

## Lehrerinformation zu Stoffkreisläufen: Wasserkreislauf - Versuche zur Abwasserreinigung

### Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>H<sub>2</sub>O-Kreislauf: Abwasserreinigung</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Mechanische Reinigung von Abwasser (M1 – M3)</b>	<b>3</b>
	<i>Versuch M1 Der Rechen</i>	
	<i>Versuch M2 Das erste Absetzbecken (Sandfang)</i>	
	<i>Versuch M3 Abschöpfen von Fetten (Fettfang)</i>	
<b>2.2</b>	<b>Chemische Reinigung von Abwasser (C1 – C3)</b>	<b>4</b>
	<i>Versuch C1 Was passiert bei der chemischen Reinigung</i>	
	<i>Versuch C2 Das zweite Absetzbecken – chemische Reinigung und Filtration</i>	
	<i>Versuch C3 War die chemische Reinigung erfolgreich?</i>	
	<i>Versuch C3-2 Der Büroklammertest</i>	
	<i>Versuch C3-1 Stärkenachweis im Modellabwasser</i>	
<b>2.3</b>	<b>Biologische Reinigung von Abwasser (B1 – B2)</b>	<b>5</b>
	<i>Versuch B1 Biologische Reinigungsstufe – Abbau des Zuckers</i>	
	<i>Versuch B2 War die biologische Reinigung erfolgreich? – Nachweis von Glucose (Fehling-Probe)</i>	
<b>3</b>	<b>Schlussbemerkung zum zum H<sub>2</sub>O-Kreislauf (Abwasser-Reinigung)</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>9</b>

## 1 Einleitung

In Deutschland fallen pro Tag 28,7 Millionen Kubikmeter Abwasser an. In rund 10.000 Kläranlagen wird das Abwasser mechanisch, chemisch und biologisch gereinigt und schließlich sich wieder in Bäche, Flüsse und Seen eingeleitet [1]. Ohne Aufbereitung von Abwasser in den natürlichen Wasserkreislauf wären unsere Trinkwasservorkommen in kürzester Zeit aufgebraucht – denn Flüsse und Seen wären mit Schadstoffen belastet und ihr Wasser so verschmutzt, dass es für den Menschen unbrauchbar wäre.

Die Versuche zur Abwasserreinigung sollen die Vorgänge in einer Kläranlage modellhaft verdeutlichen. In einer Kläranlage werden aus dem Abwasser von Haushalten und Industrie Verunreinigungen unterschiedlichster Art entfernt. Die Spanne reicht von groben, unlöslichen Bestandteilen, fein suspendierten Stoffen, öligen Verbindungen bis hin zu gelösten Substanzen wie organischen Verunreinigungen und Salzen. Aufgrund dieser unterschiedlichen Eigenschaften kommen verschiedene Methoden zum Einsatz. Die Reinigung beginnt mit einer mechanischen bzw. physikalischen Reinigungsstufe, an die sich eine chemische und biologische Reinigungsstufe anschließt (s. Abb. 1).

