführt wird.

**Tropfkörper (Rieselbettreaktor)** : Hier bilden die Mikroorganismen einen Biofilm auf Trägern, die mithilfe drehender Zuführrohre mit dem Abwasser besiedelt werden. Durch Öffnungen unterhalb des Festbetts wird der Bakterienrasen belüftet.

**Klärteiche und Pflanzenfilter** : Die Klärbakterien entwickeln sich im Becken entweder auf mineralischen Trägern oder in der Schwebelage. Dabei wird die Sauerstoffzufuhr aus der Luft manchmal durch Oberflächenaeratoren verbessert.

Bestimmte Bakterienarten können den Betrieb einer Kläranlage stören. Dies gilt für Fadenbakterien, die durch ihr rasches Wachstum die Sedimentationsfähigkeit des Schlammes beeinträchtigen<sup>(7)</sup>.

### 2) Beispiele für Mikroorganismen, die in Kläranlagen vorkommen

Die Art des Abwassers und seine Zusammensetzung, die Temperatur, die Art der Kläranlage und die Art des Abwassernetzes (führt es auch Regenwasser oder nicht?) sind Faktoren, die auf die Populationen von Mikroorganismen in der Anlage einen erheblichen Einfluss ausüben.

In den Anlagen, die städtische Abwässer behandeln, findet man häufig so genannte gramnegative Bakterien, auch Proteobakterien genannt (zwischen 21 und 65%). Am stärksten präsent ist dabei die Kategorie der Betaproteobacteria.

Andere Bakterien ergänzen deren Arbeit<sup>(8)</sup>: Bacteroidetes, Acidobacteria und Chloroflexi. Außerdem stößt man auf Tetrasphaera, Trichococcus, Candidatus, Microthrix, Rhodoferrax, Rhodobacter, Hyphomicrobium usw.

Degrémont Suez (2005) nennt die folgenden Gattungen unter den wichtigsten Aggregationsverbänden zur Klärung von Haushaltsabwässern: Pseudomonas, Actinobacter, Arthrobacter, Alcaligenes, Zoogloea, Citromonas, Flaviobacterium, Achromobacter.

In Anwesenheit von Ammoniak und Sauerstoff sind die Gattungen Nitrosomonas und Nitrobacter vorhanden (nitrifizierende Bakterien).

Unter den Pilzen kommen Ascomyceten am häufigsten vor. Sie machen 6,3 bis 7,4 % der Mikroorganismen aus.

Auch Archaeen (z.B. Euryarchaeota) sind vorhanden.

In einem Belebungsbecken ermöglicht ein hohes Alter der Schlämme eine Besiedlung durch Protozoen und Rädertierchen.

(7) Viele Fotos hierzu sind im Dokument des GIS-Biostep verfügbar. Dysfonctionnement biologique des stations d'épuration Cemagref FNDAE n °33 consultable sur le site français <http://www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae33.pdf>

(8) Quelle : [www.1h2o3.com/apprendre/bacteries-et-micro-organismes](http://www.1h2o3.com/apprendre/bacteries-et-micro-organismes)

## PÄDAGOGISCHES TOOL 10 : SYNTHESE

Die Protozoen in einem Belebtschlamm gehören 3 unterschiedlichen Gruppen an, die sich insbesondere durch ihre morphologischen Appendizes und ihre Fortbewegungsweise voneinander unterscheiden.

- Rhizopoda (Wurzelfüßer: Amöben und Thecamoeben) besitzen keinen besonderen Zellfortsatz zu Fortbewegungszwecken. Die vorkommenden Gattungen sind gute Indikatoren für die Wasser- und Behandlungsqualität. (Degrémont Suez, 2005).

- Flagellaten (Geißeltierchen): kennzeichnen sich durch einen höchst beweglichen, peitschenartigen Zellfortsatz am Vorderende. Sie werden mit dem Abwasser angeschwemmt. Sie rivalisieren mit den Bakterien um die gelösten organischen Stoffe und verschwinden rasch wieder oder treten nur in geringer Anzahl auf (Edeline, 1997).

- Ciliata (oder Ciliphora, Wimpertierchen): Räuberorganismen, die sich von Bakterien ernähren, vor allem, wenn diese isoliert, also nicht im Aggregationsverband unterwegs sind. Je nach ihrer Verhaltensweise unterscheiden wir:

o Freischwimmende Arten, die einzeln auftreten und vor allem beim Start der Anlage präsent sind (z.B. *Chilodonella uncinata* (a), *Trachelophyllum pusillum* (d));

o Kriechende Arten, die zumeist einzeln auftreten und sich mit Hilfe wimpernförmiger Fortsätze in Aggregationsverbänden bewegen (z.B. *Aspidisca costata* (c))

o Stieltragende oder sessile, also festsitzende Arten, die mit Hilfe von Stielen straußförmige Kolonien bilden (z.B. *Opercularia microdiscum* (b), *Carchesium polypinum* (e)).