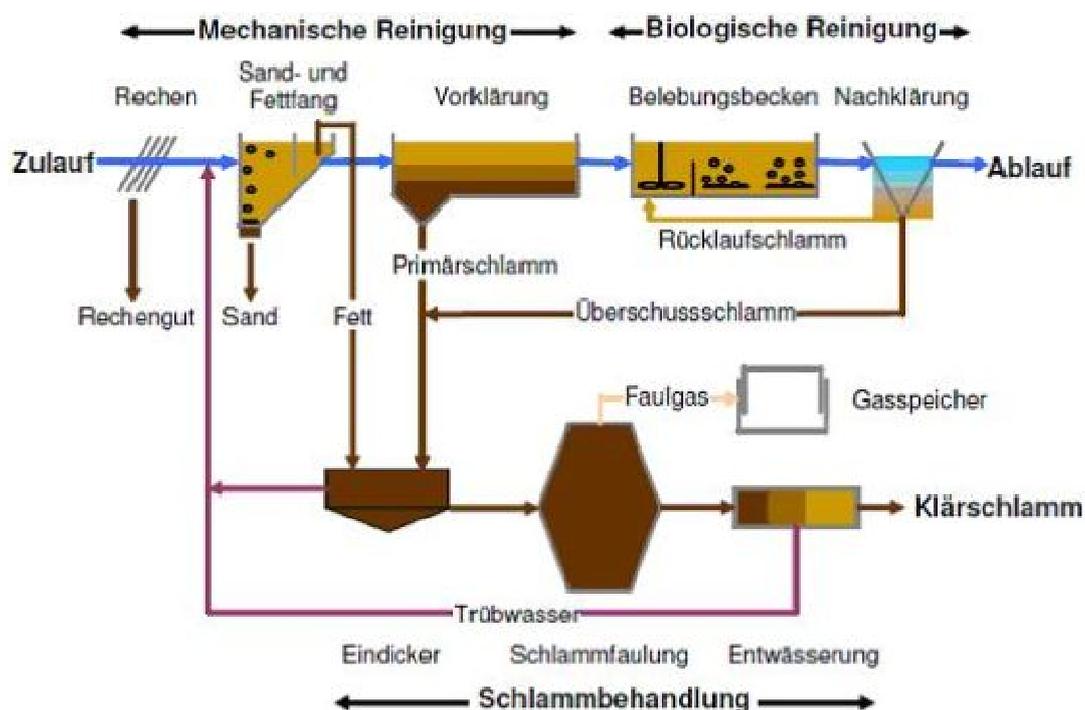


Abb. 1: Abwasserreinigung in einer Kläranlage [2]

Um alle Schritte der Abwasserreinigung nachzustellen, wurde die Abwasserprobe durch Zusatz von Boden, Öl, Waschmittel, Stärke und Glucose angesetzt. Der Boden enthält einerseits gröbere und feinere unlösliche Anteile, das Öl ist ein Modell für fettige Substanzen, Stärke stellt einen fein suspendierten organischen Bestandteil, das Waschmittel und die Glucose lösliche (organische) Substanzen dar. Darüber hinaus re-

präsentiert das Waschmittel die häuslichen Reinigungsmittel. Bei allen Verunreinigungen wurde darauf geachtet, dass sie entweder leicht sichtbar oder durch physikalische oder chemische Methoden leicht nachweisbar sind. So kann der Reinigungserfolg in jedem Schritt geprüft werden.

## 2 H<sub>2</sub>O-Kreislauf: Abwasserreinigung

Die Abwasserreinigung ist in den Themenblock des Stoffkreislaufs eingebunden. Sie beschreibt die Trennung eines Stoffgemisches (Abwasser: Wasser, das gelöste und ungelöste, organische und anorganische Stoffe enthält) und gehört somit zu den wichtigsten verfahrenstechnischen Grundoperationen.

Zur Förderung des besseren Verständnisses der Reinigungsschritte in einer Kläranlage sowie zur Herstellung des Bezugs zu den entsprechenden Laborexperimenten wurde als didaktisches Modul ein Poster zur Abwasserreinigung entwickelt. Dieses kann unterstützend bei der Labor-Nachbesprechung oder auch als Unterrichtsmaterial in den Schulen eingesetzt werden. Den SchülerInnen ermöglicht es, wenn es zusammen mit den Vorschriften ausgehändigt wird, während der Versuche die Parallelen zur Kläranlage zu erkennen und den Gesamtprozess besser zu überschauen.

Die jeweiligen Reinigungsstufen bestehen aus folgenden Versuchen:

### 2.1 Mechanische Reinigung von Abwasser

- |            |                                   |
|------------|-----------------------------------|
| Versuch M1 | Der Rechen                        |
| Versuch M2 | Das erste Absetzbecken (Sandfang) |
| Versuch M3 | Abschöpfen von Fetten (Fettfang)  |

### 2.2 Chemische Reinigung von Abwasser

- |              |  |
|--------------|--|
| Versuch C1   | Was passiert bei der chemischen Reinigung?                   |
| Versuch C2   | Das zweite Absetzbecken – chemische Reinigung und Filtration |
| Versuch C3   | War die chemische Reinigung erfolgreich?                     |
| Versuch C3-1 | Der Büroklammertest  |
| Versuch C3-2 | Stärkenachweis im Modellabwasser                             |

### 2.3 Biologische Reinigung von Abwasser

- |            |   |
|------------|---|
| Versuch B1 | Biologische Reinigungsstufe – Abbau des Zuckers                                   |
| Versuch B2 | War die biologische Reinigung erfolgreich? – Nachweis von Glucose (Fehling-Probe) |

## 2.1 Versuche zur mechanischen Abwasserreinigung

### Versuche M1 - M3

Die **mechanisch-physikalische Abwasserreinigung** beginnt mit der Grobreinigung durch einen Rechen, der größere Bestandteile entfernt. Aufgrund des unterschiedlichen Aggregatzustandes der Stoffe - Wasser ist flüssig und die groben Bestandteile wie z.B. Äste sind fest - kann eine Trennung erfolgen, bei der je nach Größe der festen Stoffe ein grobes (Rechen) oder ein feines Sieb eingesetzt wird. D.h. das Trennverfahren für

festen und flüssigen Stoffen ist Sieben bzw. für kleinere Bestandteile die Filtration, die in Versuch 4 eingesetzt wird.