Rotifera (Rädertierchen) sind mehrzellige Organismen, die somit zu den Metazoen gehören.

Das Leben, das sich in einer Kläranlage entwickelt, wird im klassischen Sinne als bakterienhaltige Biozönose mit Beutegreifern bezeichnet, denn bestimmte Gattungen von Rädertierchen und Protozoen ernähren sich von den Bakterien in der Mischflüssigkeit aus Abwasser und Aggregationsverbänden, vor allem von den einzeln schwimmenden. Das Vertilgen zerstreuter Bakterien durch Räuberorganismen trägt ebenfalls zur Klärung des aus der Anlage abgeleiteten Wassers bei (Edeline, 1997).

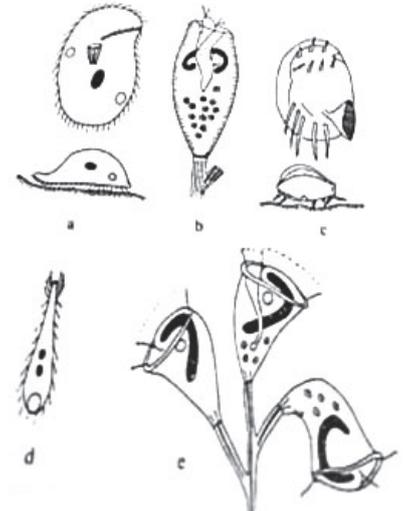
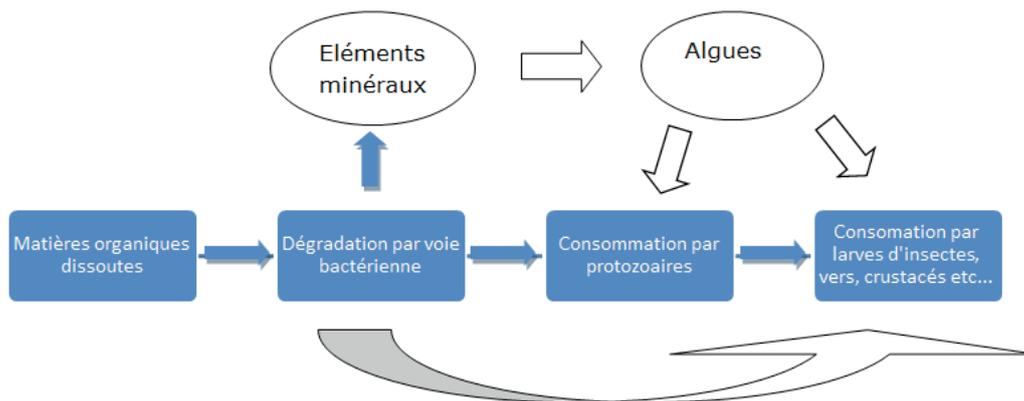


Abbildung: Beispiel für Protozoen, die in einer Kläranlage mit Belebtschlämmen vorkommen (Edeline, 1997).

### Beispiel einer Nahrungskette in einem aquatischen Medium oder in einer Kläranlage



### 3) Klassifizierung der Bakterien nach ihrer Sauerstofftoleranz (vgl. Beispiel der Milchsäurebakterien)

Je nach Art der Kläranlage arbeitet man bei der Abwasserreinigung mit Bakterien, die auf unterschiedliche Weise mit Sauerstoff umgehen. Wir unterscheiden :

- aerobe Bakterien;
- anaerobe Bakterien;
- fakultative Anaerobier.

In einem Klärbecken entwickeln sich die aeroben Bakterien an der Oberfläche, während die anaeroben in den Schlämmen am Boden gedeihen.

In Belebtschlämmen kann parallel zur Reinigung des Wassers von Kohlenstoffverbindungen auch eine (als „tertiäre“ Behandlung bezeichnete) biologische Entphosphatierung und Denitrifikation stattfinden. Dies geschieht unter der Einwirkung von aeroben Bakterien und von fakultativen Anaerobiern, die nacheinander anaeroben, anoxischen und aeroben Bedingungen ausgesetzt werden.

Um die bakterielle Einwirkung auf die gelösten organischen Stoffe zu demonstrieren, wird im Rahmen des Experiments die Verwendung von Milchsäurebakterien vorgeschlagen, die in Form von probiotischen Kapseln im Handel erhältlich sind. Zwar sind diese Arten nicht unbedingt häufig in Kläranlagen anzutreffen, doch haben sie den Vorteil, nicht pathogen zu sein – im Gegensatz zu unmittelbar aus dem Abwasser entnommenen Bakterien.

Erst durch die direkte Einwirkung der Bakterien werden organische Verbindungen assimilierbar. Je nach ihrer Art und Größe (Molekularmasse) werden diese von der Bakterienzelle entweder unmittelbar aufgenommen und verstoffwechselt oder, außerhalb der Zelle, durch die Ausscheidung hydrolytischer Enzyme zuerst teilweise zersetzt. Aminosäuren, Einfachzucker und bestimmte Fettsäuren sind direkt assimilierbar. Der biologische Abbau von Huminstoffen geschieht langsamer. Wie schnell gelöste organische Stoffe assimiliert werden können, steht also in direktem Zusammenhang mit der Art der Moleküle und mit ihrer biologischen Abbaubarkeit.

Die im Rahmen des Experiments aufgelöste Saccharose wurde vom Stoffwechsel der Mikroben in Energie umgesetzt. Saccharose ist ein in Wasser leicht löslicher und von Mikroorganismen leicht vergärbare Zucker. Sie besteht aus einem Fructosemolekül und einem Glucosemolekül. Im Rahmen dieses Merkblatts wird sie verwendet, um die gelösten organischen Bestandteile eines Abwassers zu simulieren.

Die probiotischen Kapseln enthalten eine hohe Anzahl von Milchsäurebakterien; Bakterien, die auf den Schleimhäuten der Tiere zu finden sind. Diese Bakteriengattung ist in der Lage, **ohne Einwirkung von Sauerstoff Kohlenhydrate zu vergären**. Dabei entsteht unter anderem Milchsäure ( $\text{CH}_3\text{-CHOH-COOH}$ ).

Je nach Bakterienart und verfügbarem Zuckertyp können neben **Milchsäure** auch variable Mengen von **Essigsäure** und/oder **Ameisensäure** gebildet werden. Dadurch steigt der Säuregrad des Mediums (mit entsprechender Auswirkung auf die Farbe des Indikators). Außerdem können sich Kohlensäure und Ethanol bilden.

Einige Milchsäurebakterienstämme leben strikt anaerob (z.B. die Gattung Bifidobacterium); andere sind sauerstoffverträglich.

In handelsüblichen probiotischen Kapseln findet man beispielsweise folgende Bakterien<sup>(9)</sup>:

- Lactobacillus plantarum
- Lactobacillus helveticus
- Lactobacillus rhamnosus
- Bifidobacterium longum
- Bifidobacterium animalis ssp. lactis
- Bifidobacterium breve
- Streptococcus thermophilus

Anmerkung: Viele dieser Milchsäurebakterien werden vom Menschen u.a. zur Herstellung von Käse, Joghurt, Sauerkraut oder Wurst verwendet.

## PÄDAGOGISCHES TOOL 10 : SYNTHESE

Aus dem Zucker sind im Experiment also unterschiedliche Moleküle (darunter Säuren) entstanden; parallel dazu hat er die Entwicklung der Bakterien gefördert. Letztere sind am Boden der Gefäße als trübe Ablagerung sichtbar. Als Nahrungsmittel hat der Zucker das Bakterienwachstum gewährleistet.



Abbildung: Links, Kontrollgefäß, rechts Erlenmeyerkolben mit angesäuerter Lösung (Indikator: Rotkohlsaft)

NB : Durch das Aufstellen der Proben an einem dunklen Ort lässt sich das Risiko von Störeinflüssen ausschalten, z.B. in Verbindung mit photosynthetischen Organismen (hauptsächlich Algen).

#### 4) Bestimmte Substanzen behindern die biologische Klärung.

Nicht alle organischen Moleküle können von Bakterien leicht abgebaut werden. Während Zucker beispielsweise sehr gut biologisch abbaubar ist, tendiert die biologische Abbaubarkeit bestimmter Kohlenwasserstoffe gegen Null.

Auch das Vorkommen toxischer Substanzen kann das Wachstum von Mikroorganismen hemmen oder diese abtöten. Infolgedessen ist das Kläresultat nicht zufriedenstellend. Die verantwortlichen Stoffe verbleiben im Oberflächenwasser und beeinträchtigen die darin lebenden Organismen. Es ist also wichtig, sich zu vergegenwärtigen, dass man nicht jede beliebige Substanz in den Abfluss kippen darf: Medikamente, Lösungsmittel, Kohlenwasserstoffe und andere toxische Produkte müssen im Wertstoffhof abgegeben und nach angemessenen Verfahren entsorgt werden.

## ANLAGE : HERSTELLUNG EINES PH-INDIKATORS AUF DER GRUNDLAGE VON ROTKOHLSAFT

- In einem Becherglas von 500 ml Fassungsvermögen etwa 400 ml destilliertes Wasser erhitzen.
- Den Rotkohl sehr fein schneiden.
- Den Rotkohl in das kochende Wasser geben und umrühren.
- Das Becherglas von der Kochstelle nehmen und den Rotkohl eine halbe Stunde ziehen lassen, bis er gut abgekühlt ist.

Den Rotkohlsaft durch ein Sieb filtern. Der Saft muss von sehr dunkler Farbe sein. In einer hermetisch verschlossenen Flasche, vor Licht geschützt, hält er sich mehrere Wochen im Kühlschrank.

- 50 ml Rotkohlsaft in ein 100 ml großes Becherglas geben.

In einem sauren Medium verfärbt sich der Saft rot, in einem basischen Medium blau-grün.