Im Laborversuch (**Versuch M1**) wird zur Abtrennung der groben Bestandteile eine Gabel verwendet, die den Rechen in der Kläranlage gut repräsentiert.

In **Versuch M2** wird die Trennung von festen und flüssigen Stoffen mit unterschiedlicher Dichte demonstriert. Weitere feste unlösliche Bestandteile, die eine kleinere Partikelgröße aufweisen und sich dadurch dem Rechen entziehen, wie z.B. feiner Sand, setzen sich aufgrund der größeren Dichte am Boden ab. Sie können durch vorsichtiges Dekantieren vom Wasser abgetrennt werden.

In der Kläranlage werden in einem Absetzbecken, dem so genannten Sandfang, ungelöste Bestandteile wie z.B. Sand entfernt. Sie setzen sich am Boden ab. Anstelle des Dekantierens, das für diesen großen Maßstab unrealistisch ist, wird das langsame Abfließen in ein weiteres Absetzbecken, das Vorklärbecken, praktiziert. Hier setzen bereits erste mikrobielle Abbauprozesse ein. Der Rückstand bildet den Klärschlamm, der in Faultürmen zur Gewinnung von Biogas eingesetzt werden kann. Im Faulturm werden die organischen Bestandteile in Methangas verwandelt, das energetisch verwendet wird. Der feste Rückstand, in dem sich jetzt kaum noch organische Verunreinigungen befinden, wird entweder in Müllverbrennungsanlagen verbrannt oder, wenn er wenige Schadstoffe wie Schwermetalle enthält, als Dünger verwendet.

Bei der Trennung von Öl und Wasser handelt es sich um zwei flüssige Medien, die aufgrund ihrer unterschiedlichen Polarität getrennt werden können. Sie bilden ein Zwei-Phasen-System, weil sie nicht miteinander mischbar sind. Mit Hilfe von Abschöpfungs- vorrichtungen werden unpolare ölige Verunreinigungen, die auf dem polaren Wasser schwimmen, entfernt. Diese Art der Abtrennung ist möglich, weil die Dichte von Öl bzw. Fetten geringer als die Dichte von Wasser ist. Das Abschöpfen im Labor (**Versuch M3**) gelingt durch Streifen von saugfähigem Papier, das an der Oberfläche des Abwassers entlang gezogen wird. Meist ist die Abtrennung nicht vollständig, ölige Schlieren bleiben zurück, die aber im weiteren Verlauf nicht stören.

## 2.2 Versuche zur chemischen Abwasserreinigung

### Versuche C1 – C3

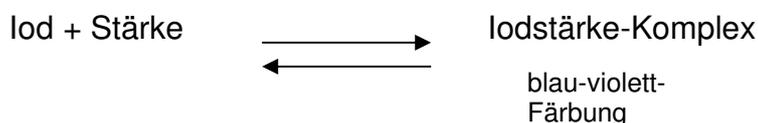
Das Ziel der **chemischen Abwasserreinigung** ist die Abtrennung von im Wasser gelösten bzw. kolloidal verteilten Stoffen, die durch die mechanischen Reinigungsschritte nicht abgetrennt werden können. Dies kann durch Flockungs- oder durch Fällungsreaktionen realisiert werden. Bei der Flockung werden feinstverteilte (kolloidale) Substanzen durch Zugabe eines Flockungsmittels in größere „Flocken“ (Agglomerate) überführt, die aufgrund der somit geänderten physikalischen Bedingungen (größere und kompaktere Teilchen) überhaupt oder schneller sedimentieren, wodurch eine Fest-Flüssig-Trennung möglich ist. Liegen die zu flockenden Teilchen noch nicht in ungelöster Form vor, muss eine Fällung (Überführung löslicher Verbindungen in unlösliche durch Zusatz geeigneter Chemikalien) dem Flockungsprozess voran gehen. Die entstehenden Flockungs- bzw. Fällungsprodukte können durch geeignete physikalische Verfahren (z.B. Filtration) abgeschieden werden. In der Kläranlage werden so die gelösten Stoffe vom Abwasser in den Klärschlamm überführt.

Die chemische Abwasserreinigung wird durch Zugabe von Eisen(III)salzlösungen eingeleitet. Eisen(III)ionen haben die Eigenschaft flockige, voluminöse Niederschläge aus Eisenhydroxiden zu bilden, und reißen beim Ausfallen andere Verbindungen mit.

Mit den im Abwasser gelösten Phosphaten und Schmierseifen (Kaliseife, die durch Verseifung von Leinöl mit Kaliumhydroxid gewonnen wird) bilden Eisen(III)salzlösungen schwerlösliche Verbindungen, die ebenfalls ausgefällt werden können. In einem weiteren Absetzbecken werden diese Niederschläge abgetrennt.

Die Reinigungswirkung von Eisen(III)chlorid wird im Modellabwasser durch die Fällung von Bestandteilen des Waschmittels gezeigt, die mit den Eisen(III)ionen schwerlösliche Verbindungen bilden. Durch die anschließende Filtration kann das Fällungsprodukt in **Versuch C2** abgetrennt werden. Der Büroklammertests (**Versuch C3-1**) zeigt den Erfolg der Reinigung. Auf reinem Wasser kann die Büroklammer aufgrund der Oberflächenspannung schwimmen. Ist Waschmittel enthalten, wird die Oberflächenspannung erniedrigt, die Büroklammer sinkt. In diesem Zusammenhang lernen die SchülerInnen das Prinzip der Nachweisreaktion kennen. Sie führen den Positiv-Nachweis (mit Waschmittel) durch und im Vergleich dazu den Negativ-Nachweis (mit Wasser). Im zweiten Schritt wenden sie diese Erkenntnis auf das Modellabwasser an, zum einen vor der Zugabe von Eisen(III)chlorid und zum anderen nach der Zugabe von Eisen(III)chlorid. So können die SchülerInnen eigene Schlussfolgerungen bzgl. des Reinigungserfolges durch die Eisen(III)salzlösung ziehen.

Durch die im Labor durchgeführte Filtration in Versuch 4 wird gleichzeitig der Rest der Stärke abgetrennt. Durch die Iod-Stärke-Reaktion (**Versuch C3-2**) wird überprüft, dass sich keine Stärke mehr im Abwasser befindet. Das Prinzip der Iod-Stärke-Reaktion beruht darauf, dass Iod (als Polyiod-Iodid-Komplex  $n I_2 \cdot I^-$ ) in den Windungen des spiraligen Stärkemoleküls, genauer des helixförmigen Amylosemoleküls, eingeschlossen wird. In Gegenwart von Stärke entsteht eine charakteristische Blau-violett-Färbung (bei hoher Konzentration auch blau-schwarz), die den Iod-Stärke-Komplex kennzeichnet [3].



Die SchülerInnen verfahren bei dieser Nachweisreaktion wie zuvor beim Waschmittel. Sie führen den Positiv- und den Negativ-Nachweis durch und wenden anschließend ihre Erkenntnis auf das Modellabwasser an.

## 2.3 Versuche zur biologischen Abwasserreinigung

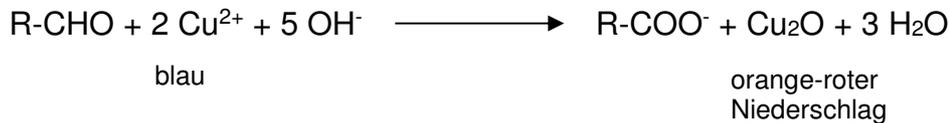
### Versuche B1 – B2

Mit der Flockungs- bzw. Fällungsreaktion, wie sie im Rahmen der chemischen Reinigung eingesetzt wird, können v.a. große, geladene Moleküle abgetrennt werden. Die kleinen wasserlöslichen organischen Moleküle entziehen sich i.d.R. dieser Reaktion, so dass sie erst durch Zusatz von Mikroorganismen dem Wasser entzogen werden können. Diese Reinigungsart nennt man **biologische Abwasserreinigung**.

Die biologische Abwasserreinigung läuft im Belebtecken ab. Dort verwerten Mikroorganismen abbaubare organische Verbindungen (z.B. Glucose) für ihr Wachstum und bauen die Kohlenstoffverbindungen bis zu Kohlenstoffdioxid und Wasser ab. Für einen optimalen Abbau ist die Durchlüftung und Durchmischung essentiell.

In einem Nachklärbecken setzen sich die Mikroorganismen in weiterem Klärschlamm am Boden ab, der ebenfalls dem Faultrum zugeführt wird.

Im Labor wird die biologische Abwasserreinigung in **Versuch B1** am Beispiel des Abbaus von Glucose durch Hefezellen untersucht. Glucose lässt sich mit Hilfe der Fehling-Probe (**Versuch B2**) nachweisen. Hierbei reduzieren die reduzierenden Zucker, wie z.B. Glucose, die blauen Kupferionen (Cu<sup>2+</sup>-Ionen) zu solchen (Cu<sup>+</sup>-Ionen), die nicht mehr löslich sind und einen orange-roten Niederschlag bilden. In Gegenwart von Zuckern findet also ein Farbumschlag von blau nach orange-rot (Kupfer(I)oxid) statt [4].



Das Reaktionsmilieu für diese Nachweisreaktion muss schwach alkalisch sein, da nur in alkalischer Lösung die Cu<sup>2+</sup>-Ionen schwach oxidierend wirken (Reduktions- bzw. Oxidationspotenziale sind immer pH-abhängig). Gewährleistet wird dies durch die Komponente Fehling B des Nachweisreagenzes, welches 10 g NaOH auf 100 mL dest. Wasser enthält. Damit im alkalischen Milieu nicht Cu(OH)<sub>2</sub> ausfällt, enthält die Lösung zusätzlich Na-K-Tartrat (gemischtes Salz der Weinsäure, Seignette-Salz), das Cu<sup>2+</sup> komplexiert und so in Lösung hält. Die Reaktion verläuft in der Wärme deutlich schneller, weshalb das Reaktionsgemisch im Wasserbad erhitzt wird. Die Reaktion verläuft nicht, wie die obige Gleichung nahe legen könnte, stöchiometrisch. Im Alkalischen kommt es daneben zur Tautomerisierung der Glucose (ausgehend von der offenkettigen, freien Aldehydform zu formulieren) zum 1,2-Endiol, das einer oxidativen C-C-Spaltung unterliegt. Auch bei dieser Nachweisreaktion verfahren die SchülerInnen wie bereits unter Punkt 2.2 beschrieben (Positiv-/Negativ-Nachweis).

Das Wasser, das aus dem Nachklärbecken fließt, wird Klarwasser genannt und kann bereits durch Rieselfelder geleitet oder verregnet werden. Bei der Passage durch den Boden werden die noch enthaltenen Nährstoffe durch Mikroorganismen oder Pflanzen verwertet. Das Wasser gelangt dann letztlich in Flüsse oder bildet neues Grundwasser.

### 3 Schlussbemerkung zum zum H<sub>2</sub>O-Stoffkreislauf (Abwasserreinigung)

Die SchülerInnen sollen auf Grundlage der vorgestellten Versuchsreihen zum Thema Abwasserreinigung zu der Erkenntnis gelangen können, dass die Reinigung des Abwassers einen essentiellen Schritt in einen Kreislauf-Prozess darstellt (s. Abb. 2), der aufgrund der verschiedenen Verschmutzungen des Abwassers verschiedene Reinigungsstufen erfordert (s. Abb. 3).

Ein weiterer Aspekt, der durch die Versuche zur Abwasserreinigung verdeutlicht werden soll, sind die Grundlagen der Stofftrennung. Die SchülerInnen erkennen, dass unterschiedliche Eigenschaften von Stoffen (Aggregatzustand, Polarität, Dichte, Löslichkeit, organische bzw. unorganische Substanzen, Größe) verschiedene Trennverfahren (Filtration, Sedimentation, Dekantieren, Fällung, Flockung, mikrobieller Abbau) erfordern bzw. ermöglichen.

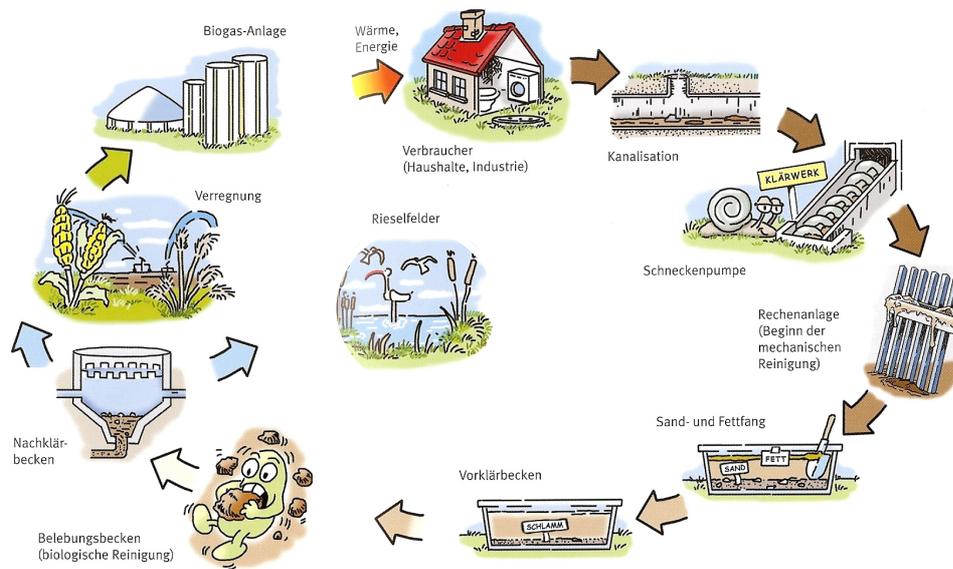


Abb. 2: Kreislauf-Prozess der Abwasserreinigung [5]

Der Kreislauf des Wassers kann aber durch Stoffe, wie z.B. Lacke, Farben, Benzin, Arzneimittel, Essensreste oder Windeln leicht gestört werden. Auch der Einsatz von Reinigungsmitteln sollte möglichst sparsam praktiziert [5]. An dieser Stelle wird auch der Zusammenhang zum Umwelt- und Gewässerschutz thematisiert.

Des Weiteren soll den SchülerInnen anhand dieser Versuchsreihe verdeutlicht werden, warum die Abwasserkosten im Vergleich zu den Wasserkosten um etwa 15 % [6] höher liegen.

Mechanisch-physikalische Reinigungsstufe

Chemische Reinigungsstufe

Biologische Reinigungsstufe

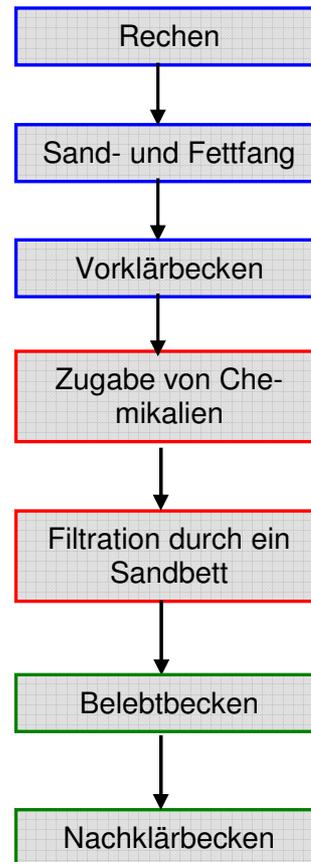


Abb. 3: Reinigungsschritte in einer Kläranlage

Damit die SchülerInnen die konkreten Parallelen zwischen den Laborversuchen und den Abwasserreinigungsstufen im Klärwerk erkennen, wurde ein Poster [7] zur Abwasserreinigung ausgearbeitet, das sowohl in der Einführung der Versuchsreihe als auch in der Abschlussbesprechung eingesetzt wird. Des Weiteren bekommen die SchülerInnen jeweils ein Exemplar zusammen mit den Versuchsvorschriften ausgehändigt.

## 4 Quellenverzeichnis

- [1] <http://www.wasser-aqualino.de/trink-und-abwasserkreislauf/> (Februar 2012)
- [2] <http://www.lebensministerium.at/.imaging/stk/lmat/bildLarge/dms/lmat/wasser/wasserqualitaet/abwasserreinigung/Klaeranlage/Flie-schema-einer-mechanisch-biologischen-KI-ranlage1/document/Flie%C3%9Fschema%20einer%20mechanisch-biologischen%20KI%C3%A4ranlage.JPG> (Februar 2012)
- [3] <http://de.wikipedia.org/wiki/Iodprobe> (Februar 2012)
- [4] [http://www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/alte\\_seite\\_du/material/milch/lactose/fehling.pdf](http://www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/alte_seite_du/material/milch/lactose/fehling.pdf) (Februar 2012)
- [5] Klärens Klarwasser; Was passiert bloß mit dem Braunschweiger Abwasser?; Stadtentwässerung Braunschweig GmbH und Abwasserverband Braunschweig
- [6] <http://cac-gmbh.de/downloads/gesamtabrechnung.pdf> (Februar 2012)
- [7] Poster: Schritte der Abwasserreinigung, Agnes-Pockels-SchülerInnen-Labor (2011) (Anhang 2.1)